



**AŞINMAYA DİRENÇLİ HBW450 HARDOX ÇELİĞİ VE S355J2 YAPI
ÇELİĞİNİN ROBOTİK GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ İLE
BİRLEŞTİRİLMESİ VE METALURJİK ÖZELLİKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Eren Anıl AYYILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Eren Anıl AYYILDIZ

16/06/2022

AŞINMAYA DİRENÇLİ HBW450 HARDOX ÇELİĞİ VE S355J2 YAPI ÇELİĞİNİN
ROBOTİK GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE
METALURJİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Eren Anıl AYYILDIZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Bu çalışmada, özellikle iş makineleri sektöründe yaygın olarak kullanılan S355J2C yapı çeliği ile aşınmaya karşı dirençli olan Hardox (HBW450) malzemelerin kaynaklı yapı halinin metalurjik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla 8 mm kalınlığında V ve X kaynak ağzına sahip S355J2C ve Hardox levhalar, belirlenen optimum kaynak parametreleri ile, SG2 kaynak teli kullanılarak tamamen aynı ortam ve koşullarda MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmişlerdir. Birleştirme işlemlerinde değişken olarak kaynak hızı ve kaynak ağzı seçilmiş ve üç farklı kaynak hızı kullanılmıştır. Birleştirilen malzemelere eğme, sertlik ve çekme testi uygulanmış, ayrıca mikroyapıları incelenmiştir. Böylece farklı kaynak hızlarının sonucu olarak meydana gelen ısı girdisinin malzemelerin metalurjik özelliklerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen birleştirmelerden elde edilen sonuçlara göre kaynak hızı ile ısı girdisinin doğrudan bir ilişkisinin olduğu ve kaynaklı bölgenin bu durumdan oldukça belirgin olarak etkilendiği görülmüştür. Genel olarak kaynak hızı artışı ile beraber sertlikte de bir miktar artış olduğu görülmüş ve bu durum az da olsa çekme testi sonuçlarını etkilemiştir. Kaynak ağzı ise bu parametreler doğrultusunda etkin bir rol oynamamıştır. Isı girdisinin çok yüksek olduğu durumlarda kaynaklı bölgenin tane yapısında irileşmelerin meydana geldiği ve soğuma hızından dolayı sertlik değerlerinde artışların olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca X kaynak ağzı açılarak birleştirilen malzemelerin kaynak bölgesinin makroyapı görüntüleri incelendiğinde elde edilen nüfuziyetin V kaynak ağzı açılarak birleştirilen numunelerden elde edilenlere göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 91511
Anahtar Kelimeler : S355J2, Hardox, MAG kaynağı
Sayfa Adedi : 107
Danışman : Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU

WELDED OF ABRASION RESISTANT HBW450 HARDOX STEEL AND S355J2
STRUCTURAL STEEL WITH ROBOTIC GAS METAL ARC WELDING METHOD
AND EVALUATION OF THEIR METALLURGICAL PROPERTIES

(M.Sc. Thesis)

Eren Anıl AYYILDIZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

In this study, the metallurgical properties of the welded structure of S355J2 construction steel which is used common at construction equipment sector and Hardox (HBW450) which has abrasion resistant are investigated. For this purpose, S355J2 and Hardox plates which have 8 mm thickness V and X groove weld were joined by MAG welding method in exactly the same environment and conditions using SG2 welding wire with determined optimum welding parameters. Welding speed and welding groove were chosen as a variable in the welding process and three different welding speeds were used. Bending, hardness and tensile tests were applied to the welded materials, and their microstructures were also examined. Thus, the effect of heat input occurring as a result of different welding speeds on metallurgical properties of materials has been tried to be determined. According to the results obtained from the welding performed, it was observed that the welding speeds and heat input has a direct relationship and welded region was significantly affected by this situation. Generally, it was observed that there was a slight increase in hardness with the increase in welding speed, and this affected the tensile test results, albeit slightly. The weld groove has not played an active role in way with these parameters. It has been determined that in cases where the heat input is very high, the grain structure of the welded area becomes larger and the hardness values increase due to the cooling rate. Also, when the macrostructure images of the weld region of the materials joined by opening the X groove weld were examined, it was seen that the penetration obtained was higher than the samples obtained by opening the V groove weld.

Science Code : 91511
Key Words : S355J2, Hardox, MAG welding
Page Number : 107
Supervisor : Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamlanması için her zaman desteğini hissettiğim, öğrencisi olmaktan onur duyduğum Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'na şükranlarımı iletirim. Başta kıymetli fikirleriyle çalışmalarımı yönlendiren, lisansüstü eğitimim süresince benden desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU'ya ve çalışmalarındaki numunelerin test sonuçlarını alabilmem için imkan sağlayan Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne teşekkürlerimi sunarım. Tez süresince yapılan malzeme tedarikleri ve üretim yöntemlerindeki yardımlarından dolayı Hidromek A.Ş.'ye, bu süre zarfında bana destek olan arkadaşlarım İlyas GENÇ'e, Mehmet Can KATMER'e ve tez çalışmaları süresince benden manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK VE METALURJİSİ.....	5
2.1. Kaynak ile Dökümün Kıyaslanması.....	8
2.2. Kaynak Kabiliyeti	8
2.3. Çeliklerin Ergitme Kaynağında Bağlantı Bölgesi.....	9
2.4. Kaynakta Isıl Etkiler	11
3. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	13
3.1. Gazaltı Kaynağında Etkili Parametreler.....	15
3.2. TIG Kaynak Yöntemi.....	20
3.3. MIG-MAG Kaynak Yöntemi	22
3.3.1. MIG-MAG kaynak elemanları.....	23
3.3.2. MIG-MAG kaynağı avantaj ve dezavantajları.....	29
3.4. MIG-MAG Robot Uygulamaları.....	30
4. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER VE KAYNAK KABİLİYETLERİ	33
4.1. Yapı Çelikleri ve S355J2	34
4.2. Aşınma Plakaları ve Hardox (HBW450)	38

	Sayfa
4.3. Gazaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri ve SG2 Teli.....	45
5. LİTERATÜR TARAMASI	49
6. MALZEME VE DENEYSEL METOD	55
6.1. Birleştirilecek Malzemeler	56
6.2. Kaynak Aparatı	57
6.3. Robotik MAG Kaynağı	59
6.4. Testere ile Kesim İşlemi.....	62
6.5. Eğme Testi	66
6.6. Sertlik Testi	66
6.7. Çekme Testi	67
6.8. Mikroyapı İncelemeleri	69
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	71
7.1. Eğme Testi Sonuçları	71
7.2. Sertlik Testi Sonuçları.....	72
7.3. Çekme Testi Sonuçları	80
7.4. Mikroyapı İncelemesi Sonuçları	90
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
8.1. Sonuçlar.....	99
8.2. Öneriler	100
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	107

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. S355J2 kimyasal bileşimi	36
Çizelge 4.2. Aşınma plakası üretici firmalar	43
Çizelge 4.3. Hardox 400 ürün gamı kimyasal bileşim standartları.....	44
Çizelge 4.4. Hardox 450 çeliği kimyasal bileşimi	45
Çizelge 4.5. SG2 kaynak teli kimyasal bileşimi	48
Çizelge 4.6. SG2 kaynak teli mekanik özellikleri.....	48
Çizelge 6.1. V kaynak ağzı için uygulanan parametreler	60
Çizelge 6.2. X kaynak ağzı için uygulanan parametreler	60
Çizelge 7.1. 1-V numunesinin kaynak parametreleri.....	72
Çizelge 7.2. 2-V numunesinin kaynak parametreleri.....	73
Çizelge 7.3. 3-V numunesinin kaynak parametreleri.....	74
Çizelge 7.4. 1-X numunesinin kaynak parametreleri.....	75
Çizelge 7.5. 2-X numunesinin kaynak parametreleri.....	76
Çizelge 7.6. 3-X numunesinin kaynak parametreleri.....	77
Çizelge 7.7. 1-V 1-X kıyaslaması	78
Çizelge 7.8. 2-V 2-X kıyaslaması	79
Çizelge 7.9. 3-V 3-X kıyaslaması	79
Çizelge 7.10. 1-V numunesinin kaynak parametreleri.....	81
Çizelge 7.11. 1-V çekme deneyi değerleri	81
Çizelge 7.12. 2-V numunesinin kaynak parametreleri.....	82
Çizelge 7.13. 2-V çekme deneyi değerleri	83
Çizelge 7.14. 3-V numunesinin kaynak parametreleri.....	84
Çizelge 7.15. 3-V çekme deneyi değerleri	84
Çizelge 7.16. 1-X numunesinin kaynak parametreleri.....	85
Çizelge 7.17. 1-X çekme deneyi değerleri	86

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.18. 2-X numunesinin kaynak parametreleri.....	87
Çizelge 7.19. 2-X çekme deneyi değerleri.....	87
Çizelge 7.20. 3-X numunesinin kaynak parametreleri.....	88
Çizelge 7.21. 3-X çekme deneyi değerleri.....	89



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yapışma hali	6
Şekil 2.2. Ergime hali.....	6
Şekil 2.3. ITAB bölgeleri.....	10
Şekil 2.4. ITAB ve kaynak bölgesi	11
Şekil 3.1. Gazaltı ark kaynağı sınıflandırması	15
Şekil 3.2. Çeşitli gaz türlerindeki kaynak dikişi profilleri	16
Şekil 3.3. Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi.....	17
Şekil 3.4. Torç eğiminin kaynağa olan etkisi.....	18
Şekil 3.5. V ve X kaynak ağzı şematik gösterimi	19
Şekil 3.6. Kaynak hızının kaynak dikişine olan etkisi	19
Şekil 3.7. Tungsten ergimeyen elektrod kaynağı.....	21
Şekil 3.8. Kaynak makinası şeması.....	23
Şekil 3.9. Hava soğutmalı MIG-MAG torcu ve tabancası.....	25
Şekil 3.10. Kaynak torcu.....	25
Şekil 3.11. Tel sürme tertibatı.....	27
Şekil 3.12. Koruyu gaz tüpleri	29
Şekil 4.1. Standart bir lastikli yükleyici kovası	34
Şekil 4.2. Kayma aşınması.....	39
Şekil 4.3. Çarpma aşınması.....	39
Şekil 4.4. Sıkıştırma aşınması	40
Şekil 4.5. Lastikli yükleyici kovası ana elamanları	40
Şekil 4.6. Kaynak pozisyonları	48
Şekil 6.1. Deney akış şeması.....	55
Şekil 6.2. V ve X kaynak ağzındaki paso gösterimleri	59
Şekil 6.3. Kesilen numuneler için iş planı	66

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. Çekme numunesinin boyutları (mm)	69
Şekil 7.1. Sertlik ölçümü bölgeleri	72
Şekil 7.2. 1-V numunesi sertlik grafiği	73
Şekil 7.3. 2-V numunesi sertlik grafiği	74
Şekil 7.4. 3-V numunesi sertlik grafiği	75
Şekil 7.5. 1-X numunesi sertlik grafiği	76
Şekil 7.6. 2-X numunesi sertlik grafiği	77
Şekil 7.7. 3-X numunesi sertlik grafiği	78
Şekil 7.8. 1-V çekme deneyi grafiği	82
Şekil 7.9. 2-V çekme deneyi grafiği	83
Şekil 7.10. 3-V çekme deneyi grafiği	85
Şekil 7.11. 1-X çekme deneyi grafiği	86
Şekil 7.12. 2-X çekme deneyi grafiği	88
Şekil 7.13. 3-X çekme deneyi grafiği	89
Şekil 7.14. Numune parçaların dağılımı	90

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. ITAB alanı	13
Resim 3.2. TIG kaynak uygulamaları	22
Resim 4.1. Lastikli yükleyici (HMK640WL)	33
Resim 4.2. Çalışma esnasındaki lastikli yükleyici	41
Resim 6.1. Kesilen plakalar (boyuna)	56
Resim 6.2. Kesilen plakalar (enine)	56
Resim 6.3. Kaynak işlemi için hazırlanan malzemeler	57
Resim 6.4. Kalıp aparatı	58
Resim 6.5. Distorsiyona uğrayan deney numunesi	58
Resim 6.6. Kaynak esnasında kullanılan robot	61
Resim 6.7. Kaynak anı	62
Resim 6.8. Markalanan ve kesim çizgisi belirlenen kaynatılmış numune	63
Resim 6.9. Testere ile kesime hazır puntalanmış numuneler	63
Resim 6.10. Numunelerin testere ile kesimi	64
Resim 6.11. Bir numunenin deney parçalarının ayrımı	65
Resim 6.12. Kesilmiş kaynatılan numuneler	65
Resim 6.13. Sertlik testi cihazı	67
Resim 6.14. Alın frezede yüzeyi işlenen numuneler	67
Resim 6.15. Alın freze tarafından yüzeyi işlenmiş numune	68
Resim 6.16. CNC tezgahta işlenen numune	68
Resim 6.17. Çekme deneylerinde kullanılan test cihazı	69
Resim 6.18. Mikroyapı inceleme	70
Resim 6.19. Deney numunelerinin son halleri	70
Resim 7.1. Eğilmiş numuneler	71
Resim 7.2. Çekme testine tabi tutulmuş numune	80

Resim	Sayfa
Resim 7.3. S355J2 ana malzeme mikroyapı görüntüsü	91
Resim 7.4. HBW450 malzeme mikroyapı görüntüsü	92
Resim 7.5. S355J2 malzeme V kaynak ağzı mikroyapı görüntüsü.....	93
Resim 7.6. S355J2 malzeme X kaynak ağzı mikroyapı görüntüsü.....	94
Resim 7.7. HBW450 malzeme V kaynak ağzı mikroyapı görüntüsü	95
Resim 7.8. HBW450 malzeme X kaynak ağzı mikroyapı görüntüsü	96
Resim 7.9. V kaynak ağzı kaynak metali merkezi	97
Resim 7.10. X kaynak ağzı kaynak metali merkezi	97

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
a	Isıl Yayınım
HV	Vickers
k	Isıl İletkenlik
Q	Sac kalınlığı cm başına ısı girişi (kal/s)
T_m	Sacın Çevre Sıcaklığı Üstündeki Ergime Sıcaklığı
V_{kaynak}	Kaynak İlerleme Hızı
V_{tel}	Tel İlerleme Hızı
Kısaltmalar	Açıklamalar
CAD	3 Boyutlu Tasarım
Ceş	Karbon Eşleniği
CNC	Computer Numerical Control
DWG	Drawing (Teknik Resim)
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
SEM	Scanning Electron Microscope
TIG	Tungsten Inert Gas

1. GİRİŞ

Yükleme, taşıma ve yeri geldiğinde de tesviye görevi yapan yükleyici kovaları aşınma ile birinci dereceden ilişkilidir. Bu nedenle yükleyici kovaları üretilirken aşınmaya maruz kalan parçaların ömürlerinin uzun olması gerekmektedir. Malzeme seçimi yapılırken doğru malzemelerin seçilmesinin öneminin yanı sıra, seçilen bu malzemelerin doğru şekilde bir araya getirilmesi de önemlidir. Günümüzde genel olarak yükleyici kovalar imal edilirken aşınma plakalarının ve S355J2 plakalarının oluşturduğu bir kaynaklı konstrüksiyon meydana getirilmektedir. Bu nedenle aşınma plakaları ve S355J2 saclarının kaynaklanabilirliğinin incelenmesi gerekmektedir.

Hardox ismindeki aşınma plakaları aslında bir marka ismidir. Ancak oldukça yaygın olarak kullanıldığı için literatürde aşınma plakası yerine Hardox ismi telaffüz edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada da aşınma plakasından bahsedilirken Hardox ismi kullanılmıştır.

Üretim alanında kalite haricinde maliyet analizi de önemli bir yer etmektedir. Günümüzde gerek işlevsel olarak farkından dolayı gerekse imalat yöntemlerinden dolayı Hardox aşınma plakalarının maliyeti S355J2 sacının maliyetinden hatrı sayılır miktar daha fazladır. Bu nedenle üretim yapan firmalar bu aşınma plakalarını sadece en gerekli yerlerde kullanmaktadırlar. Örneğin, bir lastikli yükleyici kovanın ele alırsak yan duvarların, ağız bıçağının ve cıvatalı plakaların aşınmaya maruz kaldığını gözlemleyebiliriz. Bu durumda aşınmaya maruz kalan bu kaynaklı parçaların Hardox olmasını bekleriz. Ancak burada maliyet analizi de ön planda olduğundan elde olan Hardox plakalarının en verimli nasıl kullanılacağına dair çalışmalar ve üretim metodları yapılmaktadır. Aşınmaya direkt olarak maruz kalan cıvatalı plakalardan fire vermemek ve bu cıvatalı plakaların boyutları küçük olduğundan, maliyeti de büyük boyutlu plakalara göre daha az olacağı için tamamen Hardox malzeme seçilebilir. Sürekli aşınmaya maruz kalan cıvatalı aşınma plakaları bir miktar aşındıktan sonra, cıvataları sökülerek yerine yedek parça olarak da kolay bulunabileceğinden yenisi takılabilir. Eğer bu bölgede Hardox yerine S355J2 kullanılmış olsaydı malzeme özelliklerindeki farklardan dolayı çok daha çabuk aşınmaya başlayacak ve firmanın hem kalite olarak hem de maliyet olarak zarar yaşama ihtimali olacaktı. Sürekli hafriyata belirli açılarda ve hızda girerek aşınmaya maruz kalan bir diğer lastikli yükleyici kova elemanı ise yan duvarlardır. Hem kovanın kendi içyapısının dayanımını hem de malzemenin kovada

tutunmasını sağlayan bu yan duvarlar cıvatalı aşınma plakalarının aksine oldukça büyük boyutlarda olabilmektedirler. Günümüzde endüstriyel olarak kullanılan küçük tonajlı lastikli yükleyicilerin yanısıra büyük şantiyelerde veya mermer ocaklarında kullanılan oldukça büyük tonajlı lastikli yükleyiciler de birçok inşaat ve maden firmasının gözdesidir. Bu nedenle 3m³ hacmindeki kova ile 15 m³ hacmindeki kova arasında üretim teknolojisi, maliyet ve pazar payı olarak oldukça fark bulunmaktadır. Bu iki farklı kapasitedeki kovaların yan duvarları arasında da boyutsal olarak inanılmaz fark bulunmaktadır. Yan duvarların yapısının hepsinin Hardox kullanılması ataşman maliyetini arttırdığı için genel olarak en fazla aşınmaya maruz kalabilecek alt bölgelerde Hardox malzemesi kullanılırken aşınmanın daha az olabileceği üst bölgelerde ise S355J2 malzemesi kullanılmaktadır.

Kovanın içyapısına baktığımız zaman ise hafriyatın kova içindeki hareketi de aşınmalara neden olmaktadır. Özellikle kova içerisinde hareket ettikçe malzemeyi daha da fazla aşındırabilecek hafriyat malzemeleri kova içyapısına zarar verebilmektedir. Bu nedenle hafriyatın oturduğu sırt sacı bu tip durumlarda aşınmaya dayanıklı olması gerektiği için Hardox malzemeden imal edilirken aşınmaya daha az maruz kalmakta olan daha üst bölgelerde ise S355J2 malzemesi kullanılmaktadır. Genel olarak bir amaca hizmet eden ve aşınmaya maruz kalması kaçınılmaz olan yerlerde Hardox kullanılırken, aşınmaya daha az maruz kalan ve aşınma ile ilgisi bulunmayan yerlerde ise S355J2 malzemesi kullanılmaktadır.

Günümüzde sanayileşmenin etkin olması ile özellikle seri üretim yapan firmalar kaynaklı konstrüksiyonlarında gerek maliyete olan olumlu katkısı ile gerekse taşınabilir ve pratik bir yöntem olması nedeniyle gazaltı ark kaynak yöntemlerinden olan MAG kaynağına yönelmişlerdir. Gazaltı ark kaynağı denildiğinde akla gelen belirli parametreler vardır. Bunlar, kaynak makinası, ilave metal, kaynak operatörü, koruyucu gaz, ortam şartları gibi daha da çoğaltılabileceğimiz iç ve dış etkiler olabilirler. Bu bileşenlerin birbirlerine uyumsuzluğu kaynak işlemini olumsuz yönde etkilerken parametrelerin doğru seçilmesi ise kaynak dikişini, mukavemetini ve şeklini olumlu yönde etkilemektedir.

Önemli olan kaynak parametrelerinden biri de kaynak hızıdır. Manuel olarak yapılan kaynak işlemlerinde kaynak operatörünün el becerisine de bağlı olarak değişen kaynak hızı, robot ile yapılan kaynaklarda daha stabil bir ilerleme göstermektedir. Maksimum mukavemet ve kaynak kalitesi için en uygun kaynak hızı seçilmelidir.

Yapılmış olan bu çalışmada X ve V kaynak ağızlarının açıldığı S355J2 levhalar ile Hardox HBW450 levhaların farklı kaynak hızlarındaki birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Plakalara kesim tezgâhında kesim işlemi uygulanarak talaşlı imalat ile kaynak ağızı açılmıştır. Ardından kaynak robotu tarafından kaynatılan bu iki farklı özellikteki plakalar kaynak kesitlerinin daha net görülebilmesi adına belirli yerlerden testere ile kesilmiştir. Birleştirme işlemlerinde akım, voltaj, tel besleme ve koruyucu gaz miktarı sabit tutulmuş olup kaynak hızı ve kaynak ağızı geometrileri değişken parametre olarak belirlenmiştir. X ve V kaynak ağızları için her bir deney numunesine aynı hız değerlerinde deneyler yapılmış, elde edilen numunelere eğme, sertlik ve çekme testi uygulanmış, mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmadaki plakalara mikroyapı inceleme, eğme ve sertlik testi için herhangi bir talaşlı imalat işlemi uygulanmazken, çekme testinin yapılması için talaşlı imalat yöntemlerine başvurulmuş ve bütün numunelerden çekme grafiği ve bu grafik sonucunda ortaya çıkarılan değerler elde edilmiştir.



2. KAYNAK VE METALURJİSİ

Eklemeli imalat yöntemlerinde sık kullanılan yöntemlerden biri de kaynaktır. Ülkemizde özellikle imalatlarında çeşitli metaller kullanan fabrikalar için vazgeçilmez, kullanışlı ve pratik bir imalat türüdür. Döküm ile üretilmeyen veya yapının belirli yerlerinde farklı özelliklerin istendiği durumlarda da genellikle kaynaklı imalat yöntemine başvurulur. Gerek karmaşık yapıdaki bir tasarım parçasının bir araya getirilmesinde, gerekse farklı özellikte veya türdeki parçaların birleştirilmesinde oldukça sık kullanılan bir yöntem olan kaynak, malzemenin cinsine göre metal kaynağı ve plastik kaynak olarak ele alınır.

Metalik malzemeyi ısı, basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve ergime aralığı aynı veya yaklaşık, bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye "metal kaynağı" adı verilir. İki parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye "ilave metal" adı verilir [1].

Ergime, genellikle birbiriyle kaynama kavramı ile eş anlamlı olarak düşünülmektedir; ancak kaynak bağlamı içinde daha baştan bu iki sözcük (ergime ile kaynama) arasındaki farkı belirtmek gerekir. Alışlagelmiş kullanımda kaynama sözcüğü, daha sonra gerçekleşecek olacak birleşme ile ergimeyi içine alır; şöyle ki bir birleşmenin iki parçası ergiyebilir ama kaynamayabilir.

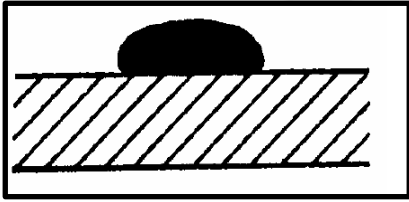
Kaynak etmek ise aralarında malzemenin devamlılığını sağlayarak iki veya daha fazla parçayı birbiriyle birleştirmekten ibarettir.

Bunu başka türlü de ifade edebiliriz. Önce fiziğin temel prensiplerini verelim:

Bir maddenin molekülü, o maddenin bütün özelliklerine haiz en küçük kısımdır. Bir molekül atomlardan oluşur. Bir atom, bir çekirdek ve bu çekirdek etrafında büyük hızla dönen bir veya birkaç elektrondan oluşur. Bir ısı yükselmesine bir (elektronların) hız artışı tekabül eder. Isıyı ölçmek demek aslında hızı ölçmek demektir. Devamlı bir titreşim hareketine haiz olan atomlar birbirlerini, aralarındaki mesafeye göre çekerler ya da iterler. Bu mesafe Angstrom ile ölçülür. Bir angstrom milimetrenin on milyonda biridir. Buna göre kaynak

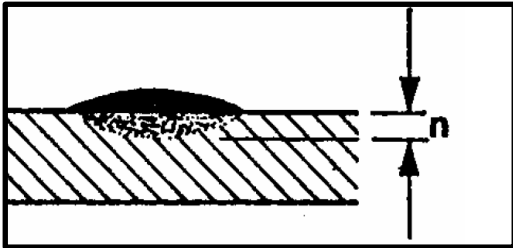
etmek demek, birleştirilecek parçaların atomlarını karşılıklı çekme bölgelerine getirmek anlamına gelmektedir [2].

Kaynak sırasında oluşan ark, ergimekte olan elektrot ile birleştirilecek parçaların birleşme noktasında görülür. Gazaltı kaynak yöntemlerinde hava içinde oluşan arkın çevresel etkilerden korunması için koruyucu gaz kullanılmaktadır. Bu koruyucu gazın cinsine göre kaynak yönteminin sınıflandırılmasını yapmak da mümkündür. Tozaltı kaynaklarda ise ark kaynak edilecek parçaları örten bir katı maddeler karışımı içerisinde oluşur. Bu karışım arkı ve kaynak bölgesini dış etkenlerden korur. Ergimenin, ana metalin birleştirilecek iki ağzının ya da ana metalle kaynak esnasında ilave edilen elektrot metalinin kendi aralarında kusursuz ve tam karışması hali olduğundan bahsetmiştik. Ergime kaynak parametrelerinin doğru ayarlanmaması durumunda eksik olur ve bu da kaynağın zayıf yapıda olmasına neden olur. Bu durumda ergime yerine yapışma olmuş olur (Şekil 2.1.) [2].



Şekil 2.1. Yapışma hali [2]

Gerçek bir ergimenin olabilmesi için kaynak metalinin ana metal yapısına etki etmesi ve belirli bir miktar nüfuziyet sağlaması gerekmektedir. Bu nüfuziyet (penetrasyon) ergime derinliği, yani ana metalin ilk yüzeyi ile ergimenin bittiği nokta arasındaki mesafe olarak adlandırılır (Şekil 2.2.). Nüfuziyetin iyi olması kaynak işleminin başlıca şartı diyebiliriz [2].



Şekil 2.2. Ergime hali [2]

Çoğu teknolojik yöntemin gelişme evresinde olduğu gibi metal kaynağının da gelişmesindeki en büyük faktörlerden biri milletlerin savaş içinde olup, savaş teknikleri doğrultusunda teknolojik deneysel faaliyetlerinin ilerletilmesidir. Birinci Dünya Savaşı sırasında kaynak yeteri kadar gelişmiş değilken İkinci Dünya Savaşında ise oldukça gelişmeye başlamış ve oturmuş bir sistem olarak sürdürülmüştür. Özellikle savaş esnası sırasında üretim hızı oldukça önemli olduğu için kaynak ile ilgili çeşitli yöntemler bulunmuştur. Kaynak böylece imalat teknolojisine iyice yerleşmiş duruma geldi ve özellikle denizaltı gibi savaşlarda kullanılan birçok kaynaklı yapının maruz kaldığı koşullara verdiği tepkiler gözlemlenmiştir. Bunlar da kaynağın bir standarta geleceğinin habercisi olmuştur [2].

Dünya genelinde kaynaklı imalatın yaygın olmasının başlıca sebeplerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Ekonomik olarak uygun ve pratik bir yöntemdir.
- Yaygın bir yöntem olduğu için bilgi erişimi kolaydır.
- Genel olarak ortam şartları sağlandığı takdirde her yerde kaynak yapılabilir.
- Günümüzde gelişen teknoloji ile su altında bile kaynak yapılabilmektedir.
- Çeşitliliğinin oldukça fazla olmasından dolayı kullanım alanı oldukça geniştir.
- Gelişen teknoloji ile kaynak işlemi otomasyon bir sisteme dönüştürülebilmiştir. Bunun için kullanılan robot kaynakları özellikle seri üretim yapan üretim fabrikalarında oldukça sık tercih edilmektedir. Böylece zamandan kazanılmaktadır.
- Kaynak makinelerinin mobil olarak taşınabilmesi de kaynak işleminin yaygınlaşmasında önemli bir rol oynamaktadır.
- Kaynak işlemi sırasında yapılan hataların önüne geçilmesi için çeşitli önlemler mevcuttur. Kaynağı yapılacak malzemeler kaynatılmadan önce doğru konumlandırılarak punta kaynağı ile çatımı yapılmaktadır. Olası bir yanlış konumlandırmada parçaları birbirinden ayırmak oldukça basittir.
- Kaynak yöntemi ile bir araya getirilen parçaların işleme operasyonu döküm parçalara oranla daha güvenilir olur.
- Malzeme özellikleri döküm parçalara göre daha belirgin ve homojen olduğu için işleme sırasında güven verir [3].

2.1. Kaynak ile Dökümün Kıyaslanması

Günümüzde belirli sektörde imalat yapan firmaların, ürün tasarımı sırasında akıllarına kaynaklı imalat ile mi yoksa döküm yöntemi ile mi ürün imal ettirmek sorusu gelmektedir. Her ne kadar bu konuda genelleme yapmak yanlış olsa da birçok parçanın hem döküm yöntemi ile hem de kaynaklı imalat ile üretilmesi mümkündür. Bu nedenle özellikle bu iki üretim yöntemi imalat sektöründe yer alan firmalarca kıyaslanmaktadır. Genel olarak üretici firmalar aşağıdaki parametreleri göz önünde bulundurarak parçanın üretim yöntemine karar vermektedirler. Buna göre kaynaklı imalat ile döküm yöntemini aşağıdaki gibi kıyaslayabiliriz:

- Kaynakta model masrafı bulunmamaktadır.
- Kalınlıkları 6 mm'den az olan parçaların döküm işlemi oldukça zahmetli bir işken aynı durum kaynaklı imalat için söz konusu değildir.
- Kaynak işleminde döküm işlemine göre yaklaşık olarak %30 civarında ağırlık avantajı vardır.
- Çok sayıda üretim yapıldığı takdirde döküm işlemi daha faydalı bir yöntemdir.
- Döküm parçalarda iç yapıda homojen dağılım konusu garanti edilemezken aynı durum kaynaklı parçalar için geçerli değildir.
- Döküm fabrikalarının çevreye verdiği zarar kaynaklı imalat süresince çevreye verilen zarardan oldukça fazladır[4].

2.2. Kaynak Kabiliyeti

Uluslararası Kaynak Enstitüsünün (IIW-IIS) IX numaralı Kaynak Kabiliyeti Komisyonu kaynak kabiliyetini şöyle tarif etmektedir:

"Bir metalik malzeme, verilen bir usul ile bir amaç için bir dereceye kadar kaynak yapılabilir diye kabul edilir. Uygun bir yöntem kullanılarak kaynaklı metalik bağlantı elde edildiği zaman, bağlantı yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyona tesirleri bakımından tayin edilmiş bulunan şartları sağlamalıdır."

Yukarıdaki tariftten de anlaşılaçağı üzere, kaynak kabiliyeti yalnız malzemeye bağılı bir özellik değıldir. Aynı zamanda, kaynak usulüne ve kaynaklı konstrüksiyona da bağılıdır. Bir metal veya alaşım, bir kaynak usulünde gayet iyi derecede bir kaynak kabiliyeti göstermesine rağmen, diğeri bir usulde çok zayıf bir kaynak kabiliyetine sahip olabilir. Kaynak kabiliyeti sonuç olarak malzemenin tipine ve kullanım amacına göre değışmektedir. Örneğın çelik malzemelerin kaynağında iyi mekanik özellikler elde edilmesi amaçlanırken, ostenitik paslanmaz çeliklerde ise ısı tesiri altındaki bölgenin korozyon direncinin yüksek olması istenir. Bu tamamen iki malzemenin kullanım amacı ile de alakalıdır.

2.3. Çeliklerin Ergitme Kaynağında Bağlantı Bölgesi

Kaynak bölgesini iki kısım olarak incelemek mümkündür. Bu bölgeler ergiyen bölge ile ısının tesiri altındaki (ITAB) bölge olarak ayrılmaktadır.

Ergiyen bölge

Kaynak banyosunda oluşan türbülans dolaylı, katılaşmadan önce iyice birbirine karışmış esas metal ve kaynak metalinden oluşmaktadır. Bu karışımında esas metalin kaynak metaline oranı, kaynak yöntemi ve ağız biçimine bağılıdır. Belirli bileşim ve miktarlardaki kaynak metalin karışımından oluşan ergiyen bölgenin hesaplanan bileşimi, kimyasal analiz sonuçları ile aynı değıldir. Çünkü bazı elemanlar kaynak sırasında yanmakta ve kaybolmaktadır. Bu elemanların yanma derecesi; ısının etkisi, kaynak bölgesini çevreleyen atmosfer ve kaynak yöntemine bağılıdır.

ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge)

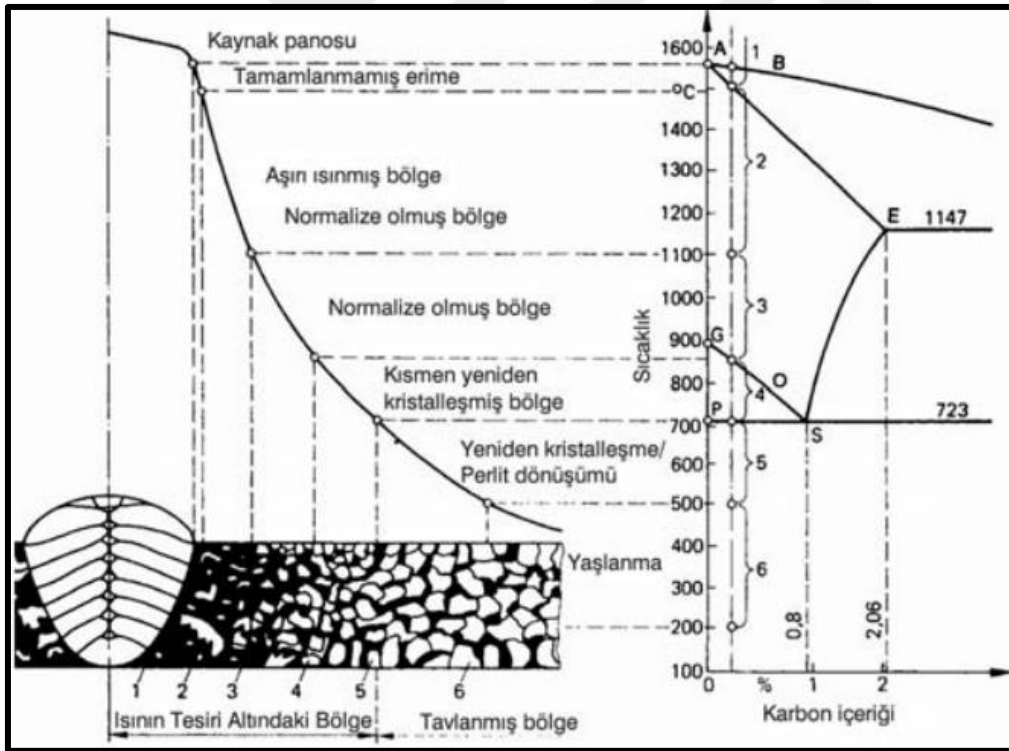
Isının tesiri altındaki bölge, ergiyen bölgenin esas metal ile birleştiğı kısımdan itibaren takriben 1400 °C ile 700 °C arasında bir sıcaklığın etkisi altındaki bölgedir. Bu bölgedeki sıcaklık dağılımı, kaynak şartlarına bağılı olarak değışmektedir. ITAB bölgesi kendi içinde iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen dönüşmüş bölge ve dönüşüme uğramamış bölge olarak ayrılmaktadır [4].

İnce taneli bölge; kaynak sırasında 1150 °C ile 900 °C arasındaki bir sıcaklığa maruz kalan bölgedir ve bu bölgede tane büyümesine rastlanmaz. İyapı bakımından birinci bölge olan

iri taneli bölgeye benzeyip onun devamı niteliğindedir. Ancak tane boyutu yönünden ince taneli bir bölgedir (Şekil 2.3.).

Kısmen dönüşüme uğramış bölge; ince taneli bölgenin devamı niteliğinde olup kaynak anında belirli bir aralığına kadar ısınmış ve bölgesel olarak bir östenit dönüşümüne uğramış olan bölgedir. Östenit dönüşümüne uğradığından dolayı yapısındaki östenit miktarına bağlı olarak, ilk iki bölgeyi andıran bir içyapı gösterir [5].

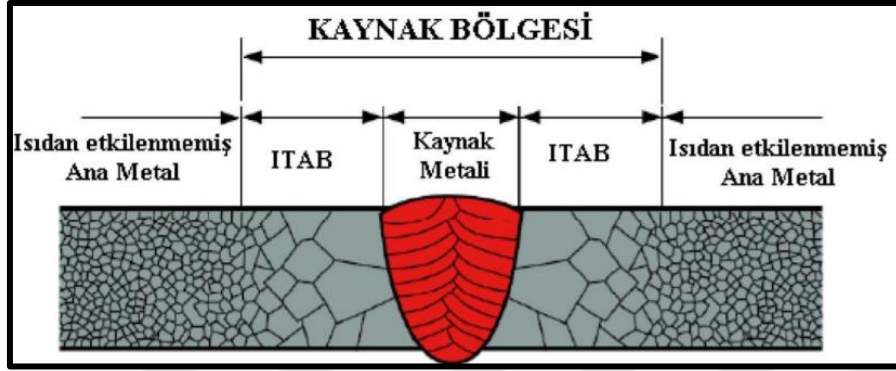
İçyapı değişikliğine uğramamış bölge; diğer bölgelerde ulaşılan sıcaklığın altına kadar ısınan ve bu ısınma süresince bir içyapı dönüşümüne uğramayan bölgedir. Kaynak işlemlerinde genellikle metal, önce ergime sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve sonra soğutulmaktadır. Bu yüzden çelik malzemelerin kaynağında, kaynak bölgesinde yukarıda kısaca belirtilen dönüşümler olmaktadır [4].



Şekil 2.3. ITAB bölgeleri [6]

Genel olarak ergiyen ve ısının tesiri altındaki bölgede, mümkün olduğu kadar ince taneli bir içyapı elde edilmeye çalışılır. Bu ince taneli içyapı sayesinde dayanım ve şekil değiştirme kabiliyeti aynı anda iyileştirilmiş olur. Bu duruma, her şeyden önce kısa süreli kaynak ısı çevrimiyle, çok pasolu kaynakla ulaşılabilir. Bu durumda alttaki pasolar ince taneli, yeniden

kristalleşmiş yapı oluşturabilir veya daha sonradan uygulanacak bir ısıtıl işlemle, örneğin normalizasyon veya yeniden kristalleştirme tavlamaıyla ince taneli yapı elde edilebilir (Şekil 2.4.). Ancak ikinci seçenek, maliyetlerin düşürülmesi amacına uygun olmaz ve bundan dolayı nadiren uygulanır [7].



Şekil 2.4. ITAB ve kaynak bölgesi [8]

2.4. Kaynakta Isıl Etkiler

Isı enerjisi imalatla kullanılan birçok üretim metodunun başlıca elemanı olarak yer almaktadır. Özellikle metal sektörlerinde kullanılan kaynak, dövme, döküm, kesim, ısıtıl işlem ve benzerleri gibi mühendislik adımlarında kullanılmaktadır. Dövmede ve dökümde oluşturulmak istenilen malzemenin şekil yapısı için etki ettirilen ısı enerjisi, kaynakta farklı malzemelerin birleştirilmesi için kullanılırken, ısıtıl işlemlerde ise nihai olarak elde edilen ürünün mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılmaktadır. Kaynak işlemi ve ısı enerjisinin ilişkisini düşündüğümüzde ısıtılın temel amacı sadece parçaların birleştirilmesi olsa da kaynak havuzunun kaynak ağzına doldurulması ve katılaşmasının beklenmesi bir döküm işlemini anımsatırken, kaynak bölgesindeki yüksek ısı girdisinden dolayı ana malzemelerin de bu ısıya maruz kalıp etkilenmesi ise parça üzerinde meydana gelebilecek bir ısıtıl işlemi anımsatabilir. Döküm sırasında meydana gelebilecek hatalar kaynak havuzunda da meydana gelebileceği için kaynak işlemi uygulanması için döküm işlemine de hakim olmak gerekmektedir. Aynı şekilde ana malzemelerin maruz kaldığı ısıtıl işlemlerden dolayı ise ısıtıl işlemlere de hakim olmak gerekmektedir.

Her kaynak yönteminde farklı değerlerde verim alınmaktadır. Bu verim değerleri kaynak işleminin yöntemine, ortam şartlarına, kaynak esnasında kullanılan parametrelerine göre değişmektedir. Tozaltı kaynak yönteminde açığa çıkan enerji ısı enerjisi olarak direkt parça

üzerine aktarıldığı için kaynak verimi çok yüksek olurken gazaltı kaynak yöntemlerinde açığa çıkan enerjinin bir kısmı ışık olarak çıktığı için tozaltı kaynak yöntemine göre daha düşük olmaktadır.

Sonuç olarak iş parçası üzerine aktarılan ısıнын tümü ergime için kullanılamamaktadır. Kaynak sırasında da ergimede kullanılamayacak ısı miktarı kadar kayıp meydana gelmektedir. Isı kullanımı veriminin bir ölçüde Welles tarafından iki boyutlu ısı akış durumu için kaynak karakterisliği ortaya konmuştur. Bir ergitme kaynağı için $Vd/4a$ gibi boyutsuz bir terim olup V kaynak hızını; d ergime genişliğini ve a ise ısı yayılımını temsil etmektedir. Yüksek ısı girdisinin bulunduğu ve ısı veriminin yüksek olacağı kaynaklarda bu oran 1'i geçmektedir. Genel olarak ise bu değer 0.25 ile 1 arasında bulunmaktadır. Isı girişi ile kaynak parametreleri arasındaki ilişki Eş. 2.1.'de Wells'in Rosenthal denkleminin basitleştirilmesi ile temsil edilmektedir.

$$Q = 8kT_m \left(\frac{Vd}{4a} + \frac{1}{5} \right) \quad a = k/pC \quad (2.1)$$

- Q : Sac kalınlığı cm'si başına kal/s olarak ısı girişi
- k : Isıl iletkenlik
- T_m : Sacın çevre sıcaklığının üstündeki ergime sıcaklığı
- a : Isıl yayılım
- p : Yoğunluk
- C : özgül ısı

Malzemelerin ayırt edici özelliklerinden biri olan ısı yayılımı kaynak esnasında meydana gelebilecek ısı girişlerini de etkilemektedir. Isıl iletkenliğinin fazla olduğu parçalarda ısı malzeme üzerinde yayılım gösterirken dış ortam ile de teması sonucu üzerindeki ısıyı daha rahat ve kısa sürede dağıtmaktadır. Isıl iletkenliği düşük olan malzemelerde ise ısı malzemenin iç yapısında daha uzun süre bulunacağı için malzemenin iç yapısına daha fazla etki etmektedir [9].

3. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ

Çelik konstrüksiyon birleştirmelerinde kullanılan bütün kaynak metodlarında, birleştirilen metalik malzemelerin kaynak bölgesinde ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılması gerekmektedir. Ergimenin meydana geldiği bu kaynak bölgesinde nüfuziyet sağlanmalı ve malzemelerin sökülemeyecek şekilde bir araya getirilmesi beklenmektedir. Bu ısıtma işleminin ardından gelen soğuma, metallerde içyapı değişikliklerine neden olacak ve birleşmek adına kimyasal tepkimelerin meydana gelmesini kolaylaştıracaktır.

Kaynak metali kullanıldığı yöntemle ilişkili olarak yüksek sıcaklık ile erir ve talaşlı imalat veya kesim tezgahlarının nozul ucu açısı kullanılarak hazırlanmış olan kaynak ağzı içine nüfuz ettirilir. Bu esnada bu bölgede bir ısı oluşur ve metalin farklı bölgelerine bir yayılım gösterir. Bu ısı, kaynak dikişinde maksimum düzeydeyken kaynak dikişinden uzaklaştıkça seviyesini düşürerek ilerler. Bu ısı işlem farklılıklarından dolayı kaynak metalinde, kaynak metali bölgesinde ve ana metallerde farklı bir içyapı oluşmaktadır.

Ergime bölgesi tamamen kaynak dikişini kapsamakta olup kimyasal bileşiminde esas metal ve kullanılmış ilave metali barındırır. ITAB ise bu bölgeye uygulanan işlemlerden dolayı oluşan ısıdan çeşitli derecelerde etkilenmiş bir bölgedir. Çeliklerin kaynağında bu bölgede sıcaklık yaklaşık 700-1450°C arasında değişkenlik göstermektedir. Resim 3.1.'de kaynak dikişi çevresinde yer alan ITAB bölgesi oldukça belirgin olarak gösterilmektedir.



Resim 3.1. ITAB alanı [10]

Kaynak işlemini birçok parametreye göre sınıflandırmak mümkündür. Sınıflandırılan bu kaynak türleri arasındaki farklar kaynağın kullanım amacı, kıstasları, ortam şartları gibi

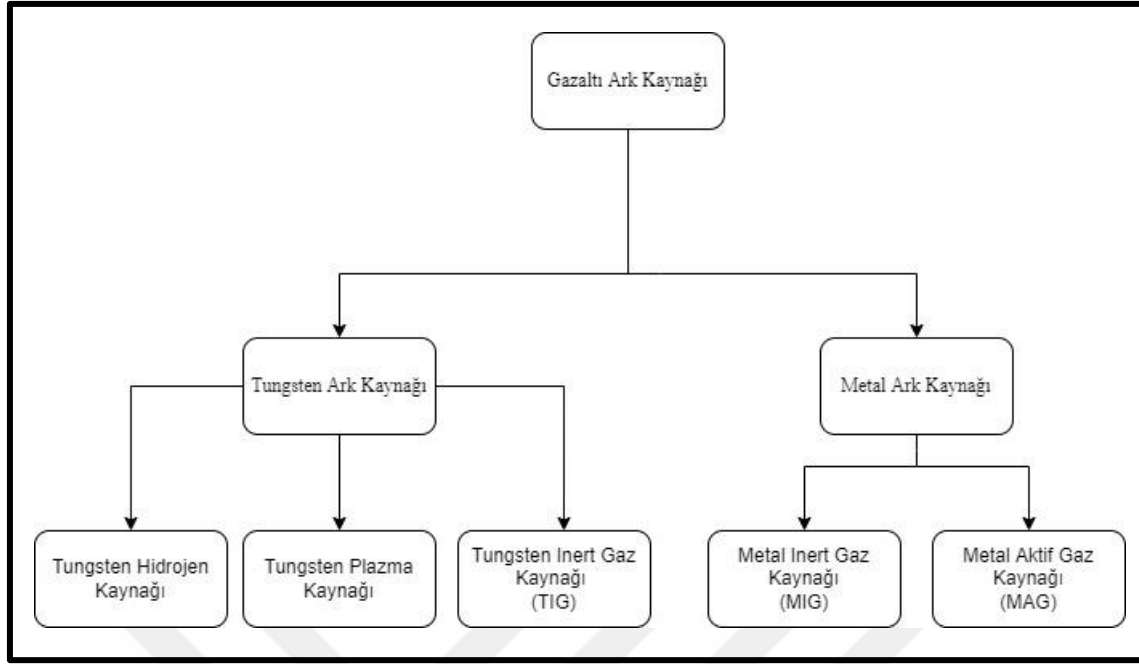
durumlar etkisi altında oluşmaktadır. Ancak yapılmış olan deneysel çalışmayı anlamak adına bu bölümde gaz altı kaynak yöntemleri hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir.

1950’li yılların başlarında özellikle otomotiv sektöründe, ergime gücü yüksek olan, sadece yatay pozisyonda çalışabilen, hızlı, pratik ve CO₂ koruyucu gazlı kaynak makineleri kullanılmaya başlanmıştır. Sadece yatay pozisyonda olması ve çalışabilir olması fazla miktarda sıçramalara neden olmuştur. Bu durum sektör araştırmacılarını bu sorunu çözmeye yönelik çalışmalara itmiştir. Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağında bu örtünün en önemli görevi koruyucu bir gaz atmosferi oluşturarak kaynak banyosunu havada yer alan oksijen ve azotun olumsuz etkilerinin temasından korumak olmuştur. Sonuç olarak sınıflandırma yapılırken kaynak bölgesinin bir şekilde başka bir gaz atmosferi tarafından korunması gazaltı kaynak yöntemi olarak adlandırılmıştır [11].

Gazaltı ark kaynak yöntemleri elektrod, koruyucu gaz ve ark türüne göre sınıflandırılabilir. İlk keskin sınıflandırma elektrod türüne göre yapılmıştır. Burada elektrod olarak ergiyen ve ergimeyen elektrodlar baz alınmıştır. Tungsten ergimeyen elektrodları temsil ettiğinden bu yöntem Gazaltı Tungsten Ark Kaynağı olarak sınıflandırılmıştır. Ergiyen elektrodlar ise ark taşıdığı için ve de kaynak esnasında ilave metal görevi gördüğü için kaynak yapılan metal ile benzer özelliklerle olmaktadır. Bu nedenle bu yöntem de Gazaltı Metal Ark Kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır.

Gazaltı Tungsten Ark Kaynağında duruma göre Hidrojen ve Argon karışımlarının kullanılması ile genelde pratik olarak çoğu uygulamada inert (soy) gazlar kullanılmaktadır. Soy gazlar yüksek sıcaklıkta diğer maddeler ile bileşik oluşturmazlar ve kaynak esnasında da özelliklerini korurlar. Zaten inert kelimesi eski grekçe bir kelime olup “reaksiyona isteksiz” anlamı taşımaktadır. Inert gazların tümü Plazma Kaynağında kullanılırken TIG kaynağında ise sadece argon ve helyum gazı veya bu iki gazın karışımı kullanılmaktadır. Tungsten hidrojen kaynağında ise hidrojen gazının görevi çevre atmosferini kaynak banyosundan uzak tutmaktır.

Gazaltı metal ark kaynaklarında ise hem inert gazlar hem de aktif gazla kullanılabilir. Bu sınıflandırmadan dolayı gazaltı metal ark kaynağı Metal Inert Gaz (MIG) ve Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı olarak ayrılmıştır (Şekil 3.1.) [11].



Şekil 3.1. Gazaltı ark kaynağı sınıflandırması

Gazaltı kaynağına etki eden parametreler doğrudan kaynak dikişine etki ettiği için parça kalitesi bakımından oldukça önem taşımaktadır. Kaynak dikişi kalitesi sadece kaynak parametreleri, kaynak yöntemi ve kaynak makinesinin kalitesi ile alakalı olmayıp aynı zamanda manuel kaynak işlemlerindeki kaynak operatörlerinin kabiliyeti ile de orantılıdır. Bu nedenle kaynaklı imalat yapan firmalar kaynak operatörlerinden bu yetiye dair bir sertifika talep ederler.

3.1. Gazaltı Kaynağında Etkili Parametreler

Gazaltı kaynağı yapılırken parametrelerin uygun olup olmaması tamamen birleşecek parçaların mekanik ve fiziksel özellikleri ile alakalı olup buna göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle herhangi bir parametre ayarlanmasında standart oluşturulması için parçaların mekanik ve kimyasal özelliklerinin de tanımlanması gerekmektedir.

Kaynak işleminin kaliteli olması için bir diğer önemli husus da birleştirme yapılacak parçaların kaynak esnası sırasında hareket etmemesi için oluşturulan sistemdir. Özellikle robot kaynaklarında birleştirilecek parçaların sabit durması için çeşitli aparat veya kalıplar kullanılmaktadır. Kaynak pozisyonunun durumuna göre hazırlanan bu aparatlar birleştirilecek parçaların sabit durmasını sağlayarak kaynak çekmelerini en aza indirmektedir. Operatörler tarafından yapılan kaynak işlemlerinde herhangi bir çekme

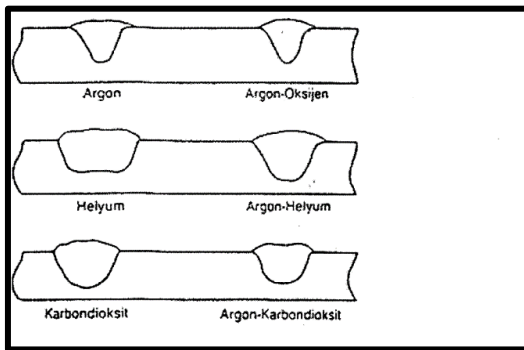
durumunda kaynaklı parça ısıtılarak parçanın kaynak yapılmadan önceki duruma getirilmesi sağlanmaktadır. Ancak bu ısıtma durumu da parçadaki içyapıya etki etmektedir. Bu nedenle birleştirme parçalarında meydana gelen kaynak çekmelerinin önlem olarak en başta azaltılmaya çalışması büyük önem teşkil etmektedir.

Elektrod çapı: Kaynakla doğrudan bağlantılı olan akım, elektrod çapına göre değişmektedir. Elektrod çapı büyüdükçe akım şiddeti de büyüyebildiğinden kaynak anında daha yüksek sıcaklıkta bir ergime meydana gelmektedir. Bu da özellikle kalınlıkları fazla olan parçalar için derin nüfuziyetli dikişler oluşurabilmektedir [12].

Elektrod çapı seçiminde birleştirme parçalarının sahip olduğu kalınlığı, nüfuziyeti, ergime gücü, elde edilmek istenilen kaynak dikişi, kaynak pozisyonu ve elektrod maliyeti dikkate alınmaktadır. Seçilen elektrodlar kaynağın amacına, türüne göre değişmekte olup kaynak maliyetleri göz önünde bulundurularak her işlem için uygun elektrod çapı bulunabilmektedir [12].

Koruyucu gazın türü: Gazaltı kaynakların olmazsa olmazlarından olan koruyucu gaz kaynak parametrelerine doğrudan etki etmektedir. Koruyucu gaz türünün kaynak esnasında sıçrama miktarına, kaynak hızına, kaynak metalinin arktaki transfer şekline ve elde edilen bağlantının mekanik özelliklerine etkisi vardır [13].

Demir içeren metallerin kaynağında argon-karbondioksit ile saf karbondioksitin karışımı kullanılmaktadır (Şekil3.2.) [12].

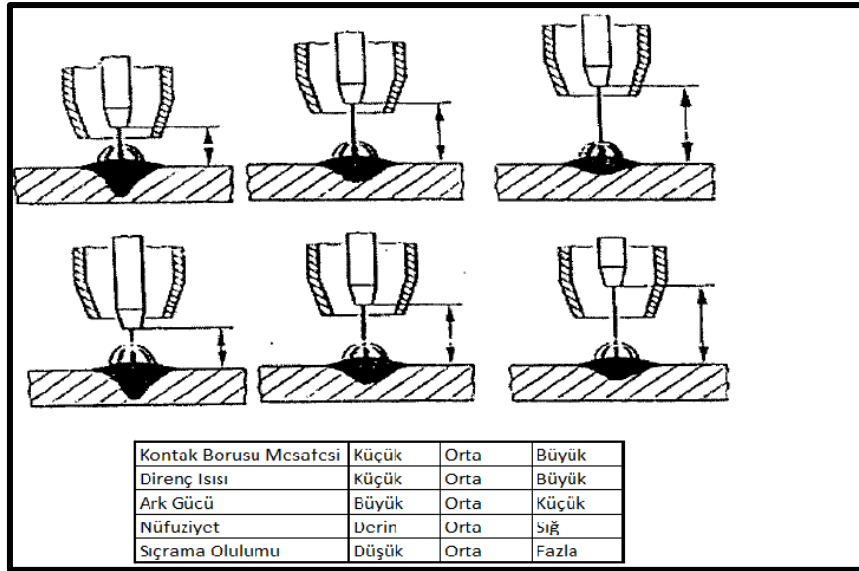


Şekil 3.2. Çeşitli gaz türlerindeki kaynak dikişi profilleri [14]

Ark gerilimi: Ark gerilimi arkın uzunluğunu ve dikişin genişliğini belirler. Eğer ark gerilimi yüksekse, dikiş de yassı ve geniş olur. Çok uzun ark boyunda oluşabilecek fazla ısıdan dolayı alaşım elementleri arkta daha çok yanabilir ve kaynak esnasında duman çıkartabilir [15].

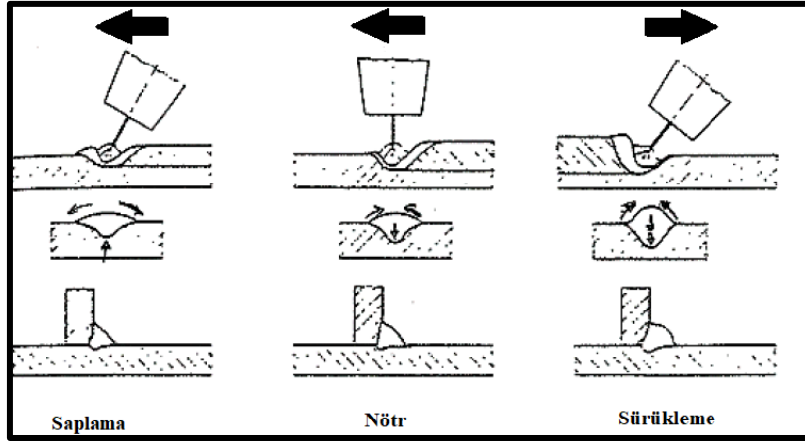
Kaynak tel hızı: Torç kullanımında, kaynak operatörünün kaynak esnasındaki tel besleme hızı ergime hızı ile doğru orantılıdır. Kaynak akımı ile tel hızı arasında ise neredeyse sabit bir oran vardır. Tel hızının yüksek olması durumunda akımın şiddeti ve kaynağın nüfuziyeti de artmaktadır [15].

Serbest tel uzunluğu: Elektrodun tel uzunluğu, üfleç borusunun dış yüzeyi ile serbest salınan telin en ucunu ifade etmektedir. Bu uzunluğun artması ile ergime daha da güçleşir ve kaynak nüfuziyetinde azalma görülür. Tel uzunluğunun fazla artması soğumuş kaynak metalinin kaynak dikişi içerisine nüfuz etmeye çalışmasına neden olur (Şekil 3.3.) [12].



Şekil 3.3. Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi [14]

Torç eğimi: Torcun saplama, dik veya sürüklenme konumuna getirilmesi dikişin sahip olduğu dış geometriyi ve nüfuziyet profile etki etmektedir. Saplama konumunda kaynak dikişi genişler ancak nüfuziyette azalma meydana gelir. Sürüklenme konumundaki torç açısı dikişin daralmasına, dikiş profilinin dış bükey olmasına neden olur ve nüfuziyeti de daha geniş bir ölçüde tutar (Şekil 3.4.).

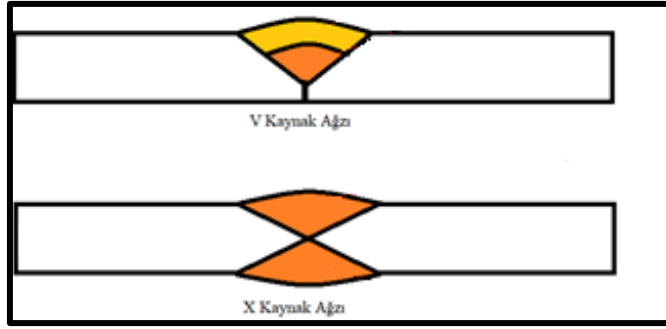


Şekil 3.4. Torç eğiminin kaynağa olan etkisi [15]

Kaynak akımı: Kaynağa etki eden en önemli parametrelerden biri olarak kaynak akım şiddeti söylenebilir. MIG-MAG kaynaklarında kaynak akımı direkt makine üzerinden ayarlanabilir. Ayrıca tel besleme hızının artması ile kaynak akım şiddeti de artmaktadır. Bütün parametrelerin sabit tutulduğunu varsayarsak, akım şiddetinin artması ile kaynak dikişinin eni, yüksekliği, nüfuziyetinin ve boyutunun arttığını görebiliriz [12].

Kaynak ağzı: Kaynak ağzının tasarımı kaynak esnasındaki parametrelerden bağımsız olup kaynak öncesinde hazırlanması gereken bir parametredir. Günümüz teknolojisi ile lazer veya plazma kesim tezgahlarında kesime giren belirli kalınlıktaki sac metal levhalar, bu tezgahların lülelerinin açısı yaptırılması ile kaynak ağzının oluşturulmasını sağlayabilmektedirler. Parça kalınlığı arttıkça bu kaynak ağzının kesim anında oluşturulması zorlaşmaktadır. Talaşlı imalat fazladan bir maliyet getireceği için özellikle kesim anında kaynak ağzının açılabilmesi çoğu üretici tarafından tercih edilmektedir. Bunların dışında kaynak ağzının oluşturulamadığı parçalar için freze tezgâhları tercih edilmektedir.

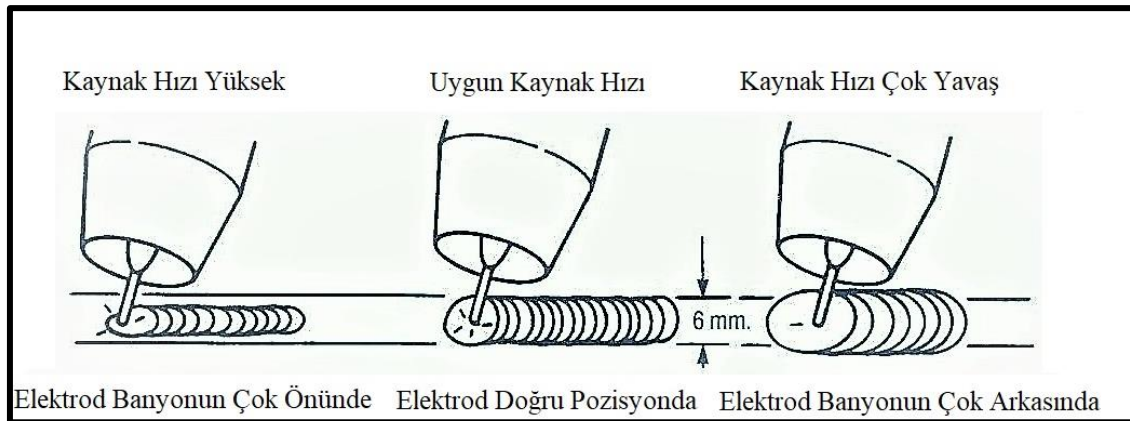
MIG-MAG kaynaklarında birleştirme parçalarının birleşme açılarına göre çeşitli kaynak ağzları kullanılmaktadır. Açılan bu kaynak ağzıları, kaynak havuzundaki esas metal ile ilave metalin nüfuziyetine etki eder. Bu çalışmada alın kaynağı yapılan parçalara X ve Y kaynak ağzı açılmıştır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. V ve X kaynak ağzı şematik gösterimi

Kaynak hızı: Kaynak anında malzeme içyapısına arktan oluşan ısı direkt olarak etki etmektedir. Bu ısı, temas süresince kaynak teli ile iş parçası üzerinde kesintisiz olarak devam etmektedir. Temas süresi ise kaynak operatörünün ya da kaynak robotunun ilerleme hızına göre değişmektedir. Kaynakta ilerleme hızı arttıkça kaynak teli ile iş parçası arasındaki temas süresi azalırken, kaynakta ilerleme hızı yavaşladıkça bu temas süresi uzamaktadır. Temas süresinin uzaması ile doğru orantılı olarak iş parçasının maruz kaldığı ısı da artmaktadır.

Hız haricindeki parametrelerin sabit tutulması ile, kaynak hızının artırılması dikiş kesitinde bir miktar küçültme meydana getirmektedir. Daha yüksek kaynak hızlarında iş parçasına temas azalacak ve bu hızda aynı dikiş geometrisini elde edebilmek için kaynak gerilimi ve tel hızının artırılıp ısıl girdinin bu şekilde artırılması gerekmektedir. Kaynak hızı hiçbir zaman rastgele seçilmemektedir. Zaten çok daha fazla yüksek hızlarda yapılmaya çalışılan kaynak hızlarında kaynak operatörü torcu düzgün hareket ettiremeyebilir (Şekil 3.6.) [15].



Şekil 3.6. Kaynak hızının kaynak dikişine olan etkisi [16]

Kaynak hızının azaldığı durumda birim kaynak uzunluğuna yığılan kaynak metali miktarının artması ile ilgili formülasyon Eş. 3.1.'deki gibidir [16]:

$$G = 7,8 \cdot 10^{-4} \cdot h \cdot g \cdot d^2 \cdot \frac{V_e}{V_k} \quad (3.1)$$

- G (kg): 1m kaynak dikişi başına kg olarak yığılan kaynak metali
- h: Sıçrama kayıplarını gözönüne alan yığma verimi
- g (gram/cm³): Elektrod malzemesinin yoğunluğu
- d (mm): Elektrod çapı
- V_e(m/dk): Elektrod besleme hızı
- V_k (m/dk): Kaynak hızı

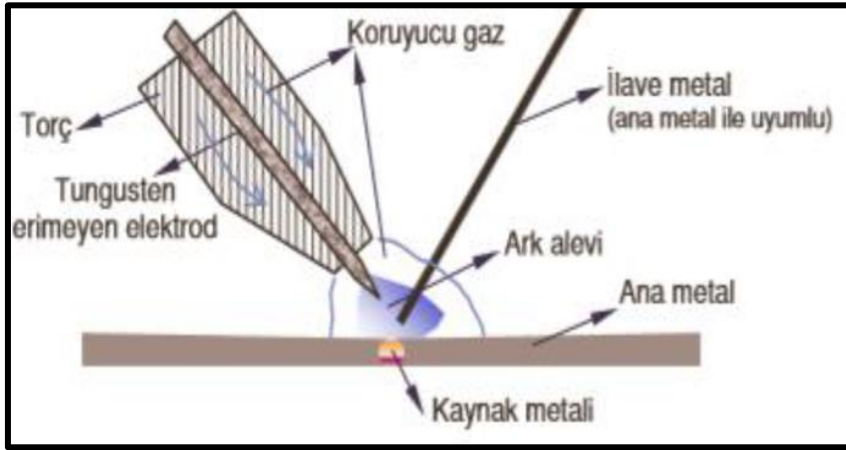
3.2. TIG Kaynak Yöntemi

Tungsten Asal (Inert) Gaz kelimelerinin ilk harflerinden türeyen TIG kelimesi ile isimlendirilen gazaltı kaynak yöntemi 20.yy. başlarında denenmiş ve ABD'de 2. Dünya Savaşı sırasında özellikle alüminyum alaşımları ve paslanmaz çeliklerin kaynağında oldukça sık olarak kullanılmıştır. TIG kaynağını diğer kaynak türlerinden ayıran en önemli özellik ergimeyen bir tungsten elektrod ile kaynağı yapılan iş parçası arasındaki etkileşimdir. Kaynak arkı, elektrod ve ergimiş kaynak banyosu atmosferin zararlı etkisinden helyum, argon veya her iki soy gazın belirli bir miktar karışımı ile oluşturulan gaz tarafından korunmaktadır. Koruyucu gazın özellikle soy gaz olması ile oksidasyon ve nitrür oluşumu gibi istenmeyen durumlar engellenebilmektedir [17].

TIG kaynağı yönteminde genel olarak tek bir elektrod kullanılmasına rağmen, bazı durumlarda birkaç elektrod da kullanılabilmektedir [18].

Ayrıca el ile kaynak durumlarında TIG kaynağı yapan kaynak operatörlerinin ellerinin titrememesi ve el hakimiyetlerinin düzgün olması beklenmektedir. Hatta çoğu üretim alanlarında ağır ve kuvvet gerektiren işlerde yer alan işçilerden (çekiç ile vurma gibi) kaynak operatörlüğüne devşirilme durumu gerektiğinde TIG kaynağının yapılması beklenmemektedir.

TIG kaynak yönteminde genellikle diğer kaynak yöntemlerinde oluşan kaynaklara göre daha kaliteli seviyede dikişler elde edilmektedir. TIG kaynağında oluşan ark tungsten elektrod ile iş parçası arasında oluşmaktadır (Şekil 3.7.). Elektrik devresinin tamamlanması için kutuplardan biri tungsten elektrodta yer alırken diğeri ise iş parçasına bağlanmaktadır. Kaynak sırasında tungsten elektrodun yüksek sıcaklık değerlerine ulaşması ile arkın devamlılığı için gerekli olan elektron emisyonu sağlanmaktadır. Genel olarak koruyucu gazlarda argon gazı helyum gazına oranla daha fazla tercih edilmektedir [19].



Şekil 3.7. Tungsten ergimeyen elektrod kaynağı [20]

TIG kaynağının avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Isı girdisi düşük olacağı için kaynak sonrasında oluşacak olan distorsiyonlar minimum düzeyde olması
- Buna paralel olarak da Isının Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB) daha dar bir alanı etkilemesi
- Sıçrama kayıplarının olmaması
- Kaynaktan sonra cüruf temizlemesine gerek kalmaması
- Kaynak esnası sırasında herhangi bir duman oluşmayacağı için kaynak banyosunun rahat bir şekilde görülmesi
- Boşlukları köprüleme kabiliyeti oldukça iyi olduğu için özellikle borularda ve ince malzemeleerin kök pasolarında olumlu bir etki yaratması
- Çoğu kaynak pozisyonlarında yapılabilmesi
- Yavaş ve ağır yapılmasından dolayı kaynak hatalarının daha az görülmesi

- Diğer yöntemler ile oluşturulan kaynaklara göre kaynak dikişinin genellikle daha yüksek dayanımlı, korozyona karşı dirençli ve daha sünek olması

TIG kaynağının dezavantajlarını ise aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Diğer kaynak yöntemlerine kıyasla kaynak işlemini yapacak olan kaynak operatörünün el becerisinin çok daha iyi olmasının beklenmesi
- Kaynak ekipmanlarının maliyetinin diğer kaynak yöntemlerine nazaran daha pahalı olması
- Kullanım alanı en fazla 5mm'ye kadar tercih edildiğinden kalın iş parçalarında sadece kök paso olarak kullanılması
- Kaynak hızının yavaş olmasından dolayı zaman konusunda verimsizliğin meydana gelmesi [21].

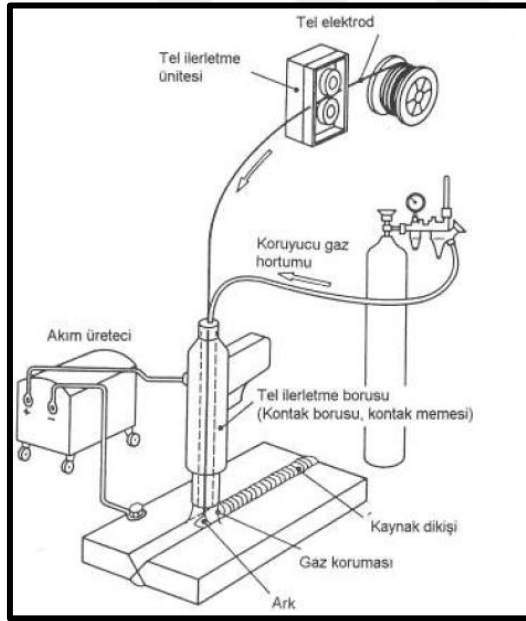


Resim 3.2. TIG kaynak uygulamaları [10]

3.3. MIG-MAG Kaynak Yöntemi

MIG kaynağı 1947 yılında ABD’de ilk satın alınabilir kaynak makinelerinin üretilmesi ile başlamıştır. MAG kaynağı ise ilk defa 1952 yılında Rusya’da denenmiştir. Bu iki benzer kaynak yöntemi arasında fark kullanılan koruyucu gazın soy gaz veya karbondioksit olmasıdır. MIG kaynağında tıpkı TIG kaynağındaki gibi koruyucu gaz olarak soy gaz kullanılırken, MAG kaynağında ise koruyucu gaz görevini karbondioksit görmektedir. MIG kaynağı ile TIG kaynağı arasındaki farkı ise arkın kaynak yerine otomatik olarak gelen ilave metal ile iş parçası arasında oluşması olarak ayırt edebiliriz. Arkın ilave tel görevi gören ergiyen elektrod ile iş parçası arasında oluşması MAG kaynağı için de geçerlidir [22, 23].

CO₂ altında kaynakta sıçrama oluşumu kısa ark ile kaynak olarak bilinen bir tekniğin oluşturulup gelişmesine vesile olmuştur. Gazaltı metal ark kaynağının sonradan geliştirilen bu uygulaması, karbondioksit altında ve hemen hemen sıçramaz bir kaynak işlemini sağlamıştır. Bu sayede özellikle ince sacların birleştirilmesi, kök pasolarının kaynağı ve zor pozisyonadaki kaynaklar için uygun olmuştur. Argon gazı fiyatlarının ekonomik olarak kullanılmaya başlaması ile karışım gazları ilk olarak karbondioksit ve argon olmuştur. Saf karbondioksit gazının maliyetinden daha fazla olmasına karşın, karışım gazlar gittikçe geliştirilmiş ve günümüzde de MAG kaynaklarında (Şekil 3.8.) kullanılan koruyucu gazlarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilinen bütün ergitmeli kaynak yöntemlerini ele aldığımızda kullanım sıklığı bakımından MAG kaynağı bu yöntemlerin %70'ini oluşturmaktadır [24].



Şekil 3.8. Kaynak makinası şeması [25]

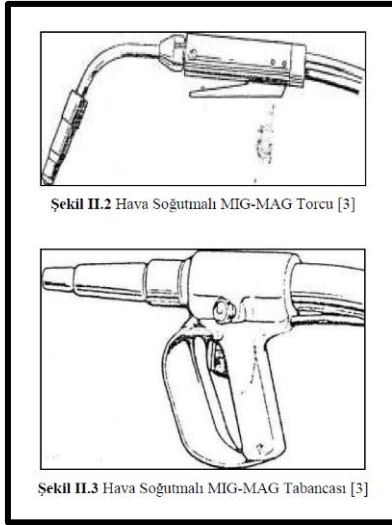
3.3.1. MIG-MAG kaynak elemanları

Özellikle seri üretim yapan fabrikalarda oldukça sık tercih edilen bu kaynak yönteminin piyasada onlarca çeşit makineleri de bulunmaktadır. Bu kaynak makineleri taşınabilmesi ve ergonomik olması nedeni ile hemen hemen her kaynak istasyonunun vazgeçilmez elemanıdır. Bakımlarının eksiksiz yapılması durumunda üretici verimi için oldukça olumlu etki sağlamaktadır. MIG-MAG kaynak yöntemlerindeki el becerisi TIG kaynaklarında beklenen el becerisi düzeyinde olmamaktadır. Bundan dolayı kaynak operatörleri arasında

iş dağılımı yapıldığında en çok kaynak operatörünün kullandığı yöntem de MIG-MAG kaynağıdır.

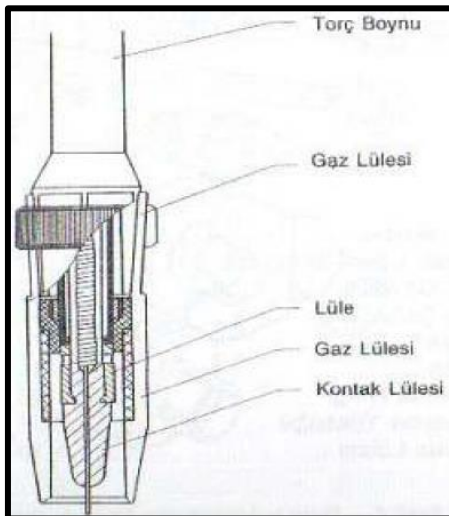
Kaynak torçları

Kaynak makinesinin en son kısmı olan kaynak torcu kaynak operatörünün hakim olması gereken bir elemandır. Akımın tel elektroda yüklenmesi ve arkın koruyucu gaza gönderilmesi bu torcun görevidir. MIG-MAG kaynaklarında tel elektrod sürekli olarak torca iletilildiği için tele elektrik iletimi kayar kontak mekanizması ile sağlanır. Kaynak telinin sarılı olduğu bir makara sisteminden çekilen bu tel kaynak esnasında belirli bir hızda torc ucuna doğru hareket eder. Bu tel makarada konumundayken herhangi bir akım ile yüklü değilken torcu terk etmeye yakın konumda bakır esaslı bir kontak lülesi içinden geçerek kaynak akımı ile yüklenir. Bu kontak lülesine konsantrik olarak, torcun ağız bölgesinde bir gaz lülesi (nozül) bulunur ve bu lüle sayesinde koruyucu gaz akımı girdapsız olarak kaynak bölgesine gönderilir. Arkın oluşumundan dolayı sürekli ısıya maruz kalan bu torcun özelliğini koruması için soğutulması gerekmektedir. Özellikle torcun (Şekil 3.9.) en önemli kısımlarından olan gaz ve kontak lüleleri bu ısıdan oldukça etkilenmektedir. Kontak lülesi ısının yanısıra hareket halindeki tele, kısa bir mesafeden akım ilettiğinden yüksek bir akım şiddetinin ve kaynak banyosundan sıçrayan metal damlacıklarının etkisine maruz kalmaktadır. Düşük akım şiddetlerinde ortam sıcaklığına bağlı olarak bu soğuma durumu kendiliğinden gerçekleşebilirken, ısı girdisinin yüksek olduğu durumlarda böyle bir durum söz konusu olmamaktadır. Yüksek akım girdilerinde yani ısının fazla olduğu durumlarda su ile soğutma sistemi gereklidir. Su ile soğutmadüşük akım şiddetlerinde de soğumayı kolaylaştırmasına rağmen uygulamada torçta sızdırmazlığın sağlanması için kullanılan contaların bakımını zorlaştırdığından genellikle tercih edilmemektedir [24].



Şekil 3.9. Hava soğutmalı MIG-MAG torcu ve tabancası [5]

Yüksek sıcaklık, aşınmayı artırarak telin seçtiği deliğin genişlemesine, böylece tele elektrik iletiminin azaltılmasına neden olur. Akım şiddetinin üst sınırlarda çalışıldığı durumlarda yüksek sıcaklıklar görüleceği için, bu tarz çalışma durumlarında tel ilerleme hızlarında düzensizliklerin meydana gelmesi görülebilmektedir. Bu telin fazla ısınmış kontak lülesi içinde sürtünmesinin artmasından meydana gelmektedir. Bu olay temas düzensizliğine yol açtığından dolayı arkın stabilitesini kaybetmesine böylece kaynaklı parçanın da kalitesini yitirmesine neden olur. Optimum akım şiddetlerinde de eğer ısınma ortaya çıkıyorsa kontak lülesinin (Şekil 3.10.) montajına dikkat edilmesi gereklidir; lüledeki ısının geriye iletilmesi, bağlantı soketinin yerine oturmaması veya temas yüzeylerinde yabancı madde bulunması nedeni ile önlenmiş olabilmektedir [5].



Şekil 3.10. Kaynak torcu [5]

Kontak lülenin malzemesi elektriği çok iyi iletmeli ve aşınmaya karşı dayanıklı olmak zorundadır. CuCr, CuCrZr, CuBe uygulamada çok sık kullanılmakta ve saf bakıra tercih edilmektedir. Günümüzde piyasada aşınmaya daha da dayanıklı sinter tekniği ile üretilmiş CuTu, CuTuAg alaşımlı kontak lüleleri de bulunmaktadır. Uygulamada lülenin iç çapının tel çapından takriben 0,2mm daha büyük olmasına müsaade edilebilmektedir. Bu değer yumuşak tel elektrodları halinde daha da büyüyebilir [5].

Kontak lülesini çevreleyen gaz lülesi de fazla miktarda ısıya maruz kalmaktadır. Gaz lülesinin en temel görevi kaynak bölgesine gönderilen koruyucu gazın düzgün akımını sağlamaktır. Gaz lülesi boyutları ergime gücü ve kaynak hızlarına bağlı birer parameteredir. Kaynak esnasında gaz lülesine yapışan veya sıçrayan metal damlacıklar koruyucu gazın akışını bozar ve koruyucu gaz görevini tam olarak yapamayacağı için kaynak bölgesinin korunamamasına neden olur. Bir diğer tehlikeli durum da sıçramanın aşırı olduğu durumlarda yapışan metal damlacıkları kontak lülesi ve gaz lülesi arasında bir köprü vazifesi görerek bu bölgede ikinci bir arkın oluşmasına neden olur. Bu durum da hem iş parçasının hem de kaynak torcunun ağır hasarı ile sonuçlanabilir. Bu nedenle sıçramaların fazla olduğu durumlarda torç sürekli kontrol edilip sık sık temizlenmelidir. Olası bir tadilat durumunda ise her iki lülenin yedek parça olarak kolay bulunup tedarik edilebileceği göz ardı edilmemelidir [5].

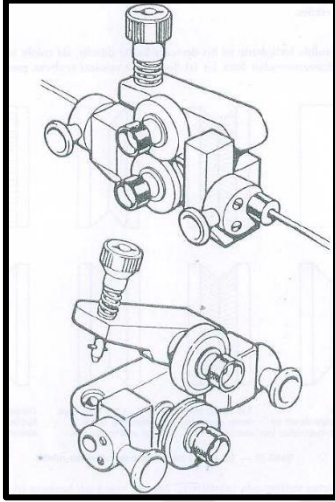
Torç bağlantı paketi

Komplike bir yapıda olan torç, içinde kaynak akımı için gerekli olan tel elektrod kılavuzu, akım kabloları, koruyucu gaz hortumu ve mevcutsa soğutma suyunun geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli ve kalın bir hortum ile bir araya gelmektedir. Bu kalın hortuma içinde barındırdıklarından dolayı torç bağlantı paketi denilmiştir [5].

Tel sürme tertibatı

Gerek pratikliği gerek ekonomik olması ve gerekse ergonomik olmasından dolayı tercih edilmekte olan MIG-MAG kaynak makinelerinin belki de en cezbedici özelliklerinden biri otomatik olarak tel ile beslenmesidir. Bu sayede kaynak operatörü kaynak işlemini elinde bulundurduğu torcun hakimiyeti ile gerçekleştirmektedir. Tel elektrod sürme tertibatı (Şekil

3.11.), kaynak telini sarılı bulunduğu makaradan sağıp önceden belirlenmiş belirli bir hızla ark bölgesine gönderen mekanizmadır [5].



Şekil 3.11. Tel sürme tertibatı [5]

Kumanda tertibatı

Gerekli parametrelerin ayarları yapıldıktan sonra kaynak işlemine başlamak için yarı otomatik MIG-MAG makinelerindeki torç üzerinde yer alan düğmeye basılarak kaynak işlemi başlatılır. İlk işlem olarak parametrelere göre ayarlanmış koruyucu gazın istenilen debide akımı sağlanır. Akabinde ark oluşur ve ark oluşuktan kısa bir süre sonra da tel sürme tertibatı işlevini yerine getirir. Kaynağın durdurulması halinde ise önce tel sürme tertibatı durdurulup ark oluşması kesilir. Son olarak da ayarlanmış bir debideki gaz akımı kesilir. Soğutma özelliğine sahip kaynak makinelerinde bu işlevin devreye giriş çıkışı da bu tertibat ile gerçekleşir [5].

Akım üreteçleri

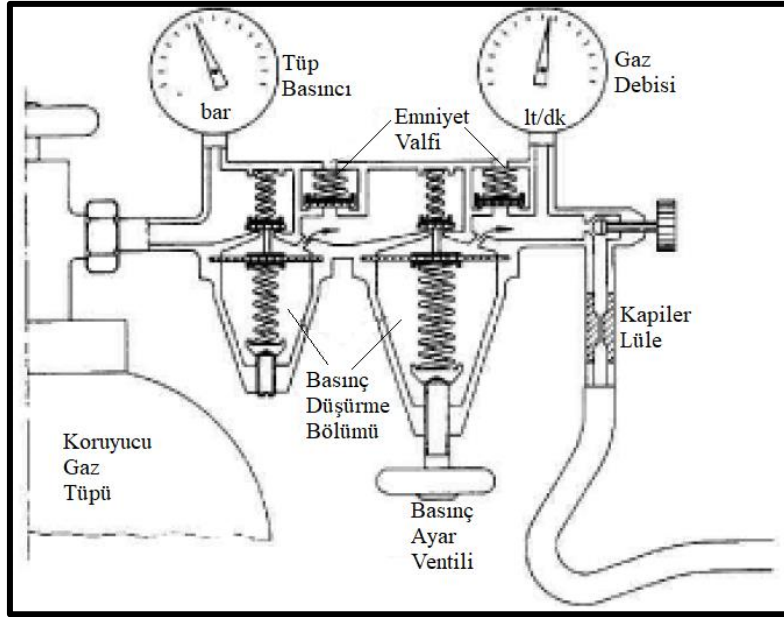
MIG-MAG kaynaklarının akım üreteçlerinde iç ayar adı verilen ark boyu ayarı olarak isimlendiren bir ayar mevcuttur. Bir kaynak operatörünün kaynak makinesinin başına geçtiğinde ilk yapması gerekenler ark gerilimi, tel ilerleme hızını ayarlamaktır. Bunların doğrultusunda ise akım şiddeti de ayarlanmış olacaktır. Standart bir kaynak makinesinde tel ilerlemesi mevcut bulunan tel ilerletme motorundan dolayı sabit hızda olacaktır. Akım ile ilişkili olan ark boyu uzadığı zaman akım şiddetinde büyük oranda azalma meydana

gelecektir. Ergiyen tel miktarı da azalacağından dolayı ark normal boyuna döner. Ark boyunun kısılması halinde ise akım şiddeti birden artmaya başlar. Ergiyen tel miktarında da artış görüleceği için ark boyu normale döner.

Özet olarak tamamen kaynak operatörünün el becerisine bırakılan ark boyu akım üreticinin ürettiği akımı etkilemektedir. Günümüz teknolojisinde MIG-MAG kaynaklarında iki tür akım üreteçleri mevcuttur [5].

Koruyucu gaz tüpleri

MIG-MAG kaynakları için gerekli olan gazlar koruyucu gaz tüplerinde (Şekil 3.12.) muhafaza edilmektedir. Olası bir iş kazasını engellemek adına bu tüplerin sızdırmazlıkları önemlidir. CO₂ tüpleri içinde gaz sıvı formdadır ve bu açıdan gaz tüpleri içerisindeki sıvı gazın ağırlığına göre 10, 20 ve 30 kg'lık olmak üzere sınıflandırılırlar. 1 kg sıvı CO₂ teknik olarak 540 litre koruyucu gazı oluşturur. Tüp ağızlarına gaz basınç ayar ventili diye adlandırılan ve aynen oksijen tüpündeki tertibatı andıran bir sistem takılır. Bunun üzerinde, tüpe yakın olan manometre tüp basıncını, diğeri ise gaz debisini verir. Gaz debisi bu şekilde ölçülür ayarlanabildiği gibi debimetre denilen bir konik cam tüp içinde hareketli bir bilye bulunan aletle de yapılabilir. Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılması durumunda, tüp içindeki gaz sıvıdan buharlaşırken ortamdan enerji çeker ve dolayısı ile tüpte meydana gelen sıcaklığın düşmesi sonucu kuru buz diye adlandırılan CO₂ karı oluşur ve bu da ventili tıkar. Sürekli olarak 12 lt/dk daha fazla debilerde CO₂ kullanılması veya kaynak işleminin soğuk iklimlerde yapılması hallerinde tüp çıkışına bir ısıtıcı konur [5].



Şekil 3.12. Koruyucu gaz tüpleri [5]

3.3.2. MIG-MAG kaynağı avantaj ve dezavantajları

Kaynaklı imalat yöntemlerinden en sık başvuru alan yöntem olan MIG-MAG kaynaklarının çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu kaynak yöntemi günümüzde etkin olarak kullanılmaktadır. Eski tip kaynak makinelerinin yanısıra gelişen teknoloji doğrultusunda aynı görevi gören robot kaynak makineleri de gittikçe yaygınlaşmaktadır.

MIG-MAG kaynak yönteminin avantajları:

- Çok geniş bir kullanım alanı vardır. Kaynak için uygun olan çoğu metal bu yöntem ile birleştirilebilir.
- Endüstriyel üretim için çok elverişlidir. Kaynak makinesinin kullanımı kolaydır.
- Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelik kaynaklarında kaynakçı becerisi TIG kaynaklarında olduğu kadar önemli değildir.
- Donanım ve ekipmanları için ilk yatırım maliyeti düşüktür. Ekonomik bir yöntem olmasının yanı sıra kullanılan ekipmanlarda herhangi bir bakım ya da yedek parça sıkıntısının yaşanması mümkün değildir.
- Çoğu üretim sektörünü içine alabilecek bir üretim sektörüdür (otomotiv, iş makinesi, uzay ve havacılık... vb.)
- Zor pozisyonlarda kullanılabilir [5].

Bu yöntemin dezavantajlarını ise aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Kaynak dikişi başlangıcındaki ya da yarım kalan paso devamındaki ısı girdisi ile dolgu malzemesinin ergimesi aynı zamanda meydana geleceğinden dolayı kaynak dikişinin başlangıcındaki ve pasoların ek yerlerindeki birleşme hatalarını önlemek her zaman mümkün olmayabilir.
- Açık arazi gibi özellikle rüzgârlı ortamlarda yapılan kaynak işlemlerinde koruyucu gazın görevini tam olarak yerine getirebilmesi mümkün olmayabilir.
- Kaynak makinesinin bakımlarının düzenli ve zamanında yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde istenilen verim alınmayacaktır.
- Her işte olduğu gibi bu yöntemde de iş kazalarının önüne geçilmesi adına önlemler almak gerekmektedir [5].

3.4. MIG-MAG Robot Uygulamaları

Endüstriyel kaynak işlemlerinde robotlar yaygın olarak kullanılmaktadır ancak işlerin akıcı olarak sürdürülmesi günümüzde pek mümkün olmamaktadır. Robot kaynağının kullanımı kadar iş parçalarının sabitlenmesi için kalıp-aparat tasarımı da önemli bir faktördür. Ayrıca bu robotların kullanımını, programlanmasını yapabilecek operatörlerin sayısı yeterli sayıya ulaşamamıştır. Robotlar kaynak yaparken konum esaslı çalışmakta olup belirli bir yörüngeye ulaşabilme yetisine sahiptirler. Standart kaynak makinelerinde olduğu gibi robotlarda da istenilen parametrelerin ayarlanması yapılabilmektedir [26].

Avantajları:

- Belirli bir sistematik içerisinde dahil edildiğinde çok iyi derecelerde verim almak mümkündür.
- Kaynağı yapan robot olduğu için kaynak dumanından etkilenen operatör olmayacak dolayısı ile insan sağlığına zarar verebilecek herhangi bir durum olmayacaktır.
- Bir takım iş kazalarının önüne bu şekilde geçmek mümkündür.
- Kaynakta bir standartlaşma olacak, insan becerisinden bağımsız bir durum olacağı için doğru parametreler koşulu ile daha düzgün kaynak dikişleri elde edilebilecektir.
- Yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen seri üretim aracı olarak kullanıldığı takdirde işgücü olarak olumlu bir etki yaratacaktır.

- Kontrol kumandasına sahip olması ile bütün parametrelerin ayarlanması tek bir yerden yapılabilmektedir.
- Her ne kadar yaygın olarak kullanılsa da günümüz teknolojisinde bu robotlara ulaşabilmek artık daha kolaydır.

Dezavantajları:

- Oldukça maliyetli bir yatırımdır.
- Elektronik aksanlarından dolayı cihaz hatalarının çözümü çok basit olmamaktadır.
- Programlama ve kullanma becerisine sahip operatör bulmak ve yetiştirmek kolay değildir.
- Sadece robotun kendisi değil, aynı zamanda kaynağın yapılacağı kalıp da önemli bir faktördür.
- Kullanım yelpazesi geniş olsa da her kaynak pozisyonu için uygun olmayabilir.
- Belirli bir yörünge sayesinde konumlandırılması yapılmasına karşın robotun taşınması ve kurulumu meşakatlidir.
- Bakımlarının zamanında ve eksiksiz yapılması gerekmektedir.
- Maliyetli bir sistem olmasından dolayı yedek parçaları da pahalıdır.



4. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER VE KAYNAK KABİLİYETLERİ

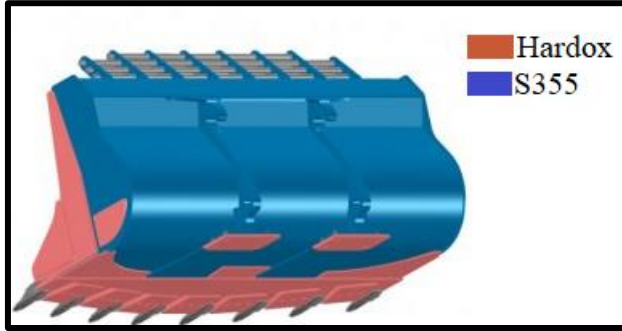
Kaynaklı imalatla gerek kaynak kabiliyeti yüksek olduğundan gerekse maliyet bakımından uygun olduğundan dolayı S355J2 çelikleri oldukça sık tercih edilmektedir. Tabi ki bu çelikler tercih edilirken kullanım amaçları da gözden geçirilmelidir. Yapı elemanı olarak kullanılmasında bir sakınca bulunmazken aktarma organı olarak kullanılarak yüksek mukavemete ya da burulmalara maruz bırakmak da pek doğru olmamaktadır. Bunun yanı sıra aşınmanın olduğu yerlerde de bu tip çeliklerin kullanılması pek tavsiye edilmez. Aşınmanın olduğu yerlerde genelde Hardox çelikleri tercih edilmektedir. Gerek kaynak kabiliyeti bakımından gerekse aşınmaya karşı olan üstün özelliklerinden dolayı tercih edilen Hardox aşınma plakalarının en büyük dezavantajı işleme zorlukları ile maliyetinin fazla olmasıdır. Bu nedenle aşınmanın maruz kalacağı yapılarda bütün elemanların Hardox seçilmesi yerine en çok aşınmanın olabileceği yerler Hardox seçilir. Geriye kalan taşıma ya da destek görevi gören yerler ise S355J2 malzeme seçilir. Böylece S355J2 plaka ile Hardox plakası birleştirilip gerekli görevi yapabilmek üzere bir sistem oluşturulur.

Özellikle iş makineleri ataşmanlarının karşılaştığı bu aşınma problemine çözüm olarak kullanılan S355J2 ve Hardox kaynakları hemen hemen bütün üretici firmalar tarafından bilinen bir yöntemdir. Şekilde bir lastikli yükleyici (Resim 3.3.) iş makinesinin hafriyata girdiğinde maruz kaldığı aşınmayı gözlemleyebiliriz.



Resim 4.1. Lastikli yükleyici (HMK640WL) [27]

Burada operatörün iş makinesini hafriyat üzerine doğru ilerletmesi sonucunda iş makinesinin kovası hafriyatın içerideki hareketinden dolayı birtakım aşınmalara uğrayacaktır. Bu hareket lastikli yükleyicinin rutin olarak çalışma sistemi olduğu için saatlerce çalışması sonucu yüzlerce kez tekrarlanacak bir hareket olacak ve iş makinesi kovasında (Şekil 3.13.) birtakım aşınmalar söz konusu olacaktır.



Şekil 4.1. Standart bir lastikli yükleyici kovası [28]

Şekilde gösterilen iş makinesi kovasında turuncu renkli olan yerlerde Hardox aşınma plakası kullanılırken mavi olan yerlerde ise S355J2 çeliği kullanılmıştır. Burada kovanın en çok aşınmaya uğrayan yerleri Hardox seçilirken, aşınma ile ilgisi olmayan hatta hafriyat ile temas etmeyen yerlerde S355J2 çeliği kullanılmıştır.

Yapılan bu deneysel çalışmada S355J2 yapı çeliği ile Hardox (HBW450) aşınma plakası kullanılmıştır. Bu iki tür malzemenin kaynak ile birleştirilmesi robot aracılığı ile olup kaynak teli olarak ise SG2 kaynak teli kullanılmıştır. Bu malzemeler ile ilgili bilgilere aşağıdaki alt başlıklarda yer verilmiştir.

4.1. Yapı Çelikleri ve S355J2

Çeliğin içyapısı ve içerdiği diğer elementlerin kimyasal bileşimi çeliğe farklı özellikler kazandırır. Bu elementler alaşım elementleri olarak adlandırılır. Alaşım elementleri çeliğe farklı oranlarda katılarak farklı özelliklerde çelikler elde edilebilir veya çeşitli işlemler (ıslah etme, normalizasyon tavı uygulama vs.) ile içyapı kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde çelikler üretilebilir [29].

Yapı çelikleri 1980 ve 1990'lı yıllarda çelik yapılarda kompozit kirişlerde ve döşemelerinin imalatında etkili bir şekilde kullanımıyla Batı Avrupa ülkelerinde ve özellikle İngiltere'de daha yaygın kullanılan bir malzeme haline gelmiştir. Ülkemizde o yıllarda henüz yeterli derecede kullanılmayan yapı çelikleri özellikle 1999 Marmara depremi sonrasında inşaat sektöründe adından sıkça söz edilen bir yapı malzemesi olmuştur. Günümüzde imalat sektöründe adından sıkça söz ettiren yapı çelikleri hemen hemen her endüstri alanında karşımıza çıkmaktadır [30].

Yapı çelikleri birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlar:

- Endüstriyel binalar, köprü ve demiryolları
- Gemi yapımı ve denizde yapılan dalgakıranlar
- Şehirlerarası elektrik kabloları taşıyan direkler
- Petrol ve offshore gaz platformlar
- Çok amaçlı sosyal tesisler
- Ticari yapılar ve binaya yük bindirmeyen çatı katları
- Otomotiv, iş makinesi ve savunma sanayi

Yapı çelikleri eski gösterim olarak çekme dayanım özelliğinin belirtildiği bir kodlama sistemine göre simgelenmişti. Bu gösterimlere örnek olarak St33, St34, St37, St42, St46, St50, St52, St60, St70 gösterilebilir. Burada çekme dayanım özelliği en düşük olan St33 olurken, çekme dayanımı en yüksek olan ise St70 olmaktadır. Günümüzde ise yapı çeliği malzemelerinin yeni simgeleri yapı çeliklerinin kimyasal ve mekanik özellikleri, teslim şartları gibi tüm özellikleri TS EN 10025-2 standardı ile düzenlenmiştir. Burada S355J2 çeliğinin eski karşılı St52 olmaktadır. S355 adlandırması ise yalnız başına kullanılmayıp hemen ardına ek olarak J0, JR, J2 ve K2 gibi ekleri almaktadır. Bu ekleri ise aşağıdaki gibi açıklayabiliriz:

- J0: 0 C° sıcaklıkta darbe enerjisi, minimum 27 J olduğunu ifade eder.
- JR: 20 C° (Oda sıcaklığı) sıcaklıkta darbe enerjisi minimum 27 J olduğunu ifade eder
- J2: -20 C° sıcaklıkta darbe enerjisi (KV) minimum 27 J olduğunu ifade eder.
- K2: -20 C° sıcaklıkta kalınlık ≤ 150 mm için darbe enerjisi minimum 40J olduğunu ifade eder.

Deneyde bu ekler de göz önüne alındığında tam olarak S355J2C çeliği kullanılmıştır. J2'den sonra kullanılan C sembolü malzemenin soğuk şekillendirilebileceğini temsil ederken +N ifadesi ise malzemenin üretiminin normalizeli olduğunu göstermektedir.

Yapı çelikleri, kaynaklı birleştirme yöntemi olarak kullanılan MIG-MAG kaynakları için uygun olmalarından dolayı birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kolay erişilebilirliği ve maliyet avantajından dolayı da bu çelik türleri tercih edilmektedir [31, 32]. Çeliğin içindeki diğer elemanlar;

Manganez: Normal çeliklerde %0,30 %0,80 Mn bulunur. Manganez çelikte kükürtle birleşerek MnS yapar ve bu sayede kükürdün demirle birleşmesini önler. Manganezin fazlası karbonla birleşerek mangankarbür (Mn_2C) oluşturur ve çeliğin sertliğini, mukavemetini artırır, plastikliğini azaltır.

Silisyum: Karbonlu çeliklerde %0,01'den %0,30'a kadar Si bulunur. Çeliğin sırasında içinde meydana gelen gaz boşluklarını önlemek ve çeliği deokside etmek için kullanılır.

Kükürt: Normal çeliklerde %0,05'ten daha az miktarda kükürt bulunur. Çeliğin içindeki bütün kükürdün manganezle birleşmesi istenir.

Fosfor: İyi çeliklerde iz halinden %0,05'e kadar fosfor bulunur. Fosfor çeliğin tane boyutunun büyümesine neden olur. Bundan dolayı fosforun fazlası çeliği kırılgan yapar.

Oksitler: Çelikte ayrıca demiroksit (FeO), manganoksit (MnO), silis (SiO_2) ve alüminyumoksit (Al_2O_3) gibi oksitler vardır. Bu maddeler çelikte zararlıdır ve çeliğin zayıf noktalarını oluşturdıklarından çatlama ve kırılmalara neden olur [29].

Deney sırasında kullanılan S355J2 malzemenin kimyasal bileşimi aşağıdaki Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. S355J2 kimyasal bileşimi [33]

	C	P	S	Mn	Si	Cu	Al
S355J2	Max	Max	Max	Max	Max	-	Min
	0,2	1,035	0,035	1,6	0,55	0,25-0,40	0,02

Yapı çeliklerinde C elementinin haricinde Cr, Si, Mn, Ni, Al, Mo gibi farklı elementlerle alaşımlandırma işlemi yapılır. Çeliklerin mekanik dayanımları, sertlik, süneklik, çentik darbe direnci, tokluk, şekillenebilirlik, talaşlı imalata elverişlilik, kaynaklanabilirlik gibi birçok özelliği bu alaşımlandırma işlemi ile yapılır. Bu işlemlerden en önemlisi kaynaklanabilirliktir. Yapı çelikleri günümüzde birçok alanda kaynaklı bağlantı yapılarak kullanılmaktadır. Özellikle düşük veya orta karbon içeren yapı çelikleri ön ısıtma gerekmeksizin direkt olarak kaynaklanabilmektedir. Karbon miktarı dışında diğer alaşım elementlerinin miktarı da kaynaklanabilirlik açısından önemli bir parametredir. Kaynak işleminde maruz kalınan ısıнын etkisi ile kaynak yapılan malzemelerde çoğu zaman değişimler meydana gelir. Bu değişimler malzemenin kendine ait özellikleri yitirmesine neden olur ve oluşturulmak istenilen sistemin uygun bir amaca hizmet etmesine engel olur. Çelik bir malzeme, geniş önlemler almayı gerektirmeden ve bu değişimler kaynaklı konstrüksiyonda sorunlar yaratmadan kaynak edilebiliyor ise eğer bu çelik iyi kaynak kabiliyetli olarak tanımlanır. Buna karşılık normal bir kaynak işlemi malzemede, konstrüksiyondan beklenenleri ciddi tehlikeye sokacak şekilde değişmelere yol açar veya kaynak işlemi esnasında veya kaynak işleminden sonra, çatlaklar gibi malzeme kusurlarını meydana getirirse özel önlemlerin alınması veya bazı kaynak öncesi veya kaynak sonrası işlemleri gerektirir. Böyle çeliklere de sınırlı kaynak kabiliyetli çelikler denir [34].

Malzemelerin kaynak kabiliyetinin belirlenmesinde en önemli faktör birleştirilecek malzemelerin ve kullanılacak ilave dolgu metalinin kimyasal yapısı, mekanik ve fiziksel özelliklerinin bilinmesidir. Yüksek mekanik özelliklere sahip bir malzeme düşük mekanik özelliklerdeki ilave dolgu metali ile birleştirilmesi mümkün olsa da uygulamada kullanılmaz. Öte yandan farklı kimyasal özelliklere sahip malzemelerin kaynak işlemi ile birleştirilmesi sorunlu bir birleştirme olacaktır. Malzemelerin kaynak kabiliyetinin belirlenmesinde başka önemli bir faktör de kaynak işleminin uygulanması ve kaynak yönteminin seçilmesidir. Malzeme özelliklerine ve konstrüksiyon şartlarına bağlı olarak kaynak yönteminin belirlenmesi, kaynak öncesi, kaynak sonrası ve kaynak işlemi esnasında dikkate alınması gereken işlemlerin detaylı olarak değerlendirilmesi gerekir. Ayrıca ilave dolgu metalinin seçimi, paso sayısının belirlenmesi, kaynak ağzı formunun tayini, ön tavlama işlemlerinin belirlenmesi, kaynak parametrelerinin seçimi, kaynak dikiş sırasının belirlenmesi, kaynak dikiş kalınlıklarının tayini ve kaynak öncesi ve sonrası temizlik işlemlerinin yapılması, kaynaklı birleştirmenin mekanik ve metalurjik özelliklerini etkileyen faktörlerdir. Kaynak yöntemi seçilirken malzeme özelliklerinin dikkate alınması gerekir. Çünkü bir malzemenin

kaynak kabiliyeti, bir kaynak yöntemi için iyi olabilirken, başka bir kaynak yöntemi için zayıf veya kötü olabilir [32].

4.2. Aşınma Plakaları ve Hardox (HBW450)

Almanya’da yapılan araştırmalara göre günümüzün en önemli sorunlarından biri olan aşınmanın endüstriye verdiği zarar her yıl için yaklaşık 2 milyar Euro olduğunu göstermektedir [35].

Aşınma bir sistem içinde birbirine belirli bir düzeyde sürekli olarak temas eden cisimlerin yüzeylerinde meydana gelen istenilmeyen malzeme kaybı veya bu temas edilen yüzeylerin kullanılmaz hale gelmesidir. Aşınma sonucunda yıpranan malzemeler kendinden beklenen özellikleri sergileyemez ve sistem veriminde kayıplar yaşanır. Ekonomik açıdan oldukça zararlara yol açan aşınmaların önlenmesi için öncelik olarak aşınma türlerine hakim olmak gerekmektedir. Sadece aşınma türlerine hâkim olmanın yetmediği bu durumda bunlara ek olarak malzeme seçiminin doğru yapılabilmesi, seçilen malzemeye doğru işlemlerin uygulanabilmesi için malzeme bilgisinin de yeterli olması gerekmektedir. Aşınma genel olarak abrazyon aşınması, erozyon aşınması adezyon aşınması ve yüzey yorulması olarak sınıflandırılmaktadır. Günlük hayatta dahi rastlayabileceğimiz abrazyon aşınması katı bir yüzeye karşı veya yüzey boyunca hareket eden sert parçacıkların meydana getirdiği bir aşınma olarak tanımlanabilir. Erozyon aşınmasında ise katı parçacık ve akışkan parçacıkların yüzey ile sürekli bir temas halinde bulunması sonucu oluşmaktadır. Adezyon aşınması iki katı yüzeyin kendi aralarında yerel bir temas bağı oluşturuğ yapışma durumunun olması ile alakalıdır. Birbirleri ile temas sonucu yapışık halde kalan yüzeyler belirli bir yük, hareket ve titreşim gibi mekanik etkiler sonucu birbirlerinden ayrılır, bu ayrım gerçekleşirken beraberinde yüzeylerinden kütsel olarak parçalar da koparmaktadır. Yorulma aşınmasının oluşumu ise bir yüzey üzerinde sürekli ve tekrarlı yuvarlanma ya da kayma sonucunda üretilen bası çeki gerilmeleri ile katı yüzeyden malzemenin kopması ya da ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir. Deneysel çalışmanın yapılış amacı ve kullanılan malzeme abrazyon aşınmasının önlenmesine yönelik olduğu için bu bölümde abrazyon aşınması detaylı olarak incelenmiştir [36].

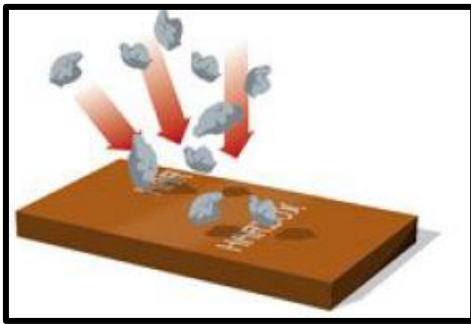
Abrazyon aşınması, birbirine göre izafi hareket yapan iki cisim arasında çevrenin de etkisi ile yabancı ve aşındırıcı başka parçacıkların girmesi ve bu parçacıkların yumuşak yüzey üzerine gömülerek sert yüzeyden sanki talaş kaldırırçasına ya da eğelercesine ana malzemeyi kaldırması ile oluşan bir aşınma türüdür. Abrazyon aşınmasını da kendi içerisinde kayma aşınması, çarpma veya darbe aşınması ve sıkıştırma aşındırması olarak ayırmak mümkündür.

Kayma aşınması, aşındırıcı sert parçacıkların metal üzeı üzerinde belirli doğrultuda sürekli temas halinde kayarak veya yuvarlanarak hareket etmesi sonucunda oluşan bir aşınma türüdür. Şekil 3.14.'de kayma aşınması gösterilmiştir [36].



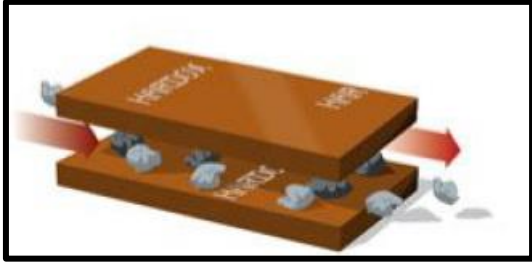
Şekil 4.2. Kayma aşınması [36]

Çarpma aşınması veya darbe aşınması, aşınmaya neden olabilecek sert parçacıkların farklı açılardan ana malzeme üzerine yüksek bir hızda çarpması sonucu meydana gelebilecek olan bir aşınma türüdür. Şekil 3.15.'de çarpma veya darbe aşınması gösterilmiştir [36].



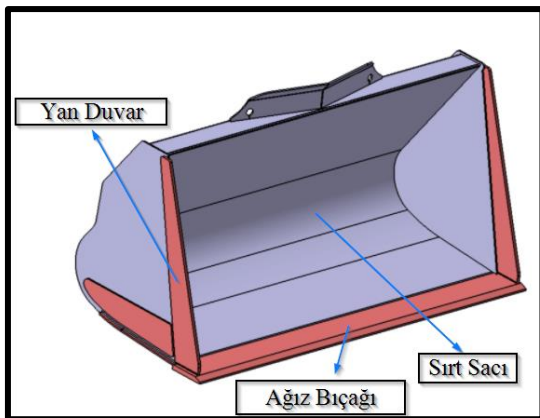
Şekil 4.3. Çarpma aşınması [36]

Sıkıştırma aşınması ise, aşındırma özelliğine sahip sert parçacıkların iki metal arasında sıkışarak geçmeye çalışırken her iki metalin yüzeylerinin aşınmasına sebep olabilecek bir aşınma türü olarak tanımlanmaktadır. Sıkıştırma aşınması Şekil 3.16.'de gösterilmiştir [36].



Şekil 4.4. Sıkıştırma aşınması [36]

Özellikle maden ocakları gibi sahaların vazgeçilmez iş makinelerinden olan lastikli yükleyicilerin ataşmanları abrazyon aşınma türlerinden kayma aşınması ile çarpma veya darbe aşınmasına net olarak maruz kalmaktadır. Kayma aşınmaları, kova ataşmanının hafriyata ya da taşınacak malzemeye tam gaz girdiği vakitte meydana gelir. Bunun yanı sıra lastikli yükleyiciler kovaasına malzemeyi aldığı zaman belirli bir hızda taşıma işlemi de yaptığı için kova içerisindeki bu malzemeler sürekli hareket ederek yüzeyi aşındırma işlemini gerçekleştirmektedir. Bir diğer durumda ise her ne kadar motor greyderlerin yaptığı bir görev olsa da tesviye işlemi de bazı lastikli yükleyiciler tarafından yapılmaktadır. Bu işlemde ise kovanın alt yüzeyinde yer alan aşınma plakası yere paralel ve temas edecek şekilde ayarlanır ve belirli bir rota çerçevesinde zemin tesviyesi yapılır. Bu tesviye oldukça uzun bir alana yapılabileceği için ataşman doğrudan aşınmaya maruz kalır. Genel olarak kova yapısında kaynaklı halde bulunan kova yan duvarları, ağız bıçağı ve kova sırt sacı en çok aşınmaya maruz kalan elamanlardır. Aşağıda yer alan şekilde (Şekil 3.17.) kova üzerinde tarif edilmek istenilen yerler gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Lastikli yükleyici kovası ana elamanları [37]

Maden ocaklarında veya taş ocaklarında hafriyat malzemesi olarak irili ufaklı taşlar bulunur. Bu taşların her birinin çapları farklı miktarda olmaktadır. Bu tip yerlerde çalışan lastikli yükleyicilerin kova tasarımları standart kovalara göre daha farklı tasarlanmaktadır. Bu tarz sahalarda ise çarpma veya darbe aşınması da sık görülmektedir. İrili ufaklı taşlar sürekli olarak hareket eden lastikli yükleyici bomunda hem birbirlerine hem de lastikli yükleyicinin kovasının iç yüzeylerine temas ederek malzeme yüzeyinde bir takım koparma işlemleri yapar.

Aşağıdaki resimde bir lastikli yükleyici ataşmanının abrazyon aşınmasına maruz kaldığı an gösterilmiştir (Resim 3.4.)



Resim 4.2. Çalışma esnasındaki lastikli yükleyici [38]

Bu olay sadece lastikli yükleyicilerle sınırlı kalmayıp kum ocaklarında çalışan kamyonların dorseleri, kazıcı yükleyici, hidrolik ekskavatör ve greyder gibi iş makinelerinin birtakım ataşmanlarında da meydana gelmektedir [39, 40].

Aşınmaya maruz kalan sistemin elemanları ve ortamın şartları aşınma şiddetini belirlemektedir. Buna ek olarak kullanılan malzemenin cinsi, kimyasal içeriği, sertlik, elastik modülü, yüzey pürüzlülüğü, malzemeye uygulanan ısıt işlemler, aşındırıcı tane boyutu ve aşındırıcının şekli de aşınma direncine etki etmektedir [35, 42].

Abrasiv aşınma sorununa çözüm olarak bazı firmalar aşınmaya dirençli yeni özelliklerde malzemeler geliştirmektedir. Hardox serisi çelikler bu tür malzemelerden birisi olup, özellikle abrasiv aşınma direnci yüksektir. Hardox 450 tipi çelik, piyasadaki diğer yüksek dayanımlı çeliklere göre, en az beş kat daha uzun ömürlü olup, yüksek tokluğa, rahat

bükülebilirliğe ve iyi kaynak kabiliyetine sahiptir. Bu nedenle bu çelikler kepçe ve damperli kamyonların kasa ve ataşman imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır [43].

Hardox türü levhalar su verilmiş ve menevişlenmiş, kısaca bir takım ısıt işlemler görmüş bir aşınma levhasıdır. Ürün ilk üretiminden bu yana endüstrideki ihtiyaçlara göre gelişim göstermekte olup günümüzde de hala geliştirilmektedir [44].

Levhanın sertliği, su verme hattında yüksek verimle su verilerek elde edilir. Bu yöntem sayesinde çeliğin bünyesindeki alaşım elementlerinin düşük tutulmasına rağmen yüksek sertliklere ulaşılır. Bunun sonucunda ise levha kolay işlenebilir, bükülebilir ve kaynak edilebilir [45].

Hardox sertlik sınıfını her zaman kolayca seçebileceğimiz ayrı ayrı sertlik derecelerinde bulunur. Bunlar Hardox400, Hardox450, Hardox500, Hardox550, Hardox600 ve Hardox HiTuf dereceleridir. Daha önce de bahsedildiği gibi Hardox aslında bir marka olup piyasada çok yaygın olduğu için aşınma plakası yerine kullanılan bir terim olarak literatüre geçmiştir. Hardox çeliği dışında aşınmaya dayanıklı çelik üreticileri Çizelge 4.2.'de verilmiştir [36].

Çizelge 4.2. Aşınma plakası üretici firmalar [41]

Menşei	Firma	Ticari Adı
İsveç	SSAB	Hardox HiTUF Hardox Extreme Hardox 600 Hardox 550 Hardox 500 Hardox 450 Hardox 400
Avusturya	Voestalpine Grobblech GmbH	Durostat 400 Durostat 500
Finlandiya	RUUKKI	Raex Ar 400 Raex Ar 500
Almanya	Dillinger Hütte GTS	Dillidur 400 Dillidur 450 Dillidur 500
Almanya	ThyssenKrupp Stahl	XAR 400 XAR 450 XAR 500
Fransa	INDUSTEEL	FORA 400 FORA 450 FORA 500
İngiltere	Corus	ABRAZO 400 ABRAZO 500
Avustralya	Sandvik	CREUSABRO 4800 CREUSABRO 8000

Deney numunelerinde Türkiye piyasasında en yaygın aşınma plakası olarak kullanılan Hardox kullanılmıştır. Bu ürünler her bir kalınlıkta farklı amaçla kullanıldıkları için farklı cinsten dolayısıyla farklı kimyasal bileşimlere sahip olabilmektedir. Tedarik bakımından en kolay elde edilen ve piyasada oldukça sık kullanılan Hardox 400 aşınma plakasının farklı kullanım yerlerine göre belirlenmiş farklı kalınlıklarına ait kimyasal bileşimleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

- Hardox 400: Bir dış yapı plakasıdır. Bükülebilme ve kaynaklanabilme özelliği sayesinde, bu plaka farklı uygulamalarda yük kaldırma görevi için kullanılabilir.
- Hardox 450: Bu aşınma plakası 450 HBW'lik sertlik seviyesi olan dirençli bir dış yapı çelik grubudur. Bu çelik sınıfına ait olan özellik, sıklığın ve sertliğin, karakteristik bir özellik olan Hardox işlenme kolaylığından taviz verilmeden gerçekleştirilmiş olmasıdır.
- Hardox 500: Hardox500 bükülebilen ve kaynaklanabilen aynı zamanda taşıma direncine sahip olan bir plakadır. Daha yüksek seviyede dış yapı direnci isteyen uygulamalarda kullanılabilir.
- Hardox 600: Hardox600 aşınma plakası dirençli bir dış yapı plakası olup çok yüksek seviyede dirence sahiptir.
- Hardox HiTuf: Bu aşınma plakası ise yoğun aşınmaya maruz kalan durumlar için çatlamalara karşı ekstra direnç sağlamak üzere tasarlanmıştır. Kalın kırma makineleri ve kesici kenarlar yaygın uygulamaları arasındadır [46].

Çizelge 4.3. Hardox 400 ürün gamı kimyasal bileşim standartları [36]

Sac kalınlığı (mm)	4-10	(10)-20	(20)-32	(32)-51	(51)-80	(80)-130
C max %	0,18	0,14	0,18	0,22	0,27	0,32
S max %	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Mn max %	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
P max %	0,01	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Cr max %	0,25	0,5	1	1,4	1,4	1,4
N max %	0,25	0,25	0,25	0,5	1	1,5

Hardox, aşınma direnci konu olduğunda ilgili en üst düzeydeki beklentilere yanıt verebilen bir aşınma levhasıdır. Düzgün dağılımlı yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve mükemmel tokluğun essiz bir şekilde bir araya getirilmesi bu malzemeyi birbirinden değişik çeşitli uygulamalar için çok uygun kılmıştır. Hardox su verilmiş ve menevişlenmiş bir aşınma levhasıdır. Bu ürün 1970 yılında ilk defa piyasaya sunulmuş ve o günden bugüne değişik ihtiyaçları karşılayacak şekilde sürekli olarak geliştirilmiştir. Hardox levhasının, diğer yüksek mukavemetli konstrüksiyon levhalarına göre 4-5 kat daha sert olmasına karşın mükemmel kaynak edilebilme ve işlenebilme özelliği, bu malzeme ile çalışmayı kolaylaştırmaktadır. Bazı durumlarda ise; Hardox 500, Hardox 400'e göre üç misliden daha fazla bir ömre sahiptir. Hardox yüksek sertliğini ve mukavemetini, üstün tokluğunu modern roleli su verme hattında yapılan yüksek verimde suda su verme işlemine borçludur. Bu etkin proses sayesinde alaşım elementleri asgari düzeyde tutulabilir; bu ise hem ürün hem de çevre

açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Hardox aşınma levhası; ağır aşınma şartlarına dayanacak şekilde geliştirilmiştir. Gerçek faydalı ömür, levha ile temas eden malzemeye ve levhanın maruz kaldığı aşınma tipine bağlıdır. Ekipmanlar minerallerin taşınma ve aktarılması esnasında genellikle farklı türden gerilmelere maruzdurlar, çoğu zaman yüksek deformasyonla birlikte meydana gelen, yuvarlanma ve darbeden kaynaklanan aşınma gibi etkilere maruz kalırlar [47]. Deney sırasında kullanılan 8 mm kalınlığındaki Hardox 450 (HBW450) aşınma plakasının kimyasal içeriği Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Hardox 450 çeliği kimyasal bileşimi [48]

HARDOX (HBW 450)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
	0,26	0,7	1,6	0,025	0,01	1,4	1,5	0,6	0,005

4.3. Gazaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri ve SG2 Teli

MIG-MAG kaynaklarının sahip olduğu makara tel mekanizması ile kaynak telinin ilerlemesi kaynak torcundan sağlanmaktadır. Kaynak sırasında gerekli olan sıcaklık, bu tel mekanizması ile sürekli tahrik edilen ve ergiyen bir kaynak teli ile kaynak banyosu arasında oluşan ark ile kaynak teli üzerinden geçen kaynak akımının kaynak teli üzerinde oluşturduğu direnç ile olur. Özellikle bu sistemin en büyük tercih edilme sebebi olan bu tel mekanizması makara şeklinde paketlenmiş halde bulunur ve kaynak makinasının tel sürme tertibatına göre ayarlanır [49].

Kaynak sırasında üzerinden akım geçerek ergiyen ve otomatik olarak mekanizma sayesinde beslenen bu kaynak telleri temas memesinden geçerken temas kolaylığı sağlamak ve korozyon etkilerinden korunmak için ince bir bakır tabakası ile kaplıdır. Bu tellerin çapı kullanım amaçlarına göre değişmekte olup piyasada bulunabilirlik olarak 0.6, 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 2.0, 2.4 ve 3.2 mm arasında değişmektedir [50].

Yapılan son araştırmalar neticesinde bu dolgu tellerin mekanik özelliklerini geliştirmek amacı ile özlü veya kenetli tel diye adlandırılan bir tür geliştirilmiştir. Bu tel yumuşak çelikten ince bir şeridin dekaplar ve ferroaliyaj ile kıvrılıp tel formuna getirilmesi ile

oluşturulmaktadır. Bu sayede tel üretimi için bir araya gelmesi çok zor olan alaşımlar bile kolaylıkla tel formuna dönüştürülebilmektedir [5].

Masif teller alaşımlı ve alaşımsız çıplak tel olarak ikiye ayrılır. Alaşımsız çıplak teller yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılırken, bu kaynak tellerinin bileşimlerini alaşımsız çeliklerden ayıran özellik mangan ve silisyum miktarlarının daha fazla olmasıdır. Alaşımlı teller ise özel bir bileşimde olup, alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılır [50].

CO₂ ve oksijen içeren gazlar kullanılarak yapılan kaynak işlemlerinde oluşan demiroksit, silisyum ve mangan tarafından redüklenir. Bu durumdan dolayı kaynak bölgesinde mangan ve silisyum azalması olur. Bu mangan ve silisyum azalması kullanılacak kaynak metalinin silisyum ve mangan içeriği ile giderilir. MAG kaynak yönteminde kullanılan teller silisyum ve mangan açısından zengindirler bu sebepten MIG kaynağı için üretilen teller MAG kaynağında kullanılmamalıdır. MAG kaynak yönteminde sıklıkla kullanılan teller SG1, SG2, SG3 şeklinde adlandırılırlar ve bu tellerin en büyük farkları mangan ve silisyum oranı ile mekanik özelliklerindeki farklılıklardır [49].

Gazaltı kaynağında kullanılan teller, soğuk çekme yöntemi ile üretilirler. Soğuk çekme işleminde başlangıçta ürün çapı 5,5 mm ile 6,0 mm arasında sıcak haddelenmiş tellerden oluşmaktadır. Son haddeleme işleminden önce tellerin özellikle korozyon dayanımı için bakır kaplanması gerekir. Bu işlem, galvanik bakır kaplama yöntemiyle veya elektrolitik yöntemle gerçekleştirilir. Her iki yöntemde de tel, bakır içeren bir banyoya daldırılır. Bu banyo içerisinde asit, yüzeyden demir atomlarını çözer, yerine çözüldüden bakır iyonları geçer [49].

Bu teller piyasada 0,8 mm, 1 mm, 1,2 mm, 1,6 mm çaplarında bulunurlar. Genellikle içerdikleri kimyasal kompozisyon ve mekanik özelliklere göre farklı isimlendirmeler ile gösterilirler. Bu isimlendirme işlemi TS EN ISO 14341 standardına göre yapılır. Örneğin SG3 masif gazaltı kaynak teli için, SG3 olarak kullanılan isimlendirme model numarasını ifade eder. Bu model numarasının standarttaki karşılığı G42 3CM G4Si1 şeklindedir. G harfi, koruyucu gaz kaynağına uygun olduğunu, 42, minimum 420 MPa akma dayanımına sahip olduğunu, 3, -30 °C sıcaklıkta 47 joule çentik darbe tokluğunu, CM, koruyucu gaz sembolünü, G3Si1, telin kimyasal bileşim sembolünü ifade etmektedir. Masif kaynak tellerinin başlıca kullanım alanları şunlardır [49]:

- Alaşimsız çeliklerin kaynağında
- Çelik konstrüksiyon ve makina yapımında
- Gemi, kazan, tank, boru ince taneli çelikler, ince sac, çelik mobilya, kaporta, egzost ve karoseri kaynaklarında [49].

MIG/MAG kaynağında masif tellere ek olarak özlü teller de kullanılır. Bu tellerin ortasında bazik veya rutil özler bulunur. Bu tür teller, alaşimsız ince bir sac şeridinin boru haline getirilmesi veya bir lüleden geçirilerek tel şeklinde çekilmesi sonucu elde edilirler. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında dekaplan ve ferroalaşım tozları bulunur; kaynak dikişinin deoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından yapılır. Kendinden gaz korumalı ve ilave gaz korumalı olmak üzere iki biçimde kullanılabilirler. Kendinden korumalı özlü tellerde öz, koruyucu gaz içeren bileşenleri barındırır ve bu bileşenler kaynak bölgesinin dış ortamdan korunmasının sağlamaktadır. Kaynak tellerinin kendinden korumalı olması, saha çalışmalarındaki konstrüksiyon ve imalat uygulamalarında güvenle kullanımını sağlamaktadır. Gaz korumalı özlü tellerde ise öz, koruyucu gaz içeren bileşikler barındırmadığından dışarıdan bir koruyucu gaz uygulanır. Bu kaynak telleri, karbondioksit veya argon ihtiva eden karışım gazlarla kullanılmaktadırlar [50].

Özlü tel ile yapılan kaynak işlemi esas olarak gazaltı ark kaynağında olduğu gibi çıplak tel yerine içi öz diye adlandırılan ve örtülü teldeki örtü görevini üstlenen bir madde ile doldurulmuş boru şeklinde tel kullanılan bir kaynak yöntemidir. Bu tellerin sağladığı üstünlükler şunlardır:

- Yüksek ergime hızına sahip olduklarından daha yüksek kaynak hızlarında kullanılabilirler.
- İnce çaplı teller kullanarak her pozisyonda kaynak yapılabilir.
- Bazı tür özlü tellerin kullanıldığı kaynak işleminde koruyucu gaz gerekmez, bu durum sistemin basitleşmesine imkân tanır.
- Çelik konstrüksiyon ve makine imalatında, ince taneli çeliklerin kaynağında, ince sac ve yapı çeliklerinin kaynağında aktif gaz, soygaz veya karışım gazlar ile birlikte oldukça geniş bir kullanım alanları vardır.
- Örtülü tellerin bütün avantajlarına sahiptirler. Koçan kaybı ve tel değiştirmedeki zaman kaybı gibi dezavantajları yoktur [49].

Yapılan bu çalışmada 1,2 mm çapında SG2 kaynak teli kullanılmıştır. Kullanılan kaynak telinin kimyasal bileşimine ve mekanik özelliklerine ait bilgiler Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6.'da yer almaktadır.

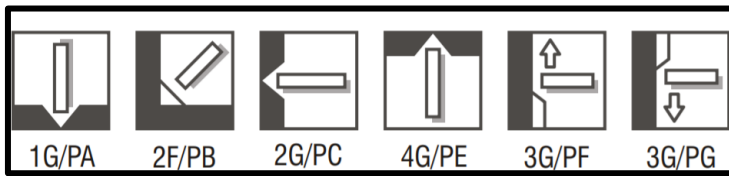
Çizelge 4.5. SG2 kaynak teli kimyasal bileşimi [51]

C	Si	Mn
0,06	0,55	1,1

Çizelge 4.6. SG2 kaynak teli mekanik özellikleri [51]

Akma Dayanımı	440 N/mm ²
Çekme Dayanımı	540 N/mm ²
Uzama (L=5d)	30%
Darbe Dayanımı (-30°C)	60 Joule

Tel üretici firmadan alınan bilgilere göre kaynak telinin kullanılabileceği kaynak pozisyonları aşağıda yer alan Şekil 3.18.'de gösterilmiştir. Deney sırasında PA kaynak pozisyonunda numuneler kaynatılmıştır.



Şekil 4.6. Kaynak pozisyonları [51]

5. LİTERATÜR TARAMASI

Korkmaz Ş., Çetin H.M., Adar M., Orak A., yaptığı çalışma ile Hardox (HBW500) ve S355 çeliğinin farklı akım ve voltaj parametrelerini kullanarak Gaz Metal Ark Kaynağı yöntemi ile bu iki farklı malzemenin kaynak ile birleştirilmesini incelemiştir. Ayrıca kaynak işlemi gören malzemelere çekme testi, mikro sertlik ölçümü yapılmış ve malzemeleri SEM ve mikroyapı görüntüleme teknikleri ile incelemiştir. Kaynak işleminden hemen önce malzemelerin karbon eşdeğerleri hesaplanmış ve malzemelerin uluslararası standartlarca belirlenmiş sıcaklık değerlerinde ön tavlama tabi tutulması sağlanmıştır. Bu deneysel çalışmada tel besleme hızı sabit tutulurken 3 farklı voltaj ve akım parametresi belirlenmiş ve buna göre 9 farklı deney koşulu sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; düşük akımda ve düşük voltaj değerlerinde Hardox (HBW500) ile S355 malzemesinin kaynak edilebilirlik kabiliyetinin düşük olduğu ve sertlik dağılımının düzensiz bir şekilde gerçekleştiği belirlenmiştir. Yüksek akım ve yüksek voltaj değerlerinde çekme eğrilerinin daha kararlı davranış ortaya koyduğu ve homojen bir sertlik dağılımı gerçekleştiği belirlenmiştir [52].

Uluocak M. E., Hardox (HBW450) çeliklerinin MAG kaynağı esnasındaki davranışlarını incelemiştir. Deneysel çalışmada 5 mm sac kullanmış ve kaynak öncesi deney parçalarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi adına spektral analiz yöntemi kullanmıştır. Kaynak sonrasında ITAB bölgelerinin incelenmesi adına numunelerden kesit alınmıştır. Birleşim bölgelerinde meydana gelen mikroyapı değişiklikleri ışık mikroskobunda ve elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir. Mekanik özellikler için de sertlik ölçümleri alınmıştır. Deney sonuçlarına göre bakır altlık kullanmanın daha başarılı bir kaynak edilebilirliğe götürdüğü tesbit edilmiştir. Yapılan çekme deneyi sonucu olarak bütün numunelerin kopması ITAB bölgesinde gerçekleşmiş, ana metal ve kaynak metali çekme testinden etkilenmemiştir. Hardox (HBW450) sert bir malzeme olduğundan dolayı kaynaklı bölgeden ve ITAB'dan alınan sertlik değerleri, ana metalden daha düşük çıkmıştır. Hardox (HBW450) aşınma levhalarında alaşım elemanlarının oranı düşük olduğu için karbon eşdeğerleri de düşük olduğu görülmüştür. Bunun sonucu olarak, geleneksel ark kaynağı yöntemleriyle başarılı bir kaynak işlemi yapılmıştır [24].

Adar M., yaptığı çalışmada Hardox (HBW500) ile S355 çeliklerinin farklı akım ve voltaj değerlerindeki robotik ark kaynağı yöntemi ile kaynak edilebilirliğini araştırmıştır. Kaynak

ile bir araya getirilen numuneler mekanik özelliklerinin analizi için numuneler çekme testine tabii tutulmuştur. Deneyin sonunda bu numunelerin mikro sertlik sonuçları Vickers (HV) yöntemi ile ölçülmüştür. Çekme testine tabi tutulan numunelerin mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Deney sonucunda akım ve voltaj değerlerinin yüksek olduğu durumlarda kaynak bağlantılarının çekme eğrilerinin daha kararlı bir yapıda görüldüğü belirlenmiştir. Deneyde çeşitli akım ve voltaj değerleri denenmiş ve optimum değerler bulunmuştur. Kullanılan parametrelere göre kaynaklı bölgeler hakkında yorumlar yapılmıştır. Gerilme parametresi ve sertlik parametresi üzerinde voltaj parametresinin ve akım parametresinin ne kadar oranda etkili olduğu belirlenmiştir [53].

Abioye v.d., AISI 304 paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik malzemelerinin gaz metal ark kaynak bağlantısındaki korozyon davranışının mikroyapıya olan etkisini 84 mm/s sabit tel hızı ve 22 V sabit voltaj parametrelerinde; 3 mm/s, 4,5 mm/s ve 6 mm/s olmak üzere 3 farklı kaynak hızında incelemesini yapmıştır. Analiz sonucunda düşük kaynak hızında bağlantı bölgesinin korozyon direncinin arttığı görülmüştür [54].

Nie v.d., darbeli MIG kaynağı ile birleştirilmiş olan 6061-T6 ve A356-T6 alüminyum alaşımlarının kaynak bölgelerinin mikroyapısını ve bu mikroyapıya bağlı olarak birleşimin mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmada tel besleme hızı, kaynak akımı, darbe süresi, darbe frekansı ve kaynak voltajı sabit tutulurken kaynak hızı 8 mm/s, 10 mm/s, 12 mm/s ve 16 mm/s olarak değişken parametre seçilmiştir. Kaynak hızının kaynak bölgesine etkisi çekme testi ve mikro sertlik ölçümü ile belirlenmiştir. Mikroyapı optik mikroskop, SEM ve EPMA görüntüleri ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda 12 mm/s hız ile kaynatılan numunenin çekme mukavemeti ve mikro sertlik değerinin diğer numunelere oranla optimum düzeyde olduğuna rastlanmıştır. Sonuç olarak hareket hızının artması ile çekme mukavemeti ve ergimiş bölge genişliğinin azaldığı tesbit edilmiştir [55].

Okay T., Najafigharehtapeh A., Emre H. E., Kaçar R., S235JR yapı çeliği ile Hardox (HBW400) çeliğinin kaynaklanabilirliğinin araştırılması adına çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada 10 mm kalınlığında Hardox (HBW400) ve S235JR çelikleri sahip 10mm kalınlığında Hardoks HBW 400-S235JR çelik çifti Ø3,2 mm çapında E4661NiB42H5 elektrik ark kaynak elektrotu kullanılarak kaynatılmıştır. Numunelere kaynak işleminden önce 150°C-200°C sıcaklıkta ön tav uygulanmış ve pasolar arasındaki geçiş sıcaklığı 150°C-175°C olacak şekilde kaynak işlemi yapılmıştır. Akım tipleri doğru akım olarak belirlenmiş

ve akım değerleri 160A-170A ile 175A-180A olarak değişken parametre belirlenmiştir. Parçalara 5 mm/dk çekme hızında çekme testi uygulanmış ve deney hatalarını minimize edebilmek adına 3 adet deney numunesi test edilmiştir. Ayrıca parçalara eğme testi de yapılmış ve mikroyapı ve mikrosertlik incelemesi de gözlemlenmiştir. Yapılan çekme testi doğrultusunda Hardox (HBW400) ve S235JR çeliğinin ortalama çekme dayanımı 385 MPa olurken akma dayanımı ise 275 MPa olmuş. Yüzdece uzama miktarı %16 olarak tesbit edilirken çekme testi sonucunda oluşan kopma mekanik özellikleri Hardox (HBW400) çeliğine göre daha düşük olan S235JR malzemesinin ITAB tarafında gerçekleşmiştir. Yapılan eğme testi sonucunda herhangi bir çatlak tesbit edilmemiştir. Yapılan sertlik testinde ise Hardox (HBW400) çeliğinin S235JR çeliğinden çok daha sert olduğu açıkça gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik Hardox (HBW400) çeliğinin ana malzemesinde olurken ITAB bölgesinde bu sertliğin malzemenin kendi sertliğine oranla düştüğü gözlemlenmiştir. Birleştirmede S235JR çeliğinin ITAB'ının kaba taneli bölgesinin sertliği S235JR malzemesinin ana malzemesinden daha düşük bulunmuştur. Mikroyapı incelemesinde ise Hardox (HBW400) çeliğinin ITAB yapısı martenzit, beynit ve ferrit fazlarından oluşurken, S235JR çeliğinin ITAB yapısının ise asiküler ferrit ve perlit fazlarından oluştuğu görülmüştür [56].

Ibrahim I. A., Mohammat S. A., Amir A., Ghalib A., gaz metal ark prosesi ile yumuşak çeliklerin (100mm x 100mm x 6mm) farklı parametreler altında birleştirilmesi sonucundaki kaynak bölgesinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. 6 mm kalınlığa sahip malzeme robot hakimiyetinde CO₂ koruyucu gazı ve 1,2 mm çapındaki elektrod ile birleştirilmiştir. Parametre olarak gerilimi, akım ve kaynak hızı belirlenmiştir. Gerilim sırası ile 22V, 26V ve 30V seçilmiştir. Akım sırası ile 90A, 150A ve 210A seçilirken kaynak hızı ise 20 cm/dk, 40 cm/dk ve 60 cm/dk seçilmiştir. Bu 3 parametrenin kaynak yapısını doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Toplamda 27 adet deney yapılmış ve en yüksek penetrasyon 26V, 210A parametrelerinde görülmüştür. Mikroyapı incelendiğinde ise hızın artması ile soğuma da daha çabuk olacağından dolayı en yüksek hızlarda martenzit oluşumu gözlenmiştir. Sertlik değerlerinin ise kaynak hızı paralelinde ısı girdisine bağlı olarak çabuk soğumadan dolayı oluşan martenzitik yapı ile bağlantılı olduğu gözlemlenmiştir. En sert malzeme 60 cm/dk hızda görülmüştür [57].

Şık A., Yaptığı çalışmada 4 mm kalınlığındaki S355 yapı çeliğini MIG-MAG yöntemi ile kaynatmıştır. Bu çalışmadaki parametrelerden bir tanesi kaynak esnasında kullanılan

koruyucu gaz karışımları olmuştur. Üç farklı gaz karışımı ve iki farklı elektrod seçilmiştir. Gaz karışımları, $80\text{Ar}+18\text{CO}_2+2\text{O}_2$, $88\text{Ar}+10\text{CO}_2+2\text{O}_2$ ve $93\text{Ar}+5\text{CO}_2+2\text{O}_2$ kullanılmıştır. Yapılan birleştirmelerde kullanılan elektrodlar ise SG2 ve SG3 elektrodları olmuştur. Numunelerin kaynak işleminden sonra mekanik özellikleri incelenmiştir. Deneyde sertlik ölçümleri ve çekme deneyleri yapılmıştır. Üç farklı gaz karışımı ile iki farklı elektrod kullanımı sonucu yapılan deneylerde; SG3 elektrodu kullanılarak $88\text{Ar}+10\text{CO}_2+2\text{O}_2$ gaz karışımı ile yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerin yüksek olduğu görülmüştür [30].

Kaya Y., yaptığı çalışmada $300 \times 75 \times 3$ mm ebatlarında S235JR ile S355JR yapı çeliklerini özlü tel kullanarak MAG kaynak yöntemi ile birleştirmiştir. Çelik levhalar kaynatılırken aralarında 1 mm boşluk kalcak şekilde hazırlanmış ve 100 mm aralıklarla puntalanmıştır. Tel ilerleme hızı 850 cm/dk, kaynak gerilimi 21,8V, kaynak hızı 430 mm/dk ayarlanırken koruyucu gaz olarak CO_2 kullanılmıştır. Gaz basıncı 12 lt/dk ve ilave metalin çapı 1,2 mm olmuş akım türü olarak ise doğru akım kullanılmıştır. Kaynak işlemi sadece S235JR ile S355JR malzemeleri arasında değil kendi aralarında da (S235JR-S235JR ve S355JR-S355JR) uygulanmıştır. Sonuç olarak toplamda 3 farklı kombinasyonda kaynak işlemleri uygulanmıştır. Kaynak işlemleri sonucunda yapının mekanik testleri incelenmiştir. Çekme testleri sonucunda oluşan kopma malzemelerin aynı cins olduğu testlerde (S235JR-S235JR ve S355JR-S355JR) ana malzemedan gerçekleşirken S235JR-S355JR numunelerinde ise birleştirmelerin S235JR ana malzeme tarafında gerçekleşmiştir. 180° iki yönlü eğme testlerinde, birleştirilmiş numunelerin tümünde kaynak bölgesinde gözle görülebilir herhangi bir çatlama veya ayrılma gözlenmemiştir. Mikrosertlik testleri sonucunda ise kombinasyonlarda en yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken, onu ITAB ve ana malzeme takip etmiştir. Mikroyapı incelemelerinde ise, numunelerin tümünde ana malzemedan kaynak metaline doğru gidildikçe tane irileşmesi meydana geldiği tespit edilmiştir [58].

Yılmaz T., yaptığı çalışmada MAG yöntemi ile Hardox (HBW400) çelik levhasını SG2 ve SG3 masif kaynak telleri ve E 71 T-1 adlı özlü kaynak teli kullanarak V kaynak ağzı formunda ve yatay pozisyonda birleştirmiştir. İki farklı masif tel ve bir özlü tel ile birleştirilen bu kaynaklı yapının mikroyapısındaki benzerlikleri ve farklılıklar tesbit etmeye çalışmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda abrazif aşınmaya maruz kalan ekipmanların imalatında geniş kullanım alanı bulan Hardox HBW400 çeliği, MAG kaynak yöntemi ve uygun parametreler kullanılarak hem yüksek mekanik değerlerin elde

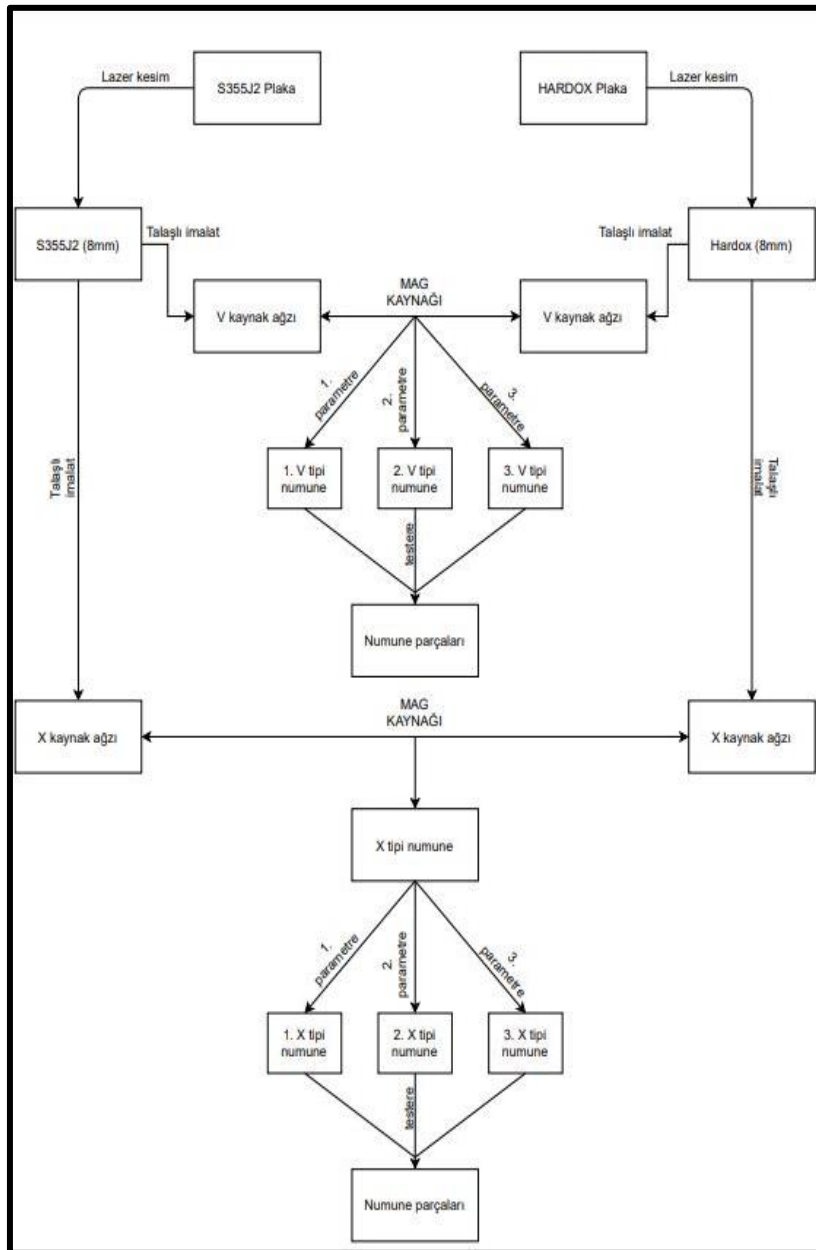
edilebileceği SG3 kaynak teli ile hem de yüksek hızlarda ve yüksek dolgu miktarında kaynak yapmaya izin veren zl kaynak telleri ile başarıyla birleştirilebileceği tespit edilmiştir. Sonuç olarak levhalara çekme testi uygulanış ve bütün numuneler mekanik özelliklerin zayıf olduğu düşünülen ITAB bölgesinden kopmuştur. Uygulanan sertlik testinde ise en yüksek sertlik testi ana malzemenin kendisinde olurken ITAB bölgesinde sertlik azalmış, kaynak bölgesinde ise bir miktar artma gözlemlenmiştir. Yapılan eğme testi sonucunda numunelerin birleşme yerlerinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanmamıştır [36].





6. MALZEME VE DENEYSEL METOD

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan S355J2 yapı çeliği ile Hardox (HBW450) aşınma plakası çelik türleri üretici firmadan direkt olarak tedarik edilmiş ve imalatla kullanılmak üzere stoklarda belirli boyutlardaki levhalar halinde hazır bulundurulmuştur. Aynı şekilde kaynaklı birleştirme için kullanılan SG2 kaynak teli de imalatçı tarafından direkt tedarik edilmiştir. Deney süresince kullanılan akış diyagramı Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Deney akış şeması

6.1. Birleştirilecek Malzemeler

CAD programında tasarlanan S355J2 ve Hardox (HBW450) malzemeler plazma tezgahına gönderilmek üzere DWG uzantısına çevrilmiştir. Plazma tezgahında kesilip kaynak ağızı açılan parçaların boyutları ve şekli Resim 6.1. ve Resim 6.2.'de gösterilmiştir. Ayrıca deneyde kullanılan malzemelerden S355J2'ye ait kimyasal bileşim Çizelge 4.1.'de, Hardox HBW450'ye ait kimyasal bileşim Çizelge 4.4.'de, kullanılan kaynak teli SG2'nin kimyasal bileşimi ise Çizelge 4.5. ve 4.6'da gösterilmiştir.



Resim 6.1. Kesilen plakalar (boyuna)



Resim 6.2. Kesilen plakalar (enine)

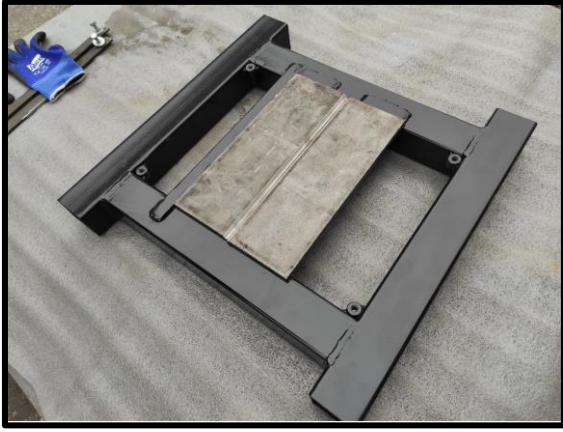
100x300x8 mm boyutlarındaki S355J2 ve Hardox (HBW450) levhalar plazma kesim tezgahına yerleştirilmiş ve kesilmiştir. Kesilen bu levhaların (Resim 6.3.) bütün keskin köşeleri ve çapakları temizlenmiştir. Temizlik aşamasının ardından robotta kaynatılmak üzere bu levhaların bir kısmına talaşlı imalat ile X kaynak ağzı açılırken bir kısmına ise V kaynak ağzı açılmıştır.



Resim 6.3. Kaynak işlemi için hazırlanan malzemeler

6.2. Kaynak Aparatı

Parçaların aynı şartlar altında kaynatılması için Resim 6.4.'de görüldüğü gibi profillerden oluşan bir kalıp tasarlanmıştır. Kalıba yerleştirilen plakaların gerekli yerlere dayamaları yapılarak robot kaynağının her bir koşulda aynı kalitede yapılması sağlanmıştır. Bu aparat plakaların boylarına göre tasarlanmış basit bir konstrüksiyon yapıdadır. Kalıp üzerine yerleştirilen parçalar burada sabitlenerek kaynak işlemi sırasında hareket etmemesi sağlanmıştır.



Resim 6.4. Kalıp aparatı

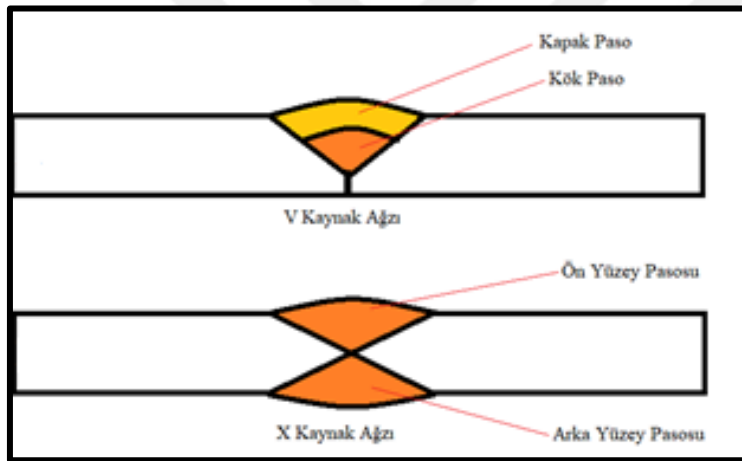
Kaynak kalıbının kullanımının bir diğer amacı da kaynak sırasında numunelerin maruz kaldığı farklı ısı girdileri sonucunda çekmelere uğramasını en aza indirmektir. Robot torcunun belirli açı ile birleştirme bölgesinden parçaları kaydattığı sırada parçaların sabit olmaması durumu test edilmiş ve Resim 6.5'te gözlemlendiği gibi parçaların kaynak distorsiyonlarına maruz kaldığı gözlemlenmiştir.



Resim 6.5. Distorsiyona uğrayan deney numunesi

6.3. Robotik MAG Kaynağı

Robotta MAG kaynak için hazırlanan numuneler kaynak kalıbına yerleştirilmiş ve parametre olarak belirli bir kaynak hızı seçilmiştir. Kaynak süresince 1,2 mm kalınlığa sahip SG2 teli kullanılmıştır. Ayrıca deneyde incelenmek üzere aynı işlemler hem X kaynak ağzı için hem de V kaynak ağzı için uygulanmıştır. Akım, voltaj ve tel besleme hızları kaynak parametresi olarak ayarlanmayıp bütün deneyler aynı ortam şartlarında yapılmıştır. Robot kaynağını hep aynı operatör ayarlamış ve bütün kalibreleri tamamlanmıştır. Robot kaynağı sırasında V kaynak ağızlı saclara kök paso atılarak üzerine kapak paso atılmıştır. X kaynak ağızında kapak paso için dikiş alanı kalmadığından numunenin ön ve arka yüzlerine birer adet paso kaynak yapılmıştır (Şekil 6.2.).



Şekil 6.2. V ve X kaynak ağzındaki paso gösterimleri

Kaynak robotunda V kaynak ağzında ve X kaynak ağzında 3'er adet farklı hızlardaki durumlar incelenmiştir. Kaynak telinin ilerleme hızı da sabit tutulmuştur. Parametreler ayarlanmadan önce birkaç kez belirli değerlerde denemeler yapılmıştır. Çok yavaş ilerleme hızlarının kullanıldığı 25 cm/dk, 30 cm/dk ve 35 cm/dk hızlarında numunelerin birleşme noktalarında parçanın delindiği gözlemlenirken, çok hızlı kaynak hızları olan 60 cm/dk ve 65 cm/dk hızlarında ise tam birleşim gözlemlenmemiştir. V kaynak ağzı için ayarlanan parametreler Çizelge 6.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. V kaynak ağzı için uygulanan parametreler

Deney V	V Kaynak Ağzı					
	Kök Paso			Kapak Paso		
	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)
1	800	24	50	1200	28	45
2	800	24	50	1200	28	50
3	800	24	50	1200	28	55

V kaynak ağzında kök paso atılırken bütün parçalara aynı hızda kaynak atılırken belirleyici parametre olarak kapak pasodaki hız parametre olarak seçilmiştir.

X kaynak ağzında ise ön yüzey paso kaynatıldıktan sonra parça kalıp üzerinden alınıp ters çevrilmiş ve özdeş koşullarda tekrar kalıba bağlanıp arka yüzey pasosu atılmıştır. X kaynak ağzına ait parametreler Çizelge 6.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. X kaynak ağzı için uygulanan parametreler

Deney X	X Kaynak Ağzı					
	Ön Yüzey Paso			Arka Yüzey Paso		
	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)
1	800	25	45	800	25	45
2	800	25	50	800	25	50
3	800	25	55	800	25	55

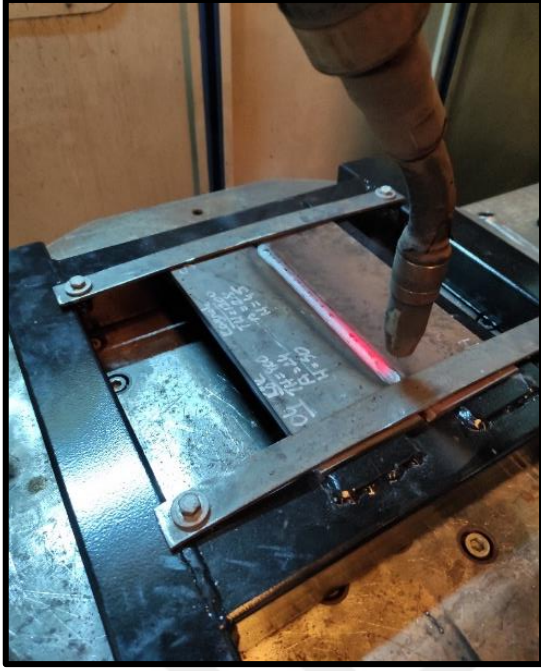
FANUC M6 serisi AC servo motorlu (BiSR1/6000) robotta kaynatılan parçaların kalıptaki yerleşimi Resim 6.6.'da gösterilmiştir.



Resim 6.6. Kaynak esnasında kullanılan robot

Numuneler kalıp üzerindeki dayama noktalarına yerleştirilerek numunelerin her bir deney için aynı boyutlarda kaynak alanına sahip olması sağlanmıştır. Daha önce de bahsedildiği gibi kaynak distorsiyonlarını en aza indirmek için üzerine cıvata ile bağlanabilen lamalar yerleştirilerek olası distorsiyon durumları için önlemler alınmıştır. Kaynak sırasında numunelerin sabit ve hep aynı konumda kalması sağlanmıştır. Özellikle X kaynak ağzına sahip numunelerde ön yüzdeki paso işlemi bitip, parçanın kalıptan çıkarılıp ters çevrildikten sonra arka yüzdeki kaynak işlemi için kalıba tekrar bağlanması sırasındaki konum hataların minimize edilmesi sağlanmıştır.

Aşağıdaki resimde (Resim 6.7.) robot kaynağında kaynatılmakta olan numuneler gösterilmektedir.



Resim 6.7. Kaynak anı

Bu kaynak işlemi parametre değerlerinin ayarlanması, kaynak kalıbının denenmesi ve robot kaynağının test edilmesi haricinde 1-V, 2-V, 3-V; 1-X, 2-X ve 3-X deney adları altında yapılmıştır. Teste tabi tutulmayacak deneme parçaları ayrı bir yerde muhafaza edilirken teste tabi tutulacak deneme parçalarına karıştırılmaması için markalama işlemi yapılmıştır. Bu markalama özellikle kaynak alanından etkilenmeyecek kısımlara yapılmış ve her bir markalamanın hangi deney koşuluna tekavül ettiği not alınmıştır.

6.4. Testere ile Kesim İşlemi

Sertlik, eğme, çekme ve mikroyapı deneylerinin yapılabilmesi adına kaynak işleminin uygulandığı numunelerdeki kaynak dikişinin başlangıç ve son kısmındaki yaklaşık 25 mm'lik kısımlar dikkate alınmamak üzerine Resim 6.8.'de görüldüğü gibi yatay çizgilerden testere ile kesilmiştir.



Resim 6.8. Markalanan ve kesim çizgisi belirlenen kaynatılmış numune

Numunenin kesitlerinin alınması için uygulanan testere işlemi özellikle seçilmiş, testere işlemi sırasındaki soğutma sayesinde de parçanın kesme anında ısınmasına maruz kalması engellenmiştir.



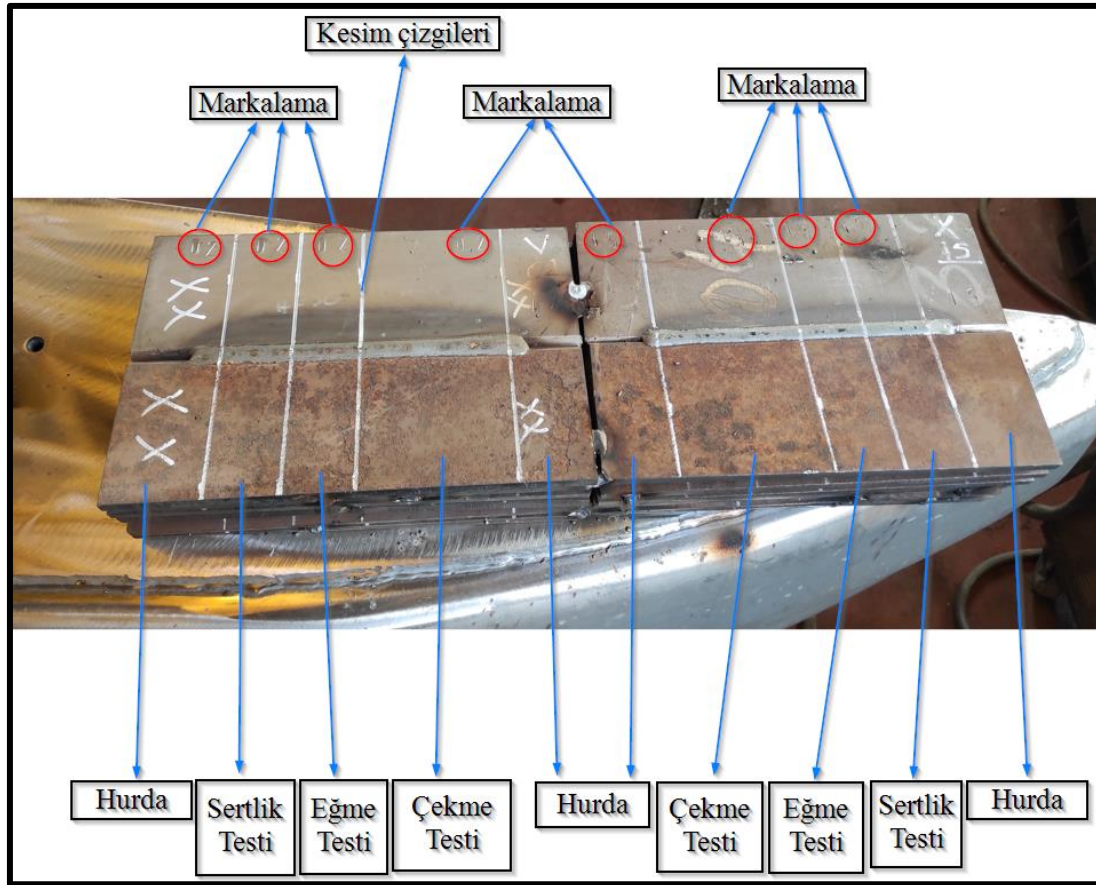
Resim 6.9. Testere ile kesime hazır puntalanmış numuneler

Resim 6.9.'da görüldüğü gibi belirli sayıdaki numune parçaları çizgileri üst üste gelecek şekilde ayarlanmış, teste tabi tutulmayacak kenar yüzeylerinden ise ufak bir punta kaynağı atılmıştır. Bu sayede testere işlemindeki kesimin bütün numunelerde aynı yerde olması sağlanmıştır. Ayrıca her bir testere işlemi için parçaları tek tek koymak yerine tek bir kere sabitleme işlemi yapıp konum hatalarının önüne geçilmesi sağlanmıştır.



Resim 6.10. Numunelerin testere ile kesimi

Resim 6.10.'da görüldüğü gibi çizgiler üzerinden testere kesim işlemini yapmış, daha sonra ise puntalardan parçalar kolayca ayrılarak markalandıkları numaralara göre ayrı bir yerde toplanmıştır. Testere üzerindeki çizgi alanlarından büyük alanlardan 3'er adet numune çıkarmak üzere çekme testi için ayarlanmışken, diğer küçük alanlarda ise eğme ve sertlik testinin yapılması planlanmıştır. Parçaların köşelerindeki alanlar ise teste dahil edilmemiştir (Resim 6.11.).



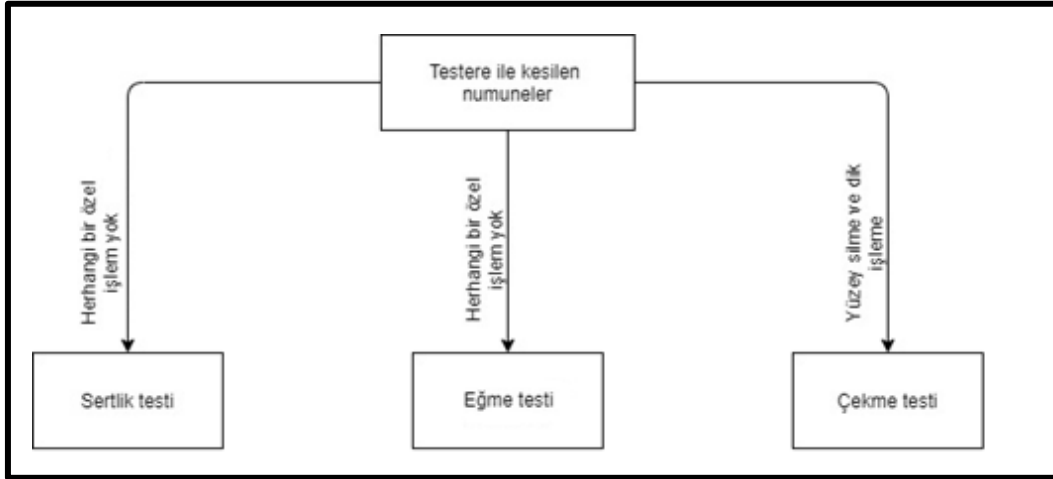
Resim 6.11. Bir numunenin deney parçalarının ayrımı

Sertlik ve eğme testinin uygulanması için elde bulunan numunelere herhangi bir özel işlem uygulamak gerekmemiştir. Testere ile kesilen parçalar Resim 6.12.'de gösterilmiştir.



Resim 6.12. Kesilmiş kaynatılan numuneler

Testere ile kesildikten sonra elde bulunan numunelere çeşitli işlemler uygulanmıştır. Bu işlemlere ek olarak kesilen malzemelerin kaynak kesitlerinin mikroyapıları incelenmiştir. Deney numuneleri için izlenen yol Şekil 6.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Kesilen numuneler için iş planı

6.5. Eğme Testi

Birleştirilen malzemelerin şekillendirilmeleri esnasındaki davranışlarını görmek amacıyla malzemeler eğme testine tabi tutulmuştur. Eğme testi deney numunelerine her iki yönde 90° olarak uygulanmıştır. Eğme işlemi TDP-101 markalı eğme testi cihazı kullanılarak yapılmıştır.

6.6. Sertlik Testi

İki farklı cinsteki malzemeler kaynatılıp soğuması bekledikten sonra, kaynak bölgelerindeki sertlik dağılımlarını görmek amacı ile sertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu sertlik ölçümleri her bir deney numunesi için aynı noktalardan ve aynı sayılarda yapılmıştır. Sertlik testinin yapıldığı ortam koşulları bütün deneyler için aynı olmuştur.

Numunelerin sertlik değerleri Vickers (HV) sertlik yöntemiyle 0,5 kgf yükte Queness 30M model sertlik cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Sertlik testinin yapıldığı cihaz Resim 6.13.'de gösterilmiştir.



Resim 6.13. Sertlik testi cihazı

Bir numunenin sertliğinin belirlenmesi için S355J2 bölgesi, Hardox (HBW450) bölgesi ve ITAB bölgesi olmak üzere 3 farklı noktadan belirli sayılarda sertlik ölçümleri yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır

6.7. Çekme Testi

Kaynak çekmeleri her ne kadar önlenmeye çalışılsa da tam anlamı ile önlenemeyeceği için numune parçalarının hem ön yüzeyinden hem de arka yüzeylerinden silme işlemi yapılmıştır. 8mm kalınlığındaki parçaların ön ve arka yüzeylerinden 1,5 mm silme işlemi yapılmış ve parça kalınlığı 5 mm'ye düşürülmüştür (Resim 5.14.). Bu sayede çekme testinin daha doğru uygulanmasına engel olan parça doğrusallığının sağlanamaması durumu da ortadan kaldırılmıştır.



Resim 6.14. Alın frezede yüzeyi işlenen numuneler

Manyetik aln freze tezgahına bağlanarak parçanın her iki yüzeyinden talaş kaldırılan çekme testi numuneleri Resim 5.15.'de gösterilmiştir.



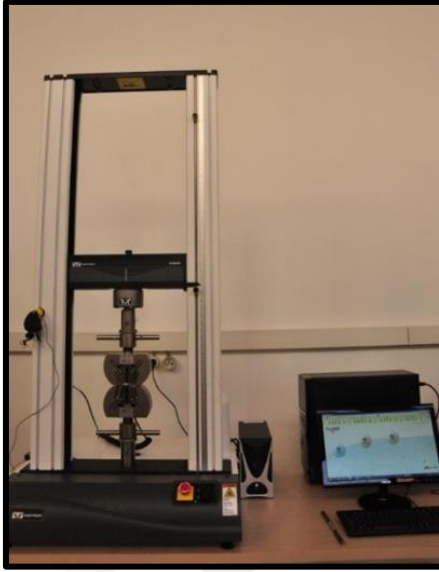
Resim 6.15. Alın freze tarafından yüzeyi işlenmiş numune

Yine bir karışıklık olmaması adına yüzeyleri silinen numunelere markalama işlemi yapılmış ve ASTM E8-M standardına uygun çekme numunesi formu çıkarmak adına dik işleme CNC tezgahına bağlanmıştır. Uygun CAM ile ayarlanan CNC tezgahında parçaya istenilen çekme numunesi formu verilmiştir (Resim 6.16.).



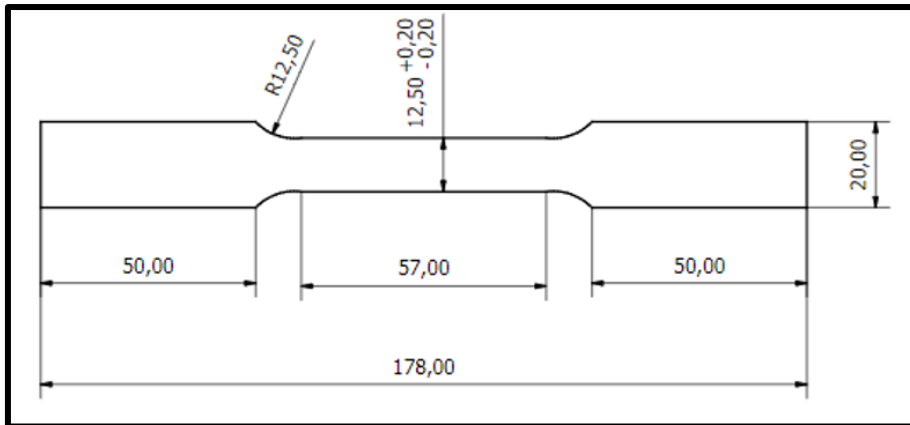
Resim 6.16. CNC tezgahta işlenen numune

Numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testleri yapılmıştır. Çekme testleri $0,25 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ sabit gerinme hızında 50 kN yükleme kapasiteli Instron 3369 üniversal test cihazı kullanılarak (Resim 6.17.) oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Resim 6.17. Çekme deneylerinde kullanılan test cihazı

Gerinme ölçümü için 25 mm'lik ilk ölçü uzunluğuna ayarlanmış bir ekstensometre kullanılmıştır. Her numune grubu için toplam üç çekme numunesi test edilmiş ve ortalama değerler sunulmuştur. Deneylerde kullanılan ASTM E8-M standardına uygun çekme numunesi ve boyutları Şekil 6.4.'te verilmiştir.



Şekil 6.4. Çekme numunesinin boyutları (mm)

6.8. Mikroyapı İncelemeleri

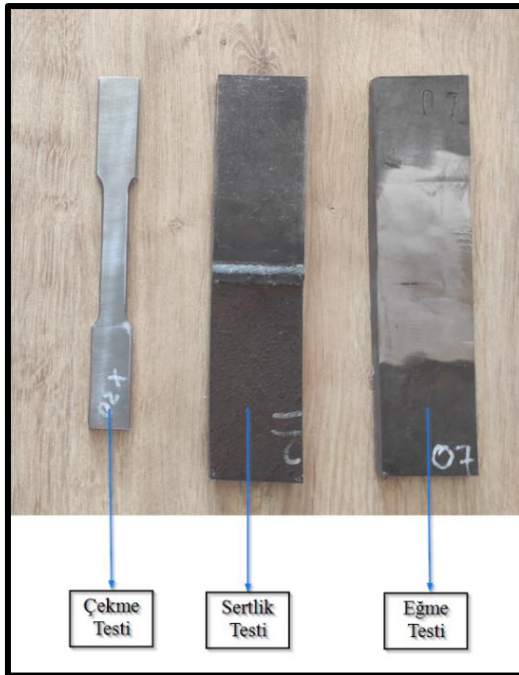
Belirli testlerin uygulandığı numuneler sahip olduğu mikroyapı tesbiti için farklı parametreler ile kaynatılmış ve farklı kaynak ağızlarına sahip numunelerin kaynak kesitlerinin mikroyapısı incelenmiştir.

Numuneler standart metalografik yöntemlerle (zımparalama ve parlatma) metalografik inceleme için hazırlanmıştır. Zımparalama sırasıyla 240, 400, 800 ve 1200 kum zımparalar kullanılarak yapılmıştır. Parlatmalar sırasıyla 6 μm , 3 μm ve 1 μm elmas süspansiyonlar kullanılarak yapılmıştır. Numuneler 0,1 μm 'ye koloidal silika ile nihai parlatma yapılmıştır. Mikroyapıların açığa çıkarılması için dağlayıcı olarak %2 Nital çözeltisi kullanılmıştır. Metalografik hazırlığı yapılmış numunelerin mikroyapıları Leica DFC 320 dijital kamera bağlantılı Leica DM4000M optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir (Resim 5.18.).



Resim 6.18. Mikroyapı inceleme

Sonuç olarak test işlemlerinin uygulanıp mikroyapının inceleneceği numuneler Resim 6.19.'da gösterilmiştir.



Resim 6.19. Deney numunelerinin son halleri

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kaynakla birleştirilen farklı özelliklerdeki numuneler eğme, çekme ve sertlik testlerine tabi tutulmuştur. Eğme ve sertlik testi için testere ile kesilip herhangi bir talaşlı imalat işlemi görmeyen kaynaklı plakalar kullanılmıştır. Çekme testi için ise manyetik alın freze ile yüzey silme işleminden sonra CNC tezgâh ile numunelere çekme formu verilmiştir. Sertlik testi için hazırlanmış olan numuneler aynı zamanda mikroyapı çalışmaları için de kullanılmıştır.

7.1. Eğme Testi Sonuçları

Kaynaklı birleştirme ile elde edilen parçalara uygulamada kullanım esnasında büküm gibi birtakım işlemlerin uygulanması aşamasında kaynak bölgesinde meydana gelebilecek hasarları görmek amacıyla eğme işlemleri uygulanmıştır. Testere ile kesilmiş kaynaklı parçaların kaynak noktalarının merkezi büküm radüsü olacak şekilde ayarlanan parçalar büküm kalıbına yerleştirilmiş ve parçalara Resim 7.1.'deki gibi 90° olacak şekilde kaynak kepi içte ve dışta olacak şekilde eğme işlemi uygulanmıştır.



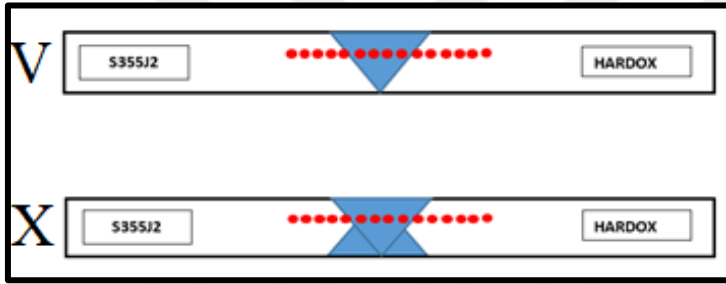
Resim 7.1. Eğilmiş numuneler

Bu işlem bütün koşulların aynı tutulduğu, kaynak hızı ve kaynak ağzının değişken parametre olarak belirlendiği numuneler üzerinde uygulanmıştır. Bükümün uygulandığı numuneler üzerinde göz ile inceleme yapılmış ve herhangi bir çatlak veya ayrılma gibi bir hatanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

7.2. Sertlik Testi Sonuçları

Birleştirilen malzemelerin mekanik değerleri üzerinde etkin bir rol oynadığı bilinen sertlik değerlerinin tespit edilebilmesi için elde edilen kaynaklı numuneler sertlik ölçme testlerine tabi tutulmuştur. Sertlik testi için ayrılan A ve B numunesinin kaynak birleşme noktası merkez kabul edilerek, yatay yöne eş değer uzaklıklarda, belirli mesafede ve aynı sayıda olacak şekilde noktasal sertlik testi yapılmıştır (Şekil 6.1.). Sertlik testinde Vickers sertlik ölçme yöntemi tercih edilmiş olup işlemler esnasında 0,5 kg yük kullanılmıştır.

Kaynak işleminden sonra soğutma sıvısının kullanıldığı testere ile kesilen numunelere herhangi bir talaşlı imalat işlemi uygulanmamıştır. Numuneler ortam koşullarında soğutulduktan belirli bir süre sonra belirli noktalarında sertlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 7.1. Sertlik ölçümü bölgeleri

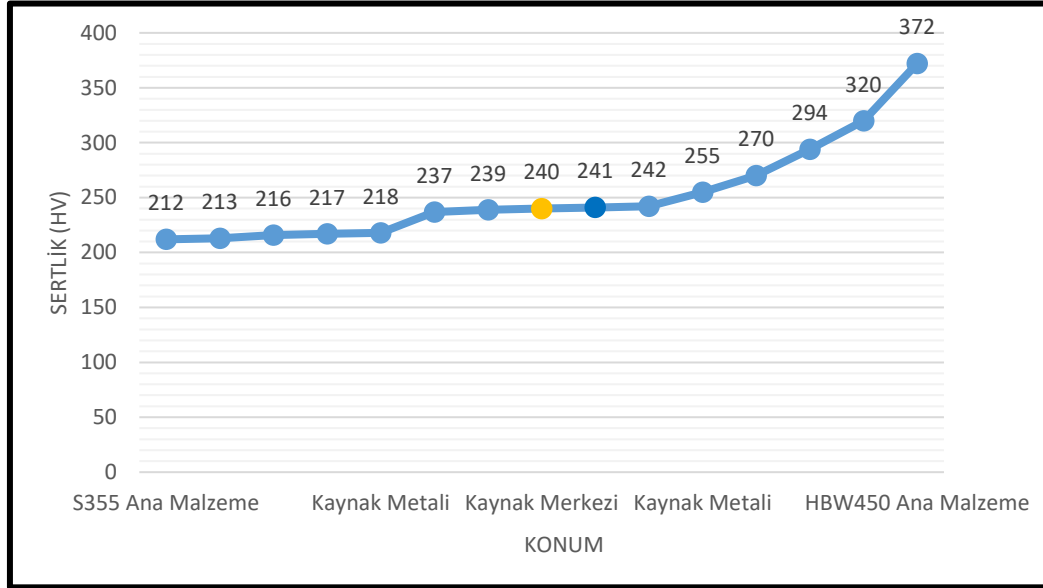
V kaynak ağzı açılmış 1 numaralı numune (1-V) sertlik değerleri

Çizelge 7.1.'de V kaynak ağzına sahip numunelerin kaynak anındaki parametre değerleri gösterilmiştir. Deney 1-V olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 7.1. 1-V numunesinin kaynak parametreleri

	Kök Paso			Kapak Paso		
	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)
Deney						
1-V	800	24	45	1200	28	45

Yukarıda yer alan parametrelere göre yapılan sertlik testi neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 7.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. 1-V numunesi sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 240HV ölçülen sertlik değeri S355J2 malzemesine doğru 239HV-237HV-218HV-217HV-216HV-213HV ve 212HV değerlerinde ölçülürken, kaynak merkezinden Hardox (HBW450) malzemesine doğru gittikçe ise 241HV-242HV-255HV-270HV-294HV-320HV ve 372HV değerlerinde ölçülmüştür.

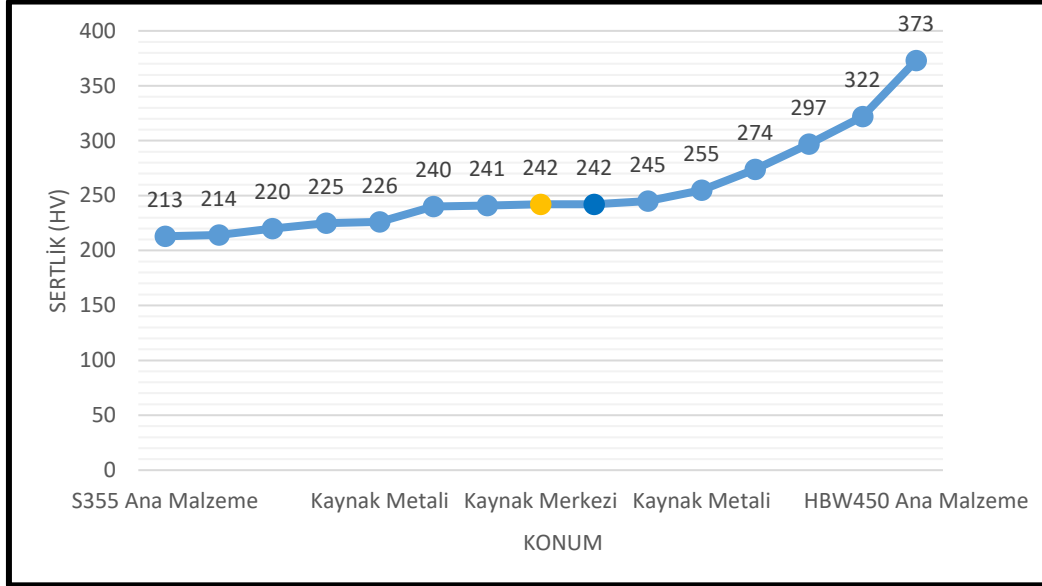
V kaynak ağzı açılmış 2 numaralı numune (2-V) sertlik değerleri

Çizelge 7.2.'de V kaynak ağzına sahip numunelerin kaynak anındaki parametre değerleri gösterilmiştir. Deney 2-V olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 7.2. 2-V numunesinin kaynak parametreleri

	Kök Paso			Kapak Paso		
	V _{tel}	Voltaj	V _{kaynak}	V _{tel}	Voltaj	V _{kaynak}
Deney	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)
2-V	800	24	50	1200	28	50

Yukarıda yer alan parametrelere göre yapılan sertlik testi neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 7.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.3. 2-V numunesi sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 242HV ölçülen sertlik değeri S355J2 malzemesine doğru 241HV-240HV-226HV-225HV-220HV-214HV ve 213HV değerlerinde ölçülürken, kaynak merkezinden Hardox (HBW450) malzemesine doğru gittikçe ise 242HV-245HV-255HV-274HV-297HV-322HV ve 373HV değerlerinde ölçülmüştür.

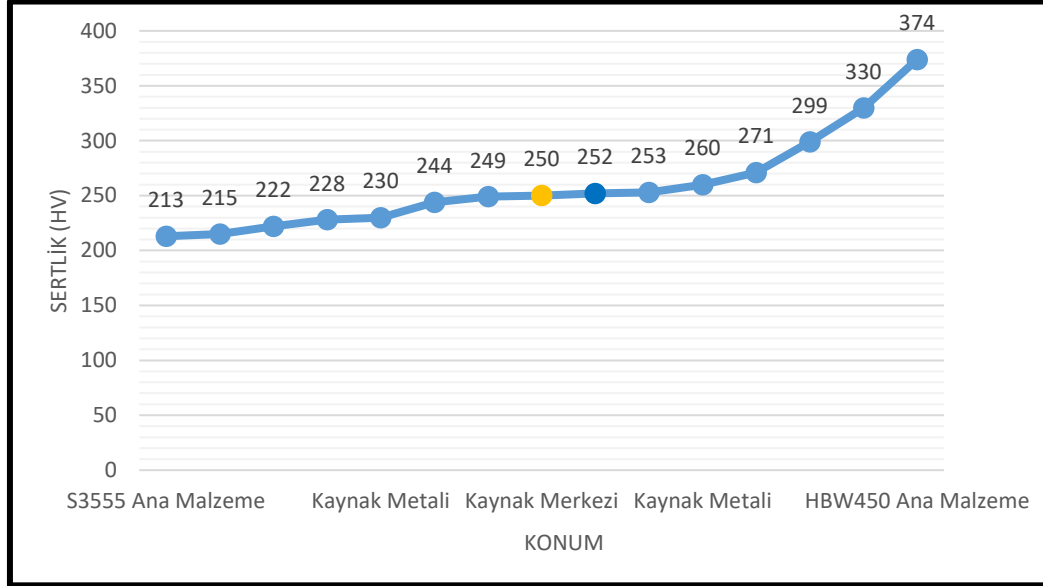
V kaynak ağzı açılmış 3 numaralı numune (3-V) sertlik değerleri

Çizelge 7.3.'de V kaynak ağzına sahip numunelerin kaynak anındaki parametre değerleri gösterilmiştir. Deney 3-V olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 7.3. 3-V numunesinin kaynak parametreleri

	Kök Paso			Kapak Paso		
	V _{tel}	Voltaj	V _{kaynak}	V _{tel}	Voltaj	V _{kaynak}
Deney	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)
3-V	800	24	55	1200	28	55

Yukarıda yer alan parametrelere göre yapılan sertlik testi neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 7.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.4. 3-V numunesi sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 250HV ölçülen sertlik değeri S355J2 malzemesine doğru 249HV-244HV-230HV-228HV-222HV-215HV ve 213HV değerlerinde ölçülürken, kaynak merkezinden Hardox (HBW450) malzemesine doğru gittikçe ise 252HV-253HV-260HV-271HV-299HV-330HV ve 374HV değerlerinde ölçülmüştür.

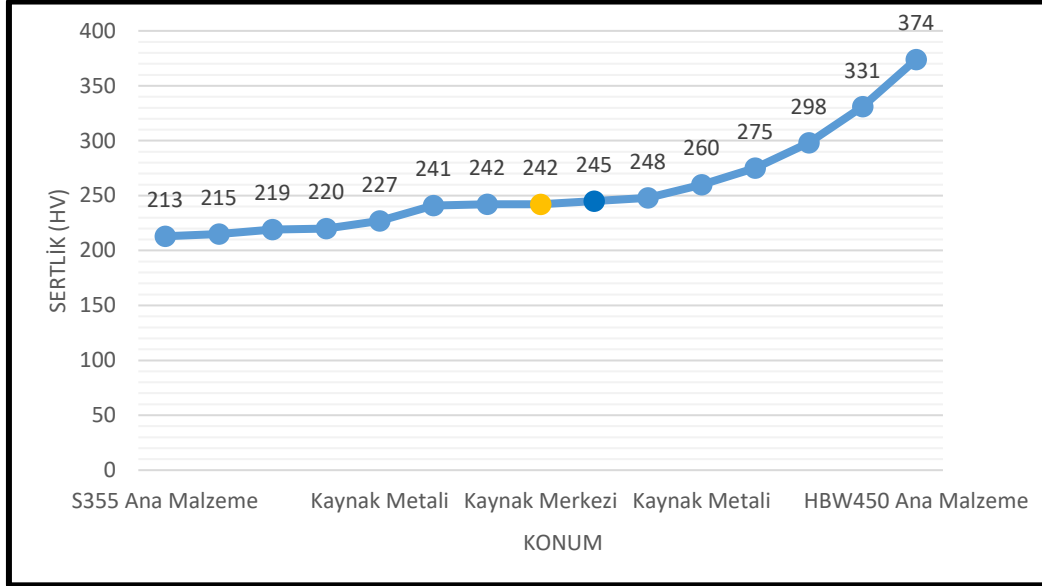
X kaynak ağzı açılmış 1 numaralı (1-X) numune sertlik değeri

Çizelge 7.4.'de X kaynak ağzına sahip numunelerin kaynak anındaki parametre değerleri gösterilmiştir. Deney 1-X olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 7.4. 1-X numunesinin kaynak parametreleri

	Ön Yüzey Paso			Arka Yüzey Paso		
	V _{tel}	Voltaj	V _{kaynak}	V _{tel}	Voltaj	V _{kaynak}
Deney	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)
1-X	800	25	45	800	25	45

Yukarıda yer alan parametrelere göre yapılan sertlik testi neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 7.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.5. 1-X numunesi sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 242HV ölçülen sertlik değeri S355J2 malzemesine doğru 242HV-241HV-227HV-220HV-219HV-215HV ve 213HV değerlerinde ölçülürken, kaynak merkezinden Hardox (HBW450) malzemesine doğru gittikçe ise 245HV-248HV-260HV-275HV-298HV-331HV ve 374HV değerlerinde ölçülmüştür.

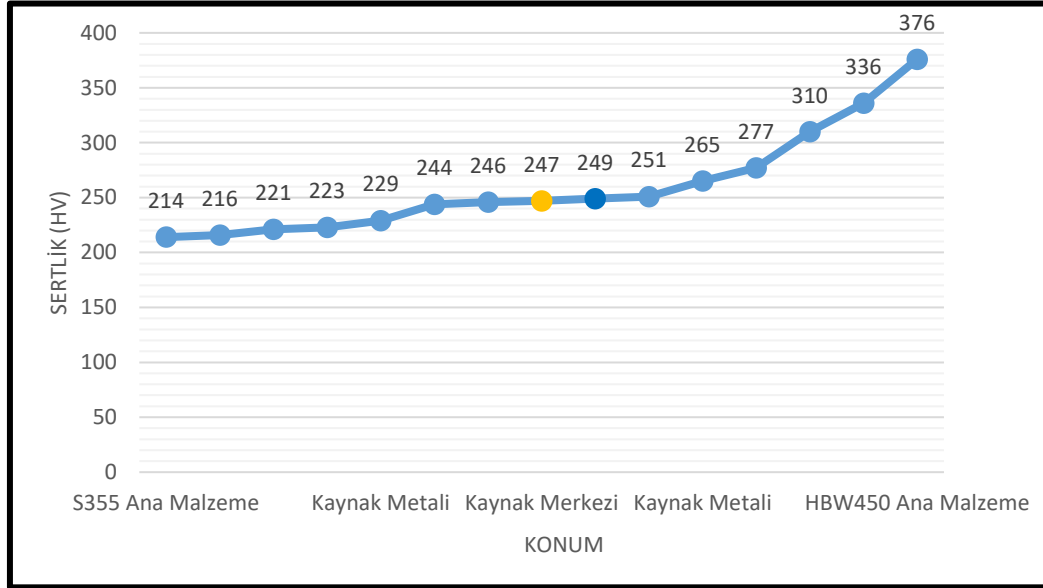
X kaynak ağzı açılmış 2 numaralı numune (2-X) sertlik değeri

Çizelge 7.5.'de X kaynak ağzına sahip numunelerin kaynak anındaki parametre değerleri gösterilmiştir. Deney 2-X olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 7.5. 2-X numunesinin kaynak parametreleri

	Ön Yüzey Paso			Arka Yüzey Paso		
	V _{tel}	Voltaj	V _{kaynak}	V _{tel}	Voltaj	V _{kaynak}
Deney	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)
2-X	800	25	50	800	25	50

Yukarıda yer alan parametrelere göre yapılan sertlik testi neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 7.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 7.6. 2-X numunesi sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 247HV ölçülen sertlik değeri S355J2 malzemesine doğru 246HV-244HV-229HV-223HV-221HV-216HV ve 214HV değerlerinde ölçülürken, kaynak merkezinden Hardox (HBW450) malzemesine doğru gittikçe ise 249HV-251HV-265HV-277HV-310HV-336HV ve 376HV değerlerinde ölçülmüştür.

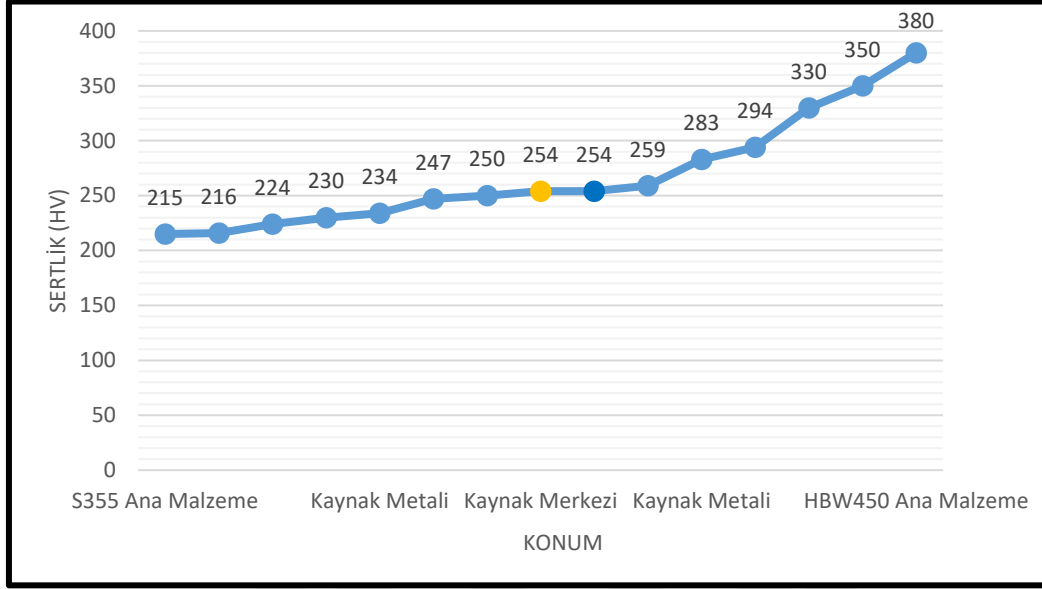
X kaynak ağzı açılmış 3 numaralı numune (3-X) sertlik değerleri

Çizelge 7.6.'da X kaynak ağzına sahip numunelerin kaynak anındaki parametre değerleri gösterilmiştir. Deney 3-X olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 7.6. 3-X numunesinin kaynak parametreleri

	Ön Yüzey Paso			Arka Yüzey Paso		
	V _{tel}	Voltaj	V _{kaynak}	V _{tel}	Voltaj	V _{kaynak}
Deney	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)
3-X	800	25	55	800	25	55

Yukarıda yer alan parametrelere göre yapılan sertlik testi neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 7.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. 3-X numunesi sertlik grafiği

Kaynak merkezinde 254HV ölçülen sertlik değeri S355J2 malzemesine doğru 250HV-247HV-234HV-230HV-224HV-216HV ve 215HV değerlerinde ölçülürken, kaynak merkezinden Hardox (HBW450) malzemesine doğru gittikçe ise 254HV-259HV-283HV-294HV-330HV-350HV ve 380HV değerlerinde ölçülmüştür.

Özet olarak yapılan sertlik testine göre X ve V kaynak ağızlı numunelerindeki S355J2 malzemesi, SG2 kaynak metali ve HBW450 Hardox malzemesinin sahip olduğu ortalama sertlik değerleri HV_{0,5} biriminde Çizelge 7.7., Çizelge 7.8. ve Çizelge 7.9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.7. 1-V 1-X kıyaslaması

Deney	S355J2	Kaynak Metali	Hardox (HBW450)
1-V	212-213-216-217-218	237-239-240-241-242	255-270-294-320-372
1-X	213-215-219-220-227	241-242-242-245-248	260-275-298-331-374

Çizelge 7.8. 2-V 2-X kıyaslaması

Deney	S355J2	Kaynak Metali	Hardox (HBW450)
2-V	213-214-220-225-226	240-241-242-242-245	255-274-297-322-373
2-X	214-216-221-223-229	244-246-247-249-251	265-277-310-336-376

Çizelge 7.9. 3-V 3-X kıyaslaması

Deney	S355J2	Kaynak Metali	Hardox (HBW450)
3-V	213-215-222-228-230	244-249-250-252-253	260-271-299-330-374
3-X	215-216-224-230-234	247-250-254-254-259	283-294-330-350-380

S355J2 ana malzemeden belirli aralıklar ile sertlik değerleri alınarak kaynak metaline doğru gidildikçe elde edilen sertlik değerlerinin artmış olduğu yine yukarıdaki sertlik çizelgelerinden görülmektedir. Kaynak hızının artması ile beraber sertliklerde artışlar görülürken, her iki kaynak ağzı türünde elde edilen birleştirmelerin kaynak metallerinin sertlik değerlerine kayda değer bir fark yarattığı gözlemlenmemiştir.

Hardox (HBW450) ana malzemeden kaynak metaline doğru belirli aralıklarda alınan sertlik değerlerine bakıldığında ise sertlik değerlerinde belirgin bir şekilde düşüşlerin meydana geldiği görülmüştür. Burada malzemeye uygulanan ısı girdisi ile sıcaklığın belirli bir hızda kaynak bölgesinden çekilmesi nedeniyle kaynak bölgesinin sertlik değeri ana malzemeden düşük olmuştur.

Kaynaklı birleştirmelerde kaynak metali, ana malzemelerin ve kullanılan kaynak ilave malzemenin karışımından meydana gelmektedir. Yapılmış olan bu çalışmada da kaynak metalinin sertlik değeri yaklaşık olarak her iki farklı ana malzemenin sertlik değerlerinin ortalaması olarak tespit edilmiştir. Elde edilen birleştirmelerdeki kaynak metalinin sertlik değeri S355J2 malzemenin sertlik değerinden yüksek, HBW450 Hardox malzemenin sertlik değerinden düşük olacak şekilde tespit edilmiştir.

Ibrahim I. A., Mohammat S. A., Amir A., Ghalib A. gaz metal ark prosesini yumuşak çeliklerin (100mm x 100mm x 6mm) farklı parametreler altında birleştirilmesi sonucundaki

kaynak bölgesinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Parametre olarak kaynak hızının da seçildiği bu çalışmada 20 cm/dk, 40 cm/dk ve 60 cm/dk hızları ile malzeme kaynatılmıştır. Toplamda 27 adet deney yapılmış ve kaynaklı yapıların mikroyapısı incelenmiştir. Mikroyapı incelendiğinde kaynak hızının artması ile soğuma da daha çabuk olacağından dolayı en yüksek hızlarda malzeme yapısında martenzit oluşumu gözlenmiştir. Sertlik değerlerine bakıldığında ise kaynak hızı paralelinde ısı girdisine bağlı olarak çabuk soğumadan dolayı oluşan martenzitik yapı ile bağlantılı olduğu gözlemlenmiştir. En sert malzeme 60 cm/dk hızda görülmüştür. Bu çalışmada yapılan deneyde de en sert kaynaklı yapı, en yüksek kaynak hızı olan 55 cm/dk hızında görüldüğünden bu iki çalışma arasında bir paralellik kurulabilmektedir [57].

7.3. Çekme Testi Sonuçları

Tamamen aynı imalat işlemlerine tabi tutulmuş ve nihai olarak aynı fiziksel boyutlara sahip 1-V, 2-V, 3V; 1-X, 2-X ve 3-X olarak adlandırılan numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi uygulanan numuneler elastik ve plastik deformasyona uğrayıp maksimum çekme gerilmesine ulaştıktan bir süre sonra kopmuştur (Resim7.2.). Her deney için toplamda 3'er adet numuneye çekme testi uygulanmış olup akma gerilmesi, çekme gerilmesi, kopma gerilmesi ve yüzde şekil değişimi sonuç verileri test cihazından elde edilmiştir.



Resim 7.2. Çekme testine tabi tutulmuş numune

V kaynak ağzı açılmış 1 numaralı numune (1-V) çekme değerleri

Bu deneyde V kaynak ağzına sahip, kök paso için robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 800 cm/dk, voltaj değeri 24 Volt olan ve kaynak hız değeri 45 cm/dk ile kapak pasodaki robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 1200 cm/dk, voltaj değeri 28 Volt olan ve kaynak hız değeri 45 cm/dk S355J2 plaka ile Hardox (HBW450) plaka kaynatılmıştır. 1-V olarak adlandırılan çekme deneyini yapmak adına kaynatılmış plakalara gerekli işlemler yapılmış ve çekme testi uygulanmıştır. Deney verileri Çizelge 7.10.'da verilmiştir.

Çizelge 7.10. 1-V numunesinin kaynak parametreleri

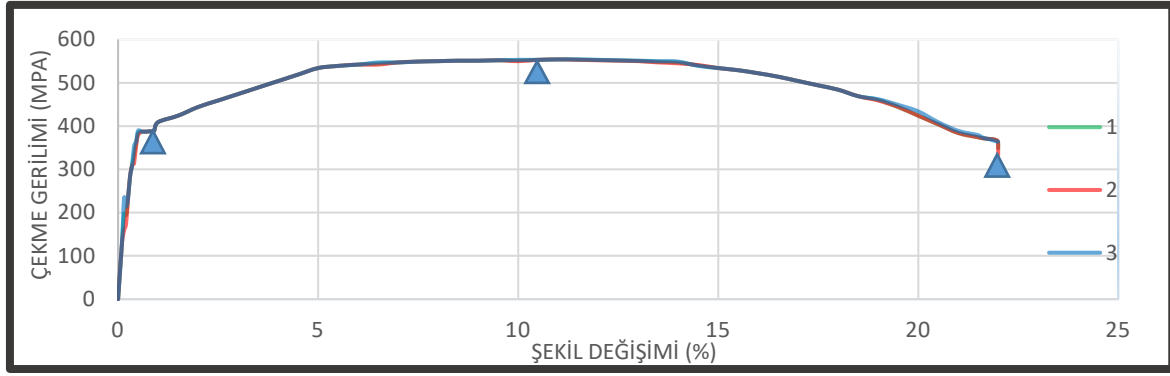
	Kök Paso			Kapak Paso		
	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)
1-V	800	24	45	1200	28	45

1-V deneyi için test cihazından elde edilen değerlerin bir ortalaması alınıp aşağıdaki Çizelge 7.11.'de verilmiştir.

Çizelge 7.11. 1-V çekme deneyi değerleri

	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Şekil Değişimi (%)
1.Deney	382,3	558,9	362,0	21,7
2.Deney	388,8	551,3	347,5	21,1
3.Deney	377,6	549,2	331,2	20,9
Ortalama	382,9	553,1	346,9	21,2

1-V çekme testinin grafiği aşağıdaki şekilde (Şekil 7.8.) gösterilmiştir.



Şekil 7.8. 1-V çekme deneyi grafiği

Deney sonucu elde edilen ortalama verilere göre numunenin akma gerilmesi 382,9 MPa, çekme gerilmesi 553,1 MPa, kopma gerilmesi 346,9 MPa ve şekil değişimi ise %21,2 olarak gözlemlenmiştir.

V kaynak ağzı açılmış 2 numaralı numune (2-V) çekme değerleri

Bu deneyde V kaynak ağzına sahip, kök paso için robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 800 cm/dk, voltaj değeri 24 Volt olan ve kaynak hız değeri 50 cm/dk ile kapak pasodaki robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 1200 cm/dk, voltaj değeri 28 Volt olan ve kaynak hız değeri 50 cm/dk S355J2 plaka ile HARDOX (HBW450) plaka kaynatılmıştır. 2-V olarak adlandırılan çekme deneyini yapmak adına kaynatılmış plakalara gerekli işlemler yapılmış ve çekme testi uygulanmıştır. Deney verileri Çizelge 7.12.'de verilmiştir.

Çizelge 7.12. 2-V numunesinin kaynak parametreleri

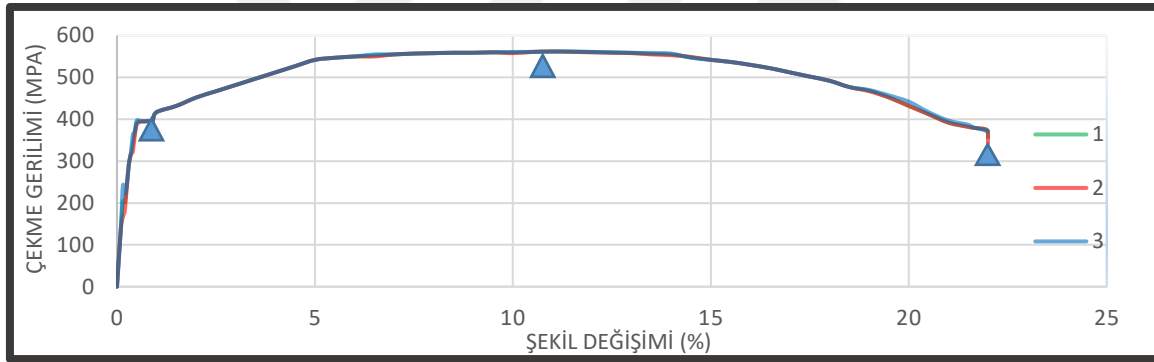
	Kök Paso			Kapak Paso		
	V_{tel}	Voltaj	V_{kaynak}	V_{tel}	Voltaj	V_{kaynak}
Deney	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)
2-V	800	24	50	1200	28	50

2-V deneyi için test cihazından elde edilen değerlerin bir ortalaması alınıp Çizelge 7.13.'de verilmiştir.

Çizelge 7.13. 2-V çekme deneyi değerleri

	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Şekil Değişimi (%)
1.Deney	397,2	565,3	357,0	21,2
2.Deney	387,4	558,3	356,2	20,6
3.Deney	391,5	556,6	349,6	20,9
Ortalama	392,0	560,1	354,3	20,9

2-V çekme testinin grafiği aşağıdaki şekilde (Şekil 7.9.) gösterilmiştir.



Şekil 7.9. 2-V çekme deneyi grafiği

Deney sonucu elde edilen ortalama verilere göre numunenin akma gerilmesi 392,0 MPa, çekme gerilmesi 560,1 MPa, kopma gerilmesi 354,3 MPa ve şekil değişimi ise %20,9 olarak gözlemlenmiştir.

V kaynak ağzı açılmış 3 numaralı numune (3-V) çekme değerleri

Bu deneyde V kaynak ağzına sahip, kök paso için robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 800 cm/dk, voltaj değeri 24 Volt olan ve kaynak hız değeri 55 cm/dk ile kapak pasodaki robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 1200 cm/dk, voltaj değeri 28 Volt olan ve kaynak hız değeri 55 cm/dk S355J2 plaka ile HARDOX (HBW450) plaka kaynatılmıştır. 3-V olarak adlandırılan çekme deneyini yapmak adına kaynatılmış

plakalara gerekli işlemler yapılmış ve çekme testi uygulanmıştır . Deney verileri Çizelge 7.14.'de verilmiştir.

Çizelge 7.14. 3-V numunesinin kaynak parametreleri

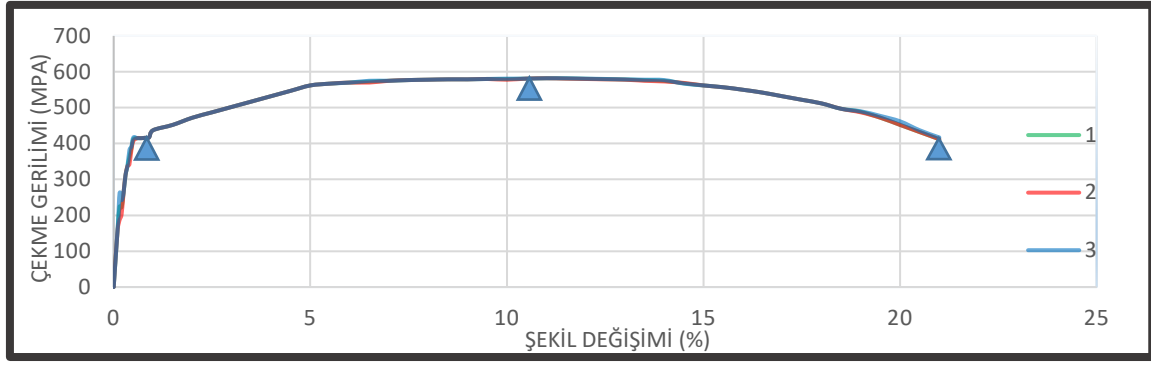
	Kök Paso			Kapak Paso		
	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)
3-V	800	24	55	1200	28	55

3-V deneyi için test cihazından elde edilen değerlerin bir ortalaması alınıp Çizelge 7.15.'de verilmiştir.

Çizelge 7.15. 3-V çekme deneyi değerleri

	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Şekil Değişimi (%)
1.Deney	407,5	580,3	412,0	20,2
2.Deney	417,0	576,3	412,7	18,7
3.Deney	411,8	586,9	417,6	19,3
Ortalama	412,1	581,2	414,1	19,4

3-V çekme testinin grafiği aşağıdaki şekilde (Şekil 7.10.) gösterilmiştir.



Şekil 7.10. 3-V çekme deneyi grafiği

Deney sonucu elde edilen ortalama verilere göre numune parçasının akma gerilmesi 412,1 MPa, çekme gerilmesi 581,2 MPa, kopma gerilmesi 414,1 MPa ve şekil değişimi ise %19,4 olarak gözlemlenmiştir.

X kaynak ağzı açılmış 1 numaralı numune (1-X) çekme değerleri

Bu deneyde X kaynak ağzına sahip, ön yüz pasosu için robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 800 cm/dk, voltaj değeri 25 Volt olan ve kaynak hız değeri 45 cm/dk ile arka yüz pasosunda robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 800 cm/dk, voltaj değeri 25 Volt olan ve kaynak hız değeri 45 cm/dk S355J2 plaka ile HARDOX (HBW450) plaka kaynatılmıştır. 1-X olarak adlandırılan çekme deneyini yapmak adına kaynatılmış plakalara gerekli işlemler yapılmış ve çekme testi uygulanmıştır. Deney verileri Çizelge 7.16.'da verilmiştir.

Çizelge 7.16. 1-X numunesinin kaynak parametreleri

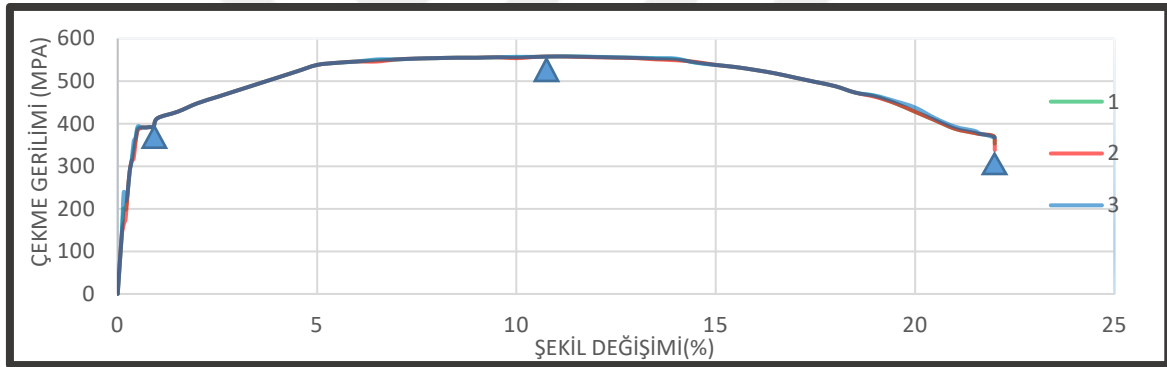
	Ön Yüzey Paso			Arka Yüzey Paso		
	V_{tel}	Voltaj	V_{kaynak}	V_{tel}	Voltaj	V_{kaynak}
Deney	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)
1-X	800	25	45	800	25	45

1-X deneyi için test cihazından elde edilen değerlerin bir ortalaması alınıp Çizelge 7.17.'de verilmiştir.

Çizelge 7.17. 1-X çekme deneyi değerleri

	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Şekil Değişimi (%)
1.Deney	382,9	558,6	338,0	19,5
2.Deney	388,0	556,7	353,6	20,5
3.Deney	394,4	561,3	361,3	19,8
Ortalama	388,4	558,9	351,0	19,9

1-X çekme testinin grafiği aşağıdaki şekilde (Şekil 7.11.) gösterilmiştir.



Şekil 7.11. 1-X çekme deneyi grafiği

Deney sonucu elde edilen ortalama verilere göre numune parçasının akma gerilmesi 388,4 MPa, çekme gerilmesi 558,9 MPa, kopma gerilmesi 351,0 MPa ve şekil değişimi ise %19,9 olarak gözlemlenmiştir.

X kaynak ağzı açılmış 2 numaralı numune (2-X) çekme değerleri

Bu deneyde X kaynak ağzına sahip, ön yüz pasosu için robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 800 cm/dk, voltaj değeri 25 Volt olan ve kaynak hız değeri 50 cm/dk ile arka yüz pasosunda robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 800 cm/dk, voltaj değeri 25 Volt olan ve kaynak hız değeri 50 cm/dk S355J2 plaka ile HARDOX (HBW450) plaka kaynatılmıştır. 2-X olarak adlandırılan çekme deneyini yapmak adına kaynatılmış

plakalara gerekli işlemler yapılmış ve çekme testi uygulanmıştır. Deney verileri aşağıdaki Çizelge 7.18.'de verilmiştir.

Çizelge 7.18. 2-X numunesinin kaynak parametreleri

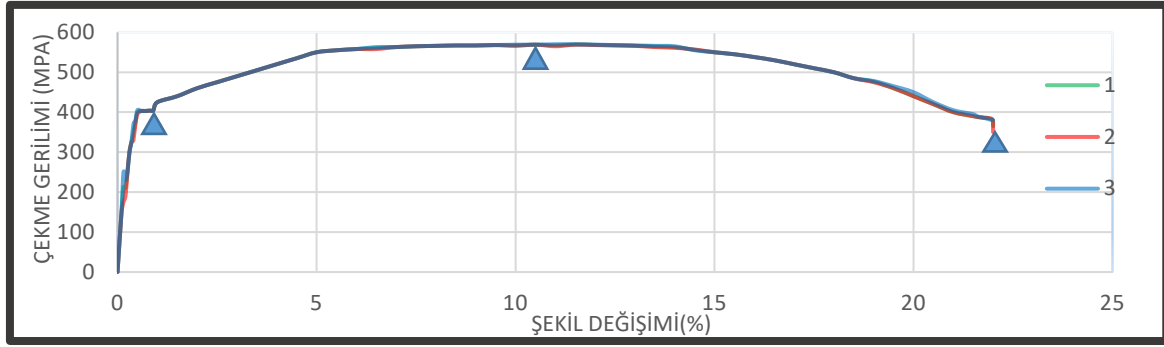
Deney	Ön Yüzey Paso			Arka Yüzey Paso		
	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)	V_{tel} (cm/dk)	Voltaj (V)	V_{kaynak} (cm/dk)
2-X	800	25	50	800	25	50

2-X deneyi için test cihazından elde edilen değerlerin bir ortalaması alınıp Çizelge 7.19.'da verilmiştir.

Çizelge 7.19. 2-X çekme deneyi değerleri

	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Şekil Değişimi (%)
1.Deney	395,2	564,8	350,2	19,5
2.Deney	399,6	571,1	367,8	19,6
3.Deney	403,8	564,3	378,0	20,0
Ortalama	399,5	566,7	365,3	19,7

2-X çekme testinin grafiği aşağıdaki şekilde (Şekil 7.12.) gösterilmiştir.



Şekil 7.12. 2-X çekme deneyi grafiği

Deney sonucu elde edilen ortalama verilere göre numune parçasının akma gerilmesi 399,5 MPa, çekme gerilmesi 566,7 MPa, kopma gerilmesi 365,3 MPa ve şekil değişimi ise %19,7 olarak gözlemlenmiştir.

X kaynak ağzı açılmış 1 numaralı numune (3-X) çekme değerleri

Bu deneyde X kaynak ağzına sahip, ön yüz pasosu için robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 800 cm/dk, voltaj değeri 25 Volt olan ve kaynak hız değeri 55 cm/dk ile arka yüz pasosunda robot kaynak makinesinin tel hızının beslemesi (V_{tel}) 800 cm/dk, voltaj değeri 25 Volt olan ve kaynak hız değeri 55 cm/dk S355J2 plaka ile HARDOX (HBW450) plaka kaynatılmıştır. 3-X olarak adlandırılan çekme deneyini yapmak adına kaynatılmış plakalara gerekli işlemler yapılmış ve çekme testi uygulanmıştır. Deney verileri Çizelge 7.20.'de verilmiştir.

Çizelge 7.20. 3-X numunesinin kaynak parametreleri

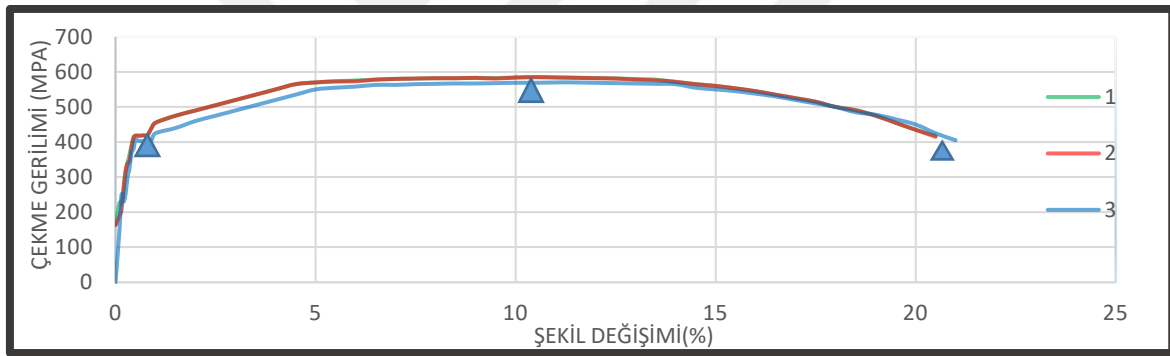
	Ön Yüzey Paso			Arka Yüzey Paso		
	V_{tel}	Voltaj	V_{kaynak}	V_{tel}	Voltaj	V_{kaynak}
Deney	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)	(cm/dk)	(V)	(cm/dk)
3-X	800	25	55	800	25	55

3-X deneyi için test cihazından elde edilen değerlerin bir ortalaması alınıp Çizelge 7.21.'de verilmiştir.

Çizelge 7.21. 3-X çekme deneyi değerleri

	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Şekil Değişimi (%)
1.Deney	411,3	585,6	422,4	18,0
2.Deney	422,2	582,0	418,5	19,0
3.Deney	416,5	586,5	415,0	19,0
Ortalama	416,7	584,7	418,6	18,7

3-X çekme testinin grafiği aşağıdaki şekilde (Şekil 7.13.) gösterilmiştir.



Şekil 7.13. 3-X çekme deneyi grafiği

Deney sonucu elde edilen ortalama verilere göre numune parçasının akma gerilmesi 416,7 MPa, çekme gerilmesi 584,7 MPa, kopma gerilmesi 418,6 MPa ve şekil değişimi ise %18,7 olarak gözlemlenmiştir.

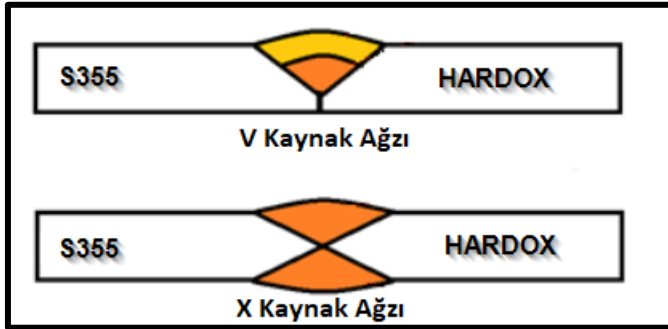
Kaynaklı birleştirmelerden elde edilen çekme deneyi numunelerine uygulanan çekme testlerinde kopmaların S355J2 ana malzemeden olduğu yukarıda çekme testi sonuçlarında belirtilmiştir. Sertlik testleri sonucunda da en düşük sertlik değerinin S355J2 malzemeden tespit edilmesi kopmanın bu malzemeden gerçekleşmesinin doğal bir sonuç olduğunu göstermektedir. Bu malzemenin sertlik değerinin düşük olması düşük kuvvette deformasyona uğramasına ve sonuç olarak kaynak bölgesinin hata içermemesi sebebiyle kopmanın bu malzemeden olmasına neden olmuştur. Ayrıca kaynak hızının artması ile ısı girdisi azalmış, kaynak hızının daha yavaş olduğu duruma nisbeten daha çabuk bir soğuma

gerçekleşmiştir. Bu da kaynak hızının yüksek olduğu durumlarda malzemenin daha sert bir yapıda olmasına neden olmuştur. Kaynak ağzı değişkenliği ise çekme testinde kayda değer bir rol oynamamıştır.

Okay T., Najafigharehtapeh A., Emre H. E., Kaçar R. S235JR yapı çeliği ile Hardox (HBW400) çeliğinin kaynaklanabilirliğinin araştırılması adına yaptığı çalışmada, kaynatılan malzemelere çekme testi uygulamış ve kopmaların mekanik olarak daha düşük özelliklere sahip S235JR malzemesinden olduğunu gözlemlemiştir. Bu çalışmada yapılan çekme testlerinde, kopmaların mekanik özelliklerin daha düşük olduğu S355J2 malzemesinden görülmesi ile bu iki çalışma arasında bir paralellik kurulabilmektedir [56].

7.4. Mikroyapı İncelemesi Sonuçları

Belirli parametrelerle kaynatılan deney numunelerinin kaynak kesitleri incelenmiş, çeşitli görüntüler alınmıştır. Kaynak esnasında ısıya maruz kalan bölgelerde çeşitli mikroyapı değişiklikleri gözlemlenirken, ısı tesirinin etkisinden uzak bölgelerde ise herhangi bir mikroyapı değişikliğine rastlanmamıştır.



Şekil 7.14. Numune parçaların dağılımı

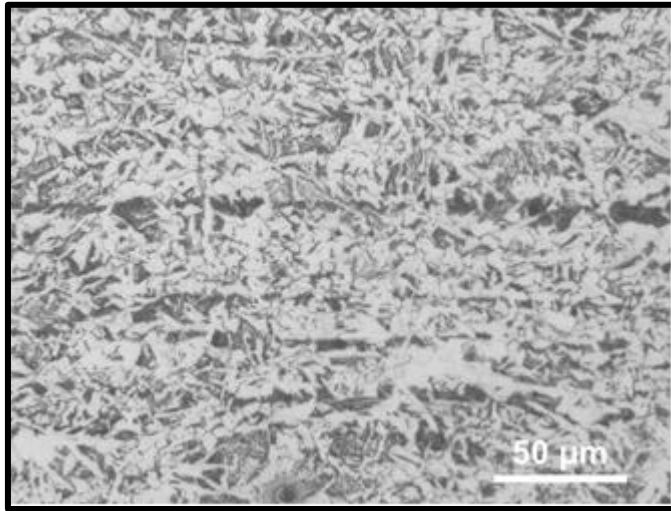
Numune parçalarını Şekil 6.14.'deki gibi S355J2 ana malzemesinden oluşan bölge, HARDOX ana malzemesinden oluşan bölge, kaynak metali merkezi bölgeleri ve kaynak ağzlarına bağlı olarak kaynak metali bölgesinden ana malzemelere geçiş bölgeleri olarak ayırabiliriz.

Kaynak hızı parametresi ele alındığında ise bütün numunelerde ve bütün durumlarda benzer sonuçlara varılmıştır. Kaynak hızı ile ısı girdisi arasındaki ters orantıyı gözlemlemek

mümkün olmuştur. Artan kaynak hızı ile beraber ısı girdisi azalırken düşük hızdaki kaynak hızında ise ısı girdisinin fazla olduğu görülmüştür. Isı girdisi miktarı arttıkça malzemenin soğuma hızı yavaşlarken, ısı girdisi azaldıkça malzeme daha çabuk soğumuştur. Hızlı soğuyan bölgelerde tanecik boyutları küçük, yavaş soğuyan bölgelerde ise tanecik yapılarının daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak kaynak hızı parametresine göre numuneler için bir kıyaslama yapıldığında, düşük ısı girdisine maruz kalıp hızlı soğuyan alanda martenzitik ve gevrek bir yapı gözlemlenirken, yüksek ısı girdisine maruz kalıp yavaş soğuyan alanda ise diğer duruma kıyasla daha sünek ve yumuşak yapı gözlemlenebilmektedir.

S355J2 metali ana malzemesi

Aşağıda Resim 7.3'te S355J2 ana malzemesinin kaynak işlemi öncesi mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Verilmiş olan görüntüye bakıldığında malzemenin düşük karbon oranına sahip bir malzeme görüntüsü sergilediği açıkça görülebilmektedir. Mevcut yapı, ferrit ve perlit tanelerinden oluşan ve tipik bir düşük karbonlu çelik malzeme mikroyapısı görünümündedir. Ayrıca dikkatle bakıldığında bir hadde ürünü olduğu mevcut olan bantlaşmalardan görülebilmektedir.

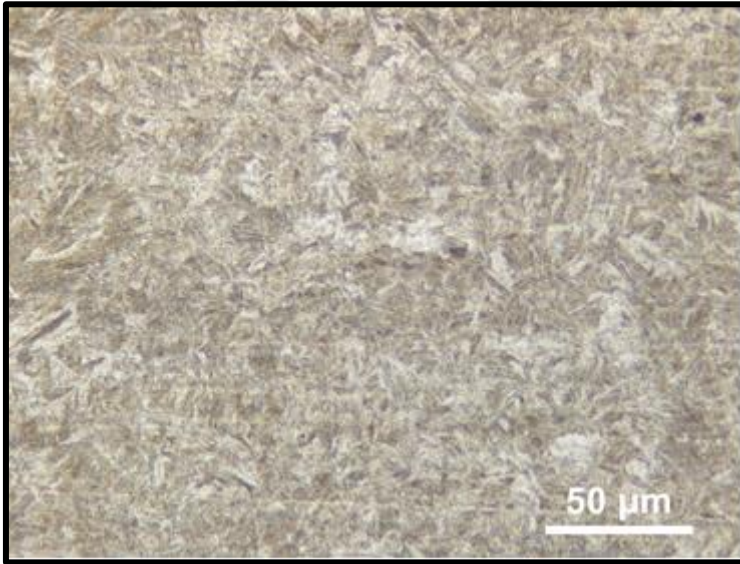


Resim 7.3. S355J2 ana malzeme mikroyapı görüntüsü

HARDOX (HBW450) metali ana malzemesi

Aşağıda Resim 7.4'te Hardox (HBW450) ana malzemeye ait kaynak işlemi öncesi elde edilen mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Görüntü incelendiğinde mevcut mikroyapının

homojen bir şekilde oluşmuş iğnemsî bir görüntü sergilediği net bir şekilde görülebilmektedir. Bu malzemeye üretim işlemleri esnasında bir takım ısı işlemleri uygulanmaktadır. Malzemelerin sertlik kazanabilmeleri açısından hızlı soğutma uygulamalarına maruz bırakıldığı ve sonucunda da martenzitik bir yapı sergilediği bilinmektedir. Bu malzemelerin ticari olarak kullanımları esnasında mekanik özelliklerinin iyileştirilmeleri amacıyla tokluk özelliklerinin de artırıldığı ve yine ısı işlem uygulamaları gerçekleştirildiği de bilinenler arasındadır. Verilmiş olan mikroyapı görüntüsünden de görülebildiği gibi ana malzeme mikroyapısı martenzitik bir görünüm sergilemektedir. Bu malzemeler bilinen özelliklerinden dolayı aşınmaya bağlı çalışma yerlerinde oldukça sık tercih edilen bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır.

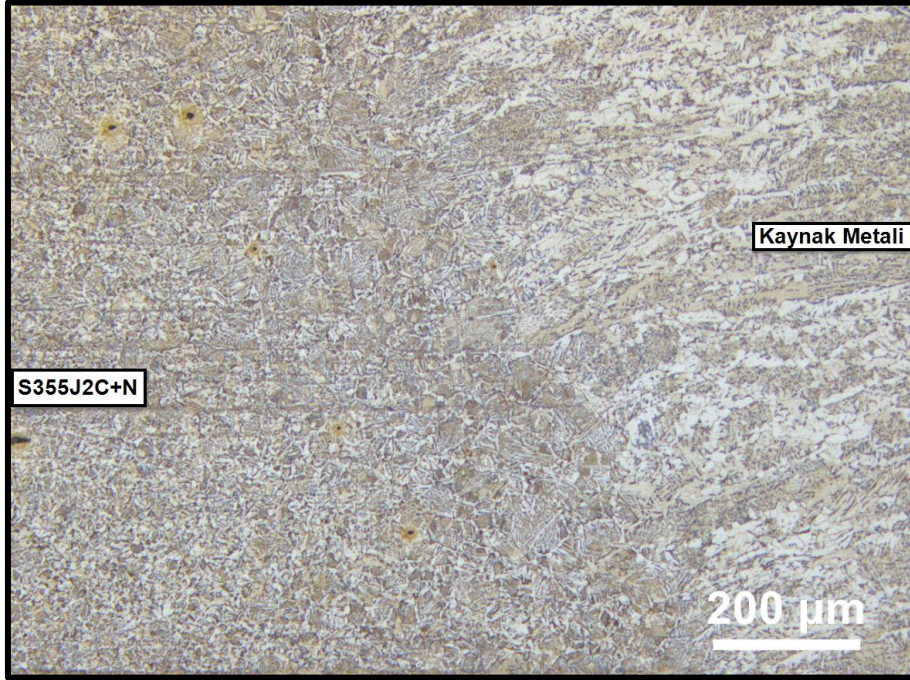


Resim 7.4. HBW450 malzeme mikroyapı görüntüsü

S355J2 malzeme V kaynak ağzı geçiş bölgesi

Resim 7.5'te V kaynak ağzına sahip S355J2 malzemenin kaynak işlemi sonrası elde edilen kaynak metali-ana malzeme geçiş bölgesi mikroyapısı görülmektedir. Verilen görüntü incelendiğinde kaynak metali-ana malzeme geçiş bölgesi net bir şekilde görülebilmektedir. Kaynak metalinde elde edilmiş olan mikroyapının ana malzemenin mikroyapısından hayli farklı olduğu ve uzunlamasına dendritler şeklinde ana malzemenin tanelerinin bir devamı şeklinde kaynak metali merkezine doğru yönlendiği görülmektedir. Bu yönelme, katılaşmanın ana malzeme tarafında başlayıp kaynak metali merkezine doğru olmasından kaynaklanmaktadır. Yine görüntü incelendiğinde geçiş bölgesinin ana malzeme tarafında

tipik bir ITAB oluşumunun varlığı göze çarpmaktadır. Burada mevcut olan taneler ısı girdisinin etkisi ile kısmen irileşmiş bir hal almıştır.



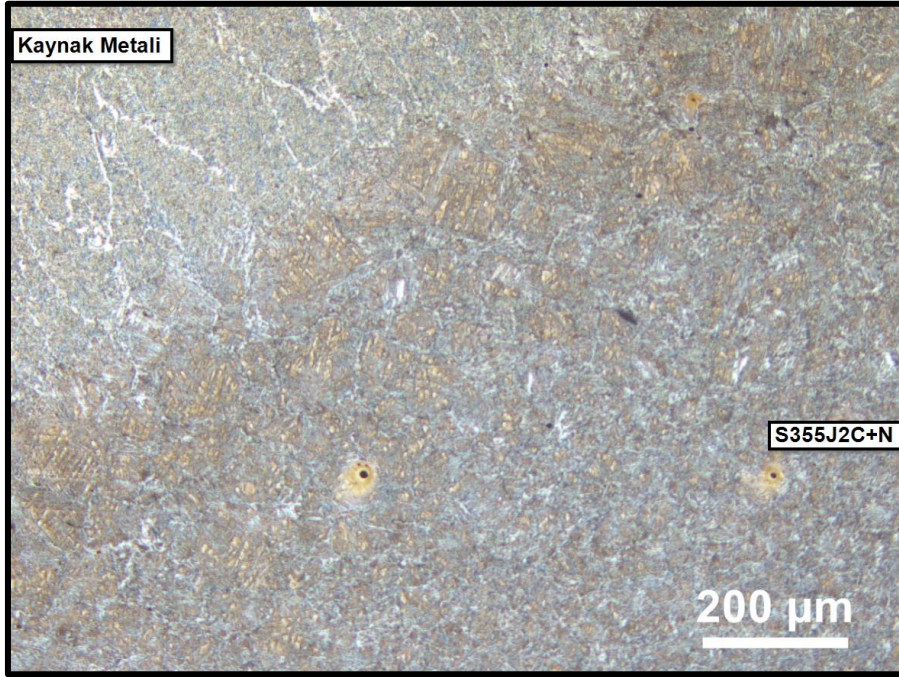
Resim 7.5. S355J2 malzeme V kaynak ağzı mikroyapı görüntüsü

S355J2 malzeme X kaynak ağzı geçiş bölgesi

Aşağıda verilmiş olan Resim 7.5'e bakıldığında X Kaynak ağzına sahip S355J2 malzemenin kaynak işlemi sonrası elde edilen kaynak metali-ana malzeme geçiş bölgesi mikroyapısı görülmektedir. Bu görüntüde de ana malzeme-kaynak metali geçiş bölgesi net bir şekilde görülebilmektedir. Burada da, kaynak metalinde oluşan tanelerin ana malzemenin tanelerinin bir devamı olacak şekilde ana malzemeden kaynak metali merkez çizgisine doğru bir yönlenme eğiliminde oldukları görülmektedir. Burada da katılma ana malzemeden başlamakta ve kaynak metali merkezine doğru ilerlemektedir. Dolayısı ile oluşan taneler kaynak metali merkezine doğru yönlenmektedirler. V kaynak ağzında olduğu gibi bu birleştirmede de tipik bir ITAB oluşumu göze çarpmakta olup geçiş bölgesine en yakın olan ana malzeme taneleri ısı girdisinin etkisi ile irileşmiştir.

Yukarıda verilmiş olan S355J2 V kaynak ağzı ile S355J2 X kaynak ağzı geçiş bölgeleri kıyaslandığında aralarında belirgin bir farkın olmadığı görülmektedir. V kaynak ağzında birleştirmenin iki paso halinde olması ve X kaynak ağzında isi önlü arkalı olacak şekilde

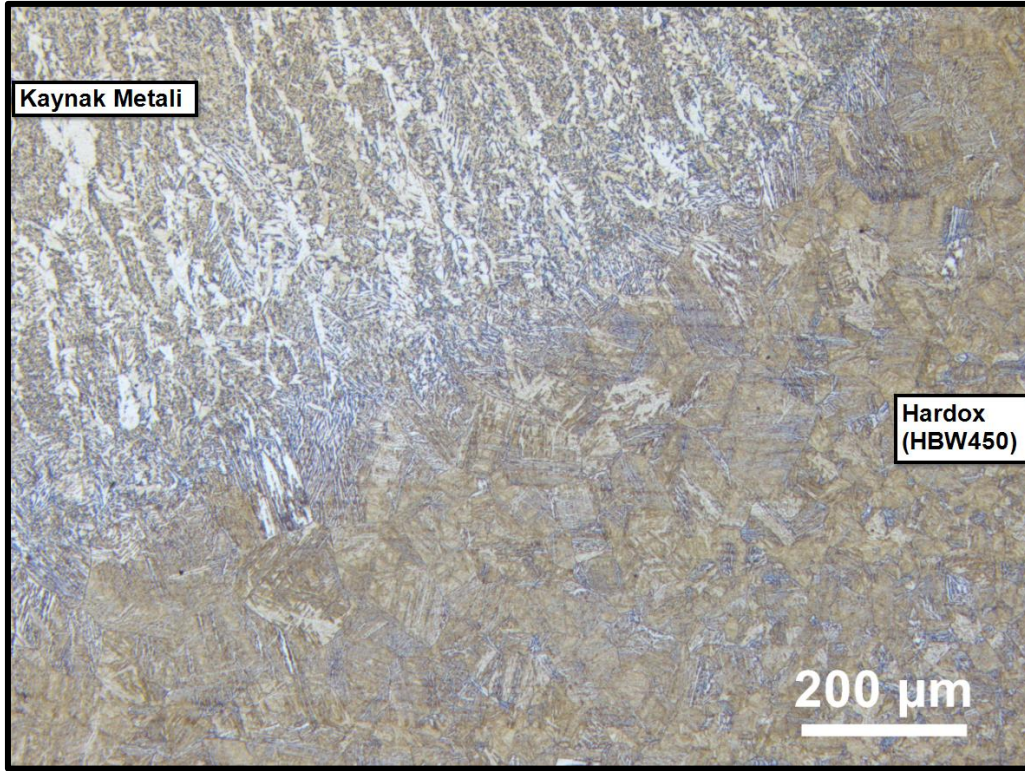
yine iki paso uygulanmış olması sebebi ile uygulanmış olan kaynak ısı girdileri birbirinin aynı olması sonucu kaynak metalinde oluşan taneler birbirine benzer bir hal almıştır. Bu sebeple kaynak metallerinin aynı görüntü sergilemesi normal karşılanmaktadır.



Resim 7.6. S355J2 malzeme X kaynak ağzı mikroyapı görüntüsü

HARDOX (HBW450) malzeme V kaynak ağzı geçiş bölgesi

Aşağıda Resim 7.7.'de V kaynak ağzına sahip Hardox (HBW450) malzemenin kaynak işlemi sonrası elde edilen kaynak metali-ana malzeme geçiş bölgesi mikroyapısı görülmektedir. Elde edilen görüntü incelendiğinde kaynak metali-ana malzeme geçiş bölgesi net bir şekilde görülebilmektedir. Kaynak metalinde elde edilmiş olan mikroyapının ana malzemenin mikroyapısında hayli farklı olduğu ve uzunlamasına dendritler şeklinde ana malzemenin tanelerinin bir devamı şeklinde kaynak metali merkezine doğru yöneldiği görülmektedir. S355J2C malzemesinden farklı olarak Hardox metalinin iğnemsisi ve martenzitik yapıda olması malzemeye sertlik katarken, bu yapının ana metal üzerinde mevcut durumunu koruduğu gözlemlenirken kaynak metali ve ana metal birleşiminde farklı bir mikroyapı oluşumunu gözlemlmek mümkündür. Yine görüntü incelendiğinde geçiş bölgesinin ana malzeme tarafında bir ITAB oluşumunun varlığı göze çarpmaktadır. Oluşan bu mikroyapıda ferrit miktarı ve tane boyutunun ısı girdisi ile arttığı gözlemlenmiştir. Bu sayede kaynak geçiş bölgesi ana malzemeye kıyasla daha sünek bir yapı oluşturmuştur.

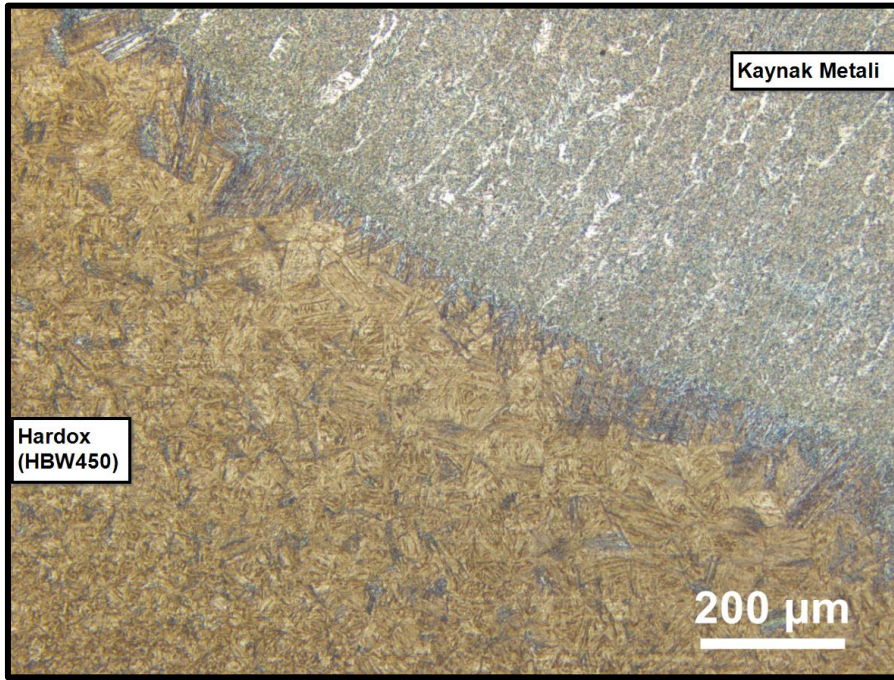


Resim 7.7. HBW450 malzeme V kaynak ağzı mikroyapı görüntüsü

HARDOX (HBW450) malzeme X kaynak ağzı geçiş bölgesi

Aşağıda Resim 7.8.'de X kaynak ağzına sahip Hardox (HBW450) malzemenin kaynak işlemi sonrasında elde edilen kaynak metali-ana malzeme geçiş bölgesi mikroyapısı görülmektedir. Verilen görüntü incelendiğinde kaynak metali-ana malzeme geçiş bölgesi net bir şekilde belli olmaktadır. Kaynak metalinde elde edilmiş olan mikroyapının ana malzemenin mikroyapısından hayli farklı olduğu ve uzunlamasına dendritler şeklinde ana malzemenin tanelerinin bir devamı şeklinde kaynak metali merkezine doğru yönlendiği görülmektedir. Bu yönelme, V kaynak ağzında olduğu gibi katılaşmanın ana malzeme tarafında başlayıp ısı yoğunluğunun en fazla olduğu dolayısıyla en geç katılaşacak olan kaynak metali merkezine doğru olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ısı girdisine maruz kalan alanlarda mikroyapının değiştiği gözlemlenirken kaynak geçiş bölgesinin ana malzeme tarafında ITAB oluşumunun varlığı göze çarpmaktadır. Oluşan bu mikroyapıda ferrit miktarı ve tane boyutunun ısı girdisi ile arttığı gözlemlenmiştir. Bu sayede kaynak geçiş bölgesi ana malzemeye kıyasla daha sünek bir yapı oluşturmuştur.

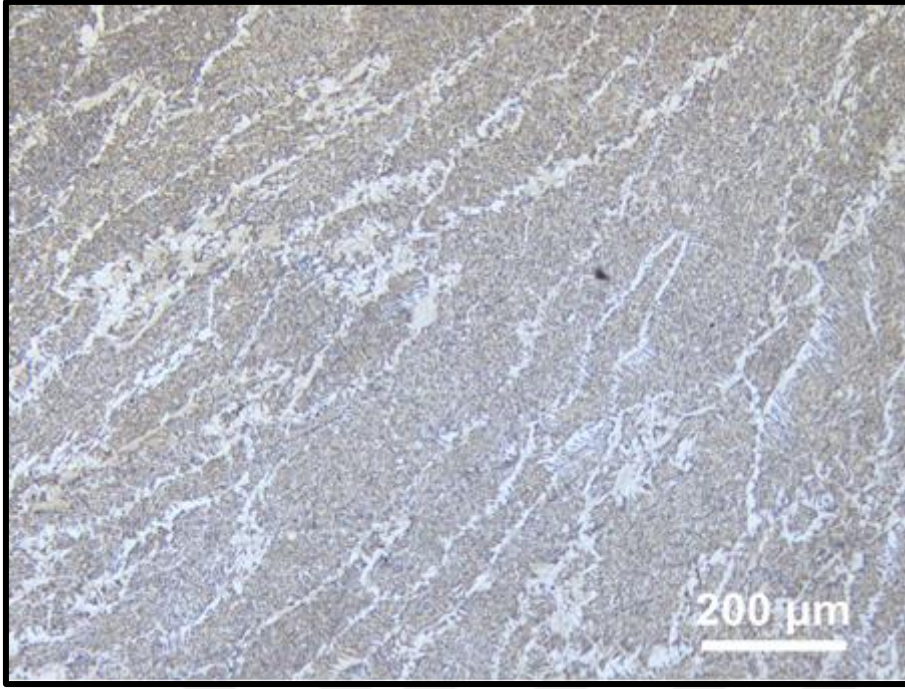
Yukarıda verilmiş olan Hardox (HBW450) V kaynak ağzı ile Hardox (HBW450) X kaynak ağzı geçiş bölgeleri kıyaslandığında aralarında belirgin bir farkın olmadığı görülmektedir. Tıpkı S355J2 malzemesinde olduğu gibi V kaynak ağzında birleştirmenin iki paso halinde olması ve X kaynak ağzında isi önlü arkalı olacak şekilde yine iki paso uygulanmış olması sebebi ile uygulanmış olan kaynak ısı girdileri birbirinin aynı olması sonucu kaynak metalinde oluşan taneler birbirine benzer bir hal almıştır. Bu sebeple kaynak metallerinin aynı görüntü sergilemesi normal karşılanmaktadır.



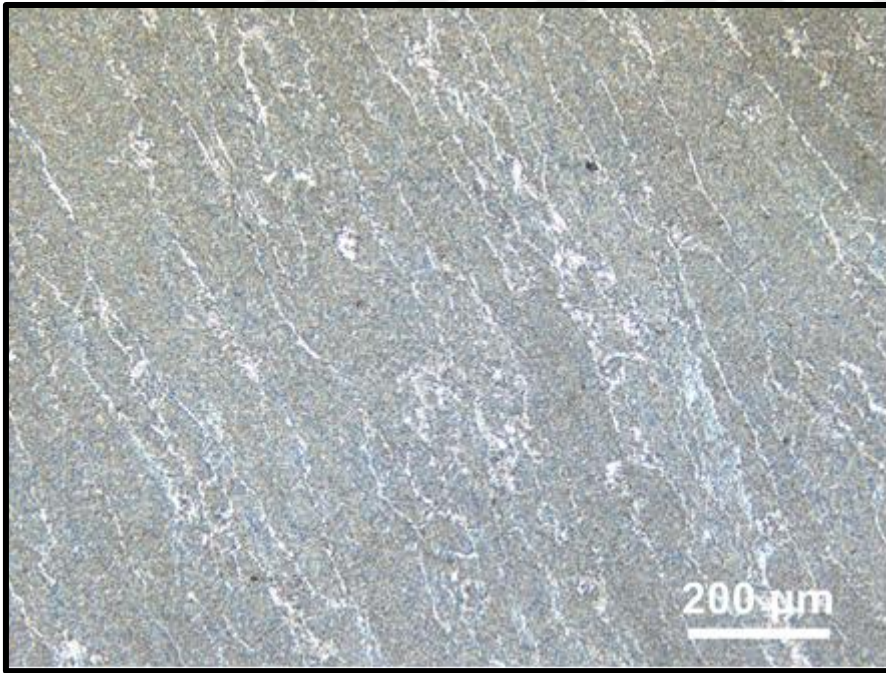
Resim 7.8. HBW450 malzeme X kaynak ağzı mikroyapı görüntüsü

V ve X kaynak ağzı kaynak metali merkezler

Resim 7.9’da V kaynak ağzı ve Resim 6.10’da ise X kaynak ağzı açılarak birleştirilmiş malzemelerin kaynak metalleri mikroyapıları görülmektedir. Genel olarak verilmiş olan görüntülere bakıldığında her ikisinin de benzer görüntüde olduğu, katılaşmanın ana malzeme tarafından başlayarak kaynak metali merkez çizgisine doğru olması sebebi ile tanelerin kaynak metali merkezine doğru yönlendiği açıkça görülmektedir. Ayrıca, uygulanan paso sayıları sonucu ısı girdilerinin birbirlerine yakın olmaları nedeniyle mevcut tanelerin yaklaşık olarak aynı boyutta olduğu ve dendritler halinde katılaşmanın gerçekleştiği yine görüntülerden anlaşılabilmektedir.



Resim 7.9. V kaynak ağızı kaynak metali merkezi



Resim 7.10. X kaynak ağızı kaynak metali merkezi



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı kaynak hızı ve farklı kaynak ağızlarına sahip, Robotik MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen S355J2 ile Hardox HBW450 malzemelerinden oluşan numunelere yapılan eğme testi, çekme testi, sertlik testi ve mikroyapı incelemesinin sonuçlarının araştırıldığı bu deneysel çalışmadan aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

8.1. Sonuçlar

1. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri ile elde edilen birleştirmeler neticesinde, numuneler kendilerinden beklenen özellikleri sergilemişlerdir. Deneylerde kullanılan iki farklı malzeme birbirleri ile sorunsuz bir şekilde birleştirilmiştir.
2. Kaynak kepi içeride ve dışarıda olacak şekilde yapılan eğme testi sonucunda görsel muayene yapılmış, kaynak bölgesinde ve ana malzemeler üzerinde herhangi bir çatlak veya birleşme hatasına rastlanmamıştır.
3. Yapılan çekme testi sonucunda bütün numuneler, mekanik özellikleri HBW450 malzemesine göre daha zayıf olan S355J2 ana malzemesinden kopmuştur. Bütün numunelerde kaynak bölgesi bir hata içermediğinden kopma işlemleri mukavemet değerleri düşük olan malzemedan gerçekleşmiştir.
4. Çekme testinde elde edilen akma ve çekme değerlerinin, kopma şekillerinin ve deformasyon miktarlarının birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir.
5. Kullanılan kaynak parametrelerinin V ve X kaynak ağızı açılmış numunelerde birbirine yakın olması soğuma şartlarının da aynı olması nedeniyle birleştirmelerden elde edilen sertlik değerlerinin benzer olmasına neden olmuştur.
6. Numuneler üzerinde, en fazla sertlik HBW450 üzerinde en az sertlik ise S355J2 malzemesinde ölçülmüştür. Kaynak metalinin sertlik değeri bu iki malzemenin sertlik değerlerinin yaklaşık olarak ortalaması olarak tespit edilmiştir. Kaynak metalinin sertlik değeri sert olan ana malzemedan (HBW450) düşük, sertliği düşük olan ana malzemedan (S355J2) yüksek olarak tespit edilmiştir.
7. Açılan X ve V kaynak ağızları neticesinde, X kaynak ağızına ön yüzey ve arka yüzeyden birer olmak üzere iki paso, V kaynak ağızına ise kök paso ve kapak paso olmak üzere iki paso kaynak atılmıştır. Isı girdi değerlerinde kayda değer bir fark gözlemlenmediği için mikroyapı olarak da tane yapılarında kayda değer bir fark gözlemlenmemiştir.

8. Kaynak hızının yüksek olduğu durumdaki ısı girdisi, kaynak hızının düşük olduğu duruma göre daha az olmuştur. Isı girdisinin fazla olduğu kaynaklı birleşim üzerinde soğuma daha çok uzun sürerken, ısı girdisinin az olduğu kaynaklı birleşim üzerinde soğuma daha hızlı olmuştur. Bu da kaynaklı birleşimin sertliğini etkilemiştir. Ayrıca bu durum çekme testi sonuçlarına az da olsa etki etmiştir. Neticede kaynak hızının yüksek olduğu durumda ısı girdisi daha düşük olduğu için kaynaklı birleşim çok az miktarda daha fazla sertlik kazanmıştır.

8.2. Öneriler

1. Hardox aşınma plakası ile S355J2 plakanın köşe kaynağı ile birleştirilmesindeki mekanik test sonuçlarına bakılarak kaynak hızlarının bu kaynak tipindeki etkileri incelenebilir.
2. Kaynak hızının parametre olarak seçildiği gibi kaynak kalitesine etki eden bir başka parametre olan akım değeri parametre olarak seçilebilir. Bunun neticesinde kaynak kaliteleri kıyaslanabilir.
3. Daha ince ya da daha fazla kalınlığa sahip farklı cins plakaların kaynakları ile aynı uygulamalar yapılabilir.
4. Hardox-S355J2 kaynaklı birleşim yerine, yine iş makineleri ataşmanlarında oldukça yaygın olarak kullanılan Weldox-S355J2 çalışması yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Anık, S., Tülbentçi, K., ve Kaluç, E. (1991). *Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağı*. İstanbul: Gedik Holding Yayınevi, 1-24.
2. Oğuz, B. (1975). *Ark Kaynağı*. Türkiye: Oerlikon Yayınevi, 1-9.
3. Akın, A. (2015). *Gazaltı Kaynak Parametrelerinin Kaynak Mukavemetine Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2-10.
4. Anık, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı, 18-28.
5. Tülbentçi, K. (1990). *MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı, 91-120.
6. Vural, M., Piroğlu, F., Çağlayan, Ö. B., Uzgider, E. (2003). Yapı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 4(426), 4-40.
7. İnternet: Türk Standardı. (2019). Web: https://regbar.com/wp-content/uploads/2019/09/TS_EN_ISO_377.pdf, Son Erişim Tarihi 24.08.2021.
8. Vural, M., Piroğlu, F., Çağlayan, Ö. B., Uzgider, E. (2003). Yapı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 4(426), 47-51.
9. Oğuz, B. (1989). *Ark Kaynağı*, Türkiye: Oerlikon Yayınevi, 14-15.
10. Tama Y. S. (2016). *Çelik Yapılarda Kaynak Yöntemleri ve Donanımları*. Denizli: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Denizli Şubesi Yayını, 1-8.
11. Anık, S., ve Vural, M. (1988). *Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG)*, İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı, 10.
12. Durmuşoğlu, S. (2006). *Gazaltı Kaynağında Kaynak Kalitesine Tesir Eden Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-35.
13. Kayakök, V. (2009). *Tozaltı ve MAG Kaynak Yöntemlerinde Kaynak Ağzı- Nüfuziyet İlişkisinin İncelenmesi ve Ekonomik Yönden Kıyaslanması*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-62.
14. Anık, S., Anık, E. S., ve Vural, M. (2000). *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, İstanbul: Birsen Yayınevi, 496-500.

15. Karakoç, S. (2012). *Çeliklerde Gaz Altı Kaynağının Uygulanması ve Kaynağa Etki Eden Parametreler*, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 33-40.
16. Eryürek, İ. B. (2003). *Gazaltı Kaynağı*, İstanbul: Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., 25-27.
17. Oysu, M. (1996). *Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan MIG Kaynağının Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 20-33.
18. Minnick, W., H. (1996). *Gas Tungsten Arc Welding Handbook*, A.B.D: The Goodheart-Willcox Company, 5-23.
19. Dik, S. (2019). *TIG Kaynağında Akım Türü ve Kaynak Parametrelerinin Isıdan Etkilenen bölgeye Etkisi ve Tahribatsız Muayenesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 3-8.
20. Komaç, E. (2014). *Teknik Eğitim El Kitabı*. Türkiye: Kaynak Tekniği Ticaret A.Ş., 8-20.
21. Uzunonat Y. (2012). *TIG Kaynağı Uygulanmış Inconel 718 Malzemenin Darbe Dayanımının İncelenmesi*, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 11-21.
22. Anık, S., Tülbentçi, K. (2013). *Gazaltı Kaynak Tekniği*. İstanbul: Gedik Kaynak Sanayi Ticaret A.Ş., 7-11.
23. Türkkan, G. (2008). *Koruyucu Gaz Kaynağında (MIG/MAG) Gaz Debisinin Kaynak Nüfuziyeti ve Kaynak Hızına Etkisi*, Yüksek Lisan Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1-2.
24. Uluocak M. E. (2008). *Hardox 450 Çeliklerinin MAG Kaynak Bölgesi Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-7.
25. Tülbentçi, K. (1997). *MIG/MAG Gaz Altı Kaynak Yöntemleri*. İstanbul: Arctech Yayınları, 8-11.
26. Pires J. N., Loureiro A., Ferreşra T. G. P, Fernando B., Morgado J. (2001, July). Welding Robots. *IEEE Robotics Automation Magazine*, 10(2), 30-40.
27. İnternet: Hidromek. (2018). Web: <https://www.hidromek.com.tr/6/u/lastikli-yukleyiciler>, Son Erişim Tarihi: 13.02.2022.
28. İnternet: Atansamak. (2019). Web: <https://www.atasanmak.com/projeler/loader-kayakovasi>, Son Erişim Tarihi: 13.02.2022.

29. Tufanoğlu E. (2007). *P460-St52 Malzeme Çiftinin Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 13-15.
30. Şık, A. (2007). MIG/MAG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Çelik Malzemelerde İlave Tel Türleri ve Koruyucu Gaz Karışımlarının Eğmeli Yorulma Ömürlerine Etkilerinin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 769-777.
31. Şık, A. (2006). Yapı Çeliğinin (St 52-3) MIG/MAG Kaynağında Gaz Karışımlarının Çekme Dayanımı Özelliklerine Etkisi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 9-15.
32. Yüksekaya, U. (1996). *Çeliklerin Kaynağında Kaynak Kabiliyeti – Isıl İşlem İlişkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 63-66.
33. İnternet: Erdemir. (2020). Web: https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Yassi_Urun_Katalogu_2020_TR-4649.pdf, Son Erişim Tarihi 24.08.2021.
34. Ertürk, İ., Durukan, T., Şentürk, B., (2017). Çeliklerin Kaynağında Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikroyapı ve Özelliklerinin Tahmini, *%1 içinde X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 11-12.
35. Oğuz, B., (1993). *Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları*, İstanbul: Oerlikon, 709.
36. Yılmaz, T. *Masif ve Özlü Kaynak Telleri ile Birleştirilen HARDOX 400 Çeliklerinin Mekanik ve Mikroyapı Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 4-10.
37. İnternet: Cey-Tech. (2017). Web: <https://www.cej-tech.com/en/products/loader-attachments/gp-buckets>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2022.
38. İnternet: Hidromek. (2018). Web: <https://www.hidromek.com.tr/31/detay/hmk-640-wl>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2022.
39. Altınkök N., Uzun H. (1999). *Sert Dolgulu Mo-Ni Çeliginin Asınma Davranışına Dolgu Metalinin Etkisi*, MAMTEK 99 Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
40. Dai W.S., Chen L.H., Lui T.S. (2001). SiO₂ Particle Erosion of Spheroidal Graphide Cast Iron After Surface Remelting by The Plasma Arc Process. *Wear*, 201-210.
41. İnternet: Metaloks. (2017). Web: <https://www.metaloks.com.tr/urunler.aspx>, Son Erişim Tarihi 24.08.2021.

42. Holiday, D. B. (1993). *ASM Handbook Welding Brazing and Soldering*. Ohio: ASM International, 569-581.
43. Yılmaz, R., Gedikli, M., Barlas, Z. (2005). Hardox 400 Çeliğinin Sert Dolgu Kaynağında Paso Sayısının Sertliğe, Aşınmaya ve Mikroyapıya Etkisi. *Technology*, 8(1), 56-64.
44. Yılmaz, R., Türkmen, M. ve Fıçıcı, F. (2012). *Hardoks 500 Çeliğinin Abrasif Aşınma Davranışının İncelenmesi*. Uluslararası Demirçelik Sempozyumu, Karabük, 523.
45. Metlioğlu, M.R., Ermurat, M. (2012). *Yüksek Aşınma Direncine Sahip Malzemelerin Plazma Arkı Yöntemi ile Kesilmesinde Kesme Yüksekliği ve İlerleme Hızı Faktörlerinin Kesmeye Etkisinin Araştırılması*. Uluslararası Demirçelik Sempozyumu, Karabük, 756-761.
46. İnternet: SSAB. (2022). Web: <https://www.ssab.com/tr-tr/markalar-ve-urunler/hardox/product-program>., Son Erişim Tarihi 24.08.2021.
47. İnternet: Metaloks. (2014). Web: <https://www.asinmazcelik.com/hardox.html>, Son Erişim Tarihi 24.08.2021.
48. İnternet: SSAB. (2022) Web: <https://www.ssab.com.tr/products/brands/hardox/products/hardox-450>., Son Erişim Tarihi 24.08.2021.
49. Türk, M. (2021). *S355J Çeliğinin MAG Yöntemleriyle Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz ve Kaynak Telinin Mukavemete Dikiş Geometrisine Etkisi ve Mikroyapı Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, 21-40.
50. Kahraman, N., Gülenç, B. (2016). *Modern Kaynak Teknolojisi*, Ankara: EPAMAT Basım Yayın Promosyon San. Ltd. Şti., 329-331.
51. İnternet: Askaynak. (2010). Web: https://www.askaynak.com.tr/contents/268/20150625092602_askaynak-as-mig-sg2.pdf, Son Erişim Tarihi: 05.02.2022.
52. Korkmaz, Ş., Çetin, M. H., Adar, M., Orak, A. (2020). GMAK Yöntemi ile Birleştirilmiş HARDOX500-St52 Numunenin Çekme Dayanımı ve Sertlik Davranışlarının İncelenmesi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 300-310.
53. Adar, M. (2019). *HARDOX500 ile St-52 Çeliğinin Kaynak Edilebilirliğinin Mekanik Testler ve İstatistiksel Yöntemlerle Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

54. Abioye, T. E., Ariwoola, O. E., Ogedengbe, T. I., Farayibi, P. K., and Gbadeyan, O. O. (2019). Effects of Welding Speed on the Microstructure and Corrosion Behavior of Dissimilar Gas Metal Arc Weld Joints of AISI 304 Stainless Steel and Low Carbon Steel, *Materials Today*, 871–877.
55. Nie, F., Dong, H., Chen, S., Li, P., Wang, L., Zhao, Z., Li, X., and Zhang, H. (2018). Microstructure and Mechanical Properties of Pulse MIG Welded 6061/A356 Aluminum Alloy Dissimilar Butt Joints. *Journal Of Materials Science And Technology*, 34(3), 551–560.
56. Oktay, T., Najafigharehtapeh, A., Emre, H., E., Kaçar, R. (2015). *S235JR-HARDOX400 Çelik Çiftinin Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması*. 2. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu, Karabük, 5-8.
57. İbrahim, I. A., Mohamat, S. A., Amir, A., Ghalib, A., (2012). *The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) Processes on Different Welding Parameters*. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, Malaysia, 1502 – 1506.
58. Kaya, Y. (2018). S235JR ile S355JR Yapı Çeliklerinin Özlü Tel Elektrotla MAG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 21(3), 597-602.





GAZİ GELECEKTİR..