

**HARDOX-500 İLE ST-52 ÇELİĞİNİN KAYNAK
EDİLEBİLİRLİĞİNİN MEKANİK TESTLER VE
İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE
ARAŞTIRILMASI**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Muhammed ADAR

**HARDOX-500 İLE ST-52 ÇELİĞİNİN KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN
MEKANİK TESTLER VE İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE
ARAŞTIRILMASI**

Muhammed ADAR

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

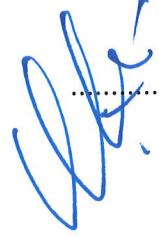
**Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Eylül 2019

Muhammed ADAR tarafından hazırlanan “HARDOX-500 İLE ST-52 ÇELİĞİNİN KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN MEKANİK TESTLER VE İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğretim Üyesi Muhammet Hüseyin ÇETİN
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/09/2019

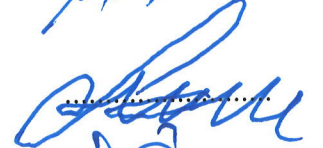
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

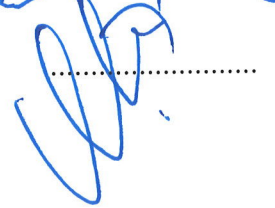
Başkan : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)



Üye : Dr. Öğretim Üyesi Fuat KARTAL (KÜ)



Üye : Dr. Öğretim Üyesi M. Hüseyin ÇETİN (KBÜ)



...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





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

Muhammed ADAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HARDOX-500 İLE ST-52 ÇELİĞİNİN KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN MEKANİK TESTLER VE İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

Muhammed ADAR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Hüseyin ÇETİN

Eylül 2019, 65 sayfa

Endüstriyel uygulamalarda ve mühendislik tasarımlarında yüksek mukavemet, aşınma ve korozyon direnci gibi farklı özelliklerin tek bir konstrüksiyonda elde edilebilmesi büyük önem taşımaktadır. Farklı özelliklerin sağlanması farklı malzemelerin bir arada kullanılması ile sağlanabilir. Böyle bir konstrüksiyonun elde edilebilmesinde en önemli parametre ise malzemelerin kaynak edilebilme kabiliyetidir. Malzemelerin kaynak edilebilme performansının belirlenebilmesi için deneysel çalışmalar ve görsel analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, Hardox-500 ve St-52 çeliklerinin farklı akım ve voltaj değerlerinde robotik ark kaynağı yöntemi ile kaynak edilebilme kabiliyeti araştırılmıştır. Kaynaklı bağlantıların mukavemet analizi için numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Deney sonunda numunelerin mikro sertlik değerleri Vickers (HV) yöntemi ile ölçülmüştür. Çekme testlerine tabi tutulan numunelerin SEM ve mikroyapı

görüntüleri incelenerek deformasyon karakteristikleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar ve görsel analiz sonucunda akım ve voltaj değerlerinin yüksek olduğu deney koşullarında kaynak bağlantılarının çekme eğrilerinin daha kararlı davranış sergilediği belirlenmiştir. Sertlik ölçümlerinden elde edilen değerler de çekme testlerinden elde edilen sonuçları doğrular niteliktedir.

Anahtar Sözcükler : Kaynak edilebilirlik, St-52, Hardox-500, Gazaltı kaynağı, amper, voltaj, MAG.

Bilim Kodu : 914.3.019



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF WELDABILITY OF HARDOX-500 AND ST-52 STEEL BY MECHANICAL TESTS AND STATISTICAL METHODS

Muhammed ADAR

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineer

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. M. Hüseyin ÇETİN

September 2019, 65 pages

In industrial applications and engineering designs, it is of great importance that different properties such as high strength, abrasion and corrosion resistance can be achieved in a single construction. The most important parameter in obtaining such a construction is the ability of materials to be welded. Experimental studies and visual analysis are needed to determine the welding performance of materials. In this study, the ability to weld Hardox-500 and St-52 steels with different current and voltage values by robotic arc welding method was investigated. Samples were subjected to tensile test for strength analysis of welded joints. Micro hardness values of samples were measured by Vickers (HV) method at the end of experiments. SEM and microstructure images of the samples that subjected to tensile tests were examined and deformation characteristics were determined. As a result of experimental studies and visual analysis, it was determined that tensile curves of welding connections

exhibited more stable behavior under experimental conditions where current and voltage values were high. The values obtained from the hardness measurements confirm the results obtained from the tensile tests.

Key Word : Weldability, St-52, Hardox-500, Gas Metal Arc Welding, Ampere, Voltage, MAG.

Science Code : 914.3.019



TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Muhammet Hüseyin ÇETİN ‘e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneilerin yapılmasında ve envanterlerin kullanılması konusunda yardımlarını esirgemeyen, DİSAN Hidrolik Makine Müdürü Serhat ÇETİNDAĞ’a, Ar-Ge Müdürü Tahir TEMELDAŐ’a ve deneylerinin yapılmasında yardımlarını esigemeyen Makine Teknikeri Birol ARABACIOĞLU’na teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca her zaman bana destek olan ve hiçbir yardımı esirgemedен yanımda olan sevgili aileme teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
ÇELİKLER	6
BÖLÜM 3	10
GAZALTI ARK KAYNAĞI	10
3.1. GAZALTI ARK KAYNAĞI TARİHÇESİ.....	10
3.2. GAZALTI ARK KAYNAĞININ AVANTAJLARI.....	11
3.3. GAZALTI ARK KAYNAĞININ DEZAVANTAJLARI.....	11
3.4. GAZALTI ARK KAYNAĞININ ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	12
3.5. GAZALTI KAYNAK DEĞİŞKENLERİ	15
3.5.1. Kaynak Akımı.....	16
3.5.2. Kutuplama.....	17
3.5.3. Ark Gerilimi (Ark Boyu)	18
3.5.4. Kaynak Hızı	19
3.5.5. Elektrot Açıları	21
3.5.6. Elektrot (Tel) Çapı.....	23
3.5.7. Kaynak Ağzı	24
3.5.8. Serbest Elektrot Uzunluğu.....	27

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	30
ROBOTİK KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	30
BÖLÜM 5	32
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
BÖLÜM 6	39
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	39
BÖLÜM 7	51
SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	52
EK AÇIKLAMALAR A	54
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Numaralı kalite grubuna giren çelik açıklaması	8
Şekil 2.2. Alaşımli çeliklerin gösterimi.....	9
Şekil 2.3. Alaşımli çeliklerin gösterimi.....	9
Şekil 2.4. Alaşımli çeliklerin gösterimi.....	9
Şekil 3.1. Gazaltı kaynağının prensibi.....	13
Şekil 3.2. Gazaltı kaynak donanımı	13
Şekil 3.3. Doğru kutuplama	18
Şekil 3.4. Ters kutuplama.....	18
Şekil 3.5. Gazaltı kaynak ark boyu	19
Şekil 3.6. Kaynak hızının kaynak dikişine etkisi	20
Şekil 3.7. Kaynak akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızının kaynak dikişine görünüşüne ve biçimine etkileri.....	21
Şekil 3.8. Hareket ve çalışma düzlemleri ve elektrot açıları.....	22
Şekil 3.9. Elektrot açısının ve kaynak tekniğinin etkileri	23
Şekil 3.10. Kaynak teliyle amper arasındaki ilişki.....	24
Şekil 3.11. Kaynak ağzı seçim tablosu	26
Şekil 3.12. Kaynak ağzında sivri ucun zararı ve uygulanması gereken metot.....	26
Şekil 3.13. Serbest tel uzunluğunun kaynak dikişine etkisi.....	27
Şekil 3.14. Çeşitli ark türlerinde uygun serbet tel uzunluğu	28
Şekil 3.15. Serbest elektrot uzunluğu azaldıkça nufüziyeti artırması	29
Şekil 4.1. Kaynak robotu çeşitleri.....	31
Şekil 5.1. Kaynak robotunun genel görüntüsü.....	34
Şekil 5.2. Kaynak robotunun ekipmanlarının gösterim.....	36
Şekil 5.3. Kaynaklanan ve üzerinden çekme numuneleri çıkartılan parçaya ait (a) üstten görünüş ve (b) perspektif teknik resimler.....	37
Şekil 5.4. Sertlik ölçüm noktaları.....	38
Şekil 6.1. Çekme deneyi sonuçları.....	41
Şekil 6.2. (a) 200 A ve 27,8 V, (b) 180 A ve 26,6 V, (c)180 A ve 27,2 V, (d) 180 A ve 27,8 V koşullarında elde edilen numuneler.....	41
Şekil 6.3. 180 A ve 26,6 V.....	41

Şekil 6.4. S/N oranları.....	48
Şekil 6.5. SEM görüntüleri: (a) St-52 baz malzeme, (b) Hardox-500 baz malzeme, (c) 180 A, 26,6 V kaynak bölgesi, (d) 200 A, 27,8 V kaynak bölgesi, (e) 180 A, 26,6 V ITAB bölgesi, (f) 200 A, 27,8	50
Şekil 6.6. OM'den elde edilen kaynak (b, e) ve St-52 (a, d) ile Hardox-500 (c, f) geçiş bölgesi görüntüleri.....	50
Şekil Ek A. 1. Malzemelerin kaynak sonrası izometrik görünümü.....	55
Şekil Ek A. 2. Malzemelerin kaynak sonrası üstten görünümü.....	55
Şekil Ek A. 3. Malzemelerin kaynak sonrası teknik resim görünümü.....	56
Şekil Ek A. 4. Kaynatılmış malzemelerden numune parçaların kesimi aşamasının teknik resim görünümü.....	57
Şekil Ek A. 5. Kaynatılmış malzemelerin numune parçaların kesimi bittikten sonra geriye kalan malzemenin izometrik görünümü.....	58
Şekil Ek A. 6. Kaynatılmış malzemelerin numune parçaların kesimi bittikten sonra geriye kalan malzemenin üstten görünümü.....	58
Şekil Ek A. 7. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının izometrik görünümü. .	59
Şekil Ek A. 8. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının üstten görünümü.	59
Şekil Ek A. 9. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının teknik resim görünümü.	60
Şekil Ek A. 10. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının izometrik görünümü. .	61
Şekil Ek A. 11. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının üstten görünümü.	61
Şekil Ek A. 12. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının teknik resim görünümü.....	62
Şekil Ek A. 13. Kaynak çekmesini önlemek için kaynatma yönünün tersine konulan destek lamasının teknik resim görünümü.....	63
Şekil Ek A. 14. Kaynak ağzını ölçülere uygun şekilde açılabilmesi için kaynak ağzı açma aparatının teknik resim görünümü.....	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Çelik gruplarına ait fiziksel özellikler.....	8
Çizelge 2.2. Çelik gruplarına ait kimyasal özellikler	8
Çizelge 5.1. St52'nin kimyasal bileşenleri.....	32
Çizelge 5.2. Hardox 500'ün kimyasal bileşenleri	33
Çizelge 5.3. Malzemelerin fiziksel özellikleri	33
Çizelge 5.4. Koruyucu gaz özellikleri.....	33
Çizelge 5.5. Kaynak telinin kimyasal özellikleri	33
Çizelge 5.6. Kaynak telinin fiziksel özellikleri.....	33
Çizelge 5.7. Kaynak robotunun modeli ve özellikleri.....	35
Çizelge 5.8. Kaynak robotunun ekipmanları.....	35
Çizelge 5.9. Kaynak parametreleri.....	36
Çizelge 5.10. Tam faktöriyel deney tasarımı	37
Çizelge 6.1. 180 A akımda kaynak bölgesi sertliğinin değişimi	43
Çizelge 6.2. 190 A akımda kaynak bölgesi sertliğinin değişimi	44
Çizelge 6.3. 200 A akımda kaynak bölgesi sertliğinin değişimi	45
Çizelge 6.4. Gerilme parametresi için ANOVA sonuçları.....	46
Çizelge 6.5. Sertlik parametresi için ANOVA sonuçları	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$Cr_{eş}$: krom eşdeğerliliği
$Ni_{eş}$: nikel eşdeğerliliği
Al	: alüminyum
Ar	: argon
He	: helyum
CO_2	: karbondioksit
S	: kükürt
Si	: silisyum
C	: karbon
P	: fosfor
Fe	: demir
Mn	: manganez
Mo	: molibden
Cr	: krom
B	: bor
Cu	: bakır
Ni	: nikel
V	: vanadyum
W	: tungsten
erf(z)	: hata işlevi
γ	: birim hacim ağırlığı
$\Gamma(x)$: gama işlevi
θ	: kutupsal açı
σ	: normal gerilme
σ_c	: tek eksenli basınç dayanımı

KISALTMALAR

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
- SAE : Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu)
- ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
- AWS : American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)
- DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
- EN : European Norm (Avrupa Normu)
- IIW : International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)
- ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
- TS : Türk Standardı
- MIG : Metal Inert Gas (Metal Asal Gaz Korumalı)
- MAG : Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz Korumalı)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kaynak bağlantıları endüstriyel olarak büyük önem taşımakta ve kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Gemi inşaatı, basınçlı kaplar, demiryolları, damper ve vinç imalatları gibi özellikle ağır sanayi sektöründe kullanılan makine sistemlerinde bağlantıların büyük çoğunluğu kaynak işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Ağır sanayi makinelerinde oluşan masif gerilmeler, yüksek mukavemetli malzemeler ve bağlantılar ile karşılaşmaktadır. Fakat yüksek mukavemetli malzemelerin maliyet ve temin edilebilirlik problemi farklı malzeme çiftlerinin birlikte kullanılabilirliği yaklaşımını doğurmaktadır. Konstrüktif uygulamalarda, aşınma ve mukavemet ihtiyacının yüksek olduğu durumlarda yüksek mukavemete sahip bir malzemenin kullanımı, aşınma ve gerilmenin nispeten düşük olduğu yakın çevre konstrüksiyonda ise mukavemet ve maliyet açısından daha uygun bir malzemenin kullanımı tercih edilebilir.

Çelikler kolay temin edilebilirliği, ekonomik olması, element takviyesiyle alaşımlandırılarak veya ısıtma işlem metotları uygulanarak istenilen mekanik özelliklerin kolaylıkla elde edilebilmesine imkân sağlaması sebebiyle sağlık sektöründen inşaat sektörüne kadar birçok sektörde yoğun kullanım alanına sahip malzemelerdir. Makine elemanları ve inşaat sektörü gibi yüksek mukavemet, aşınma ve korozyon direnci, sertlik, işlenebilirlik kabiliyeti gibi mekanik özelliklere ihtiyaç duyulan alanlarda iki farklı çeliğin birlikte kullanımı büyük önem taşımaktadır.

İki veya daha fazla malzemenin kullanılabilirliği için en uygun konstrüksiyonlardan birisi de ağır taşıtlardır. Günümüzde ağır taşıtların şase ve damper imalatında ağırlıklı olarak Hardox serisi malzeme kullanılmaktadır. Hardox malzeme her ne kadar mukavemetli ve aşınma dayanımı yüksek olsa da maliyeti de bir o kadar yüksektir. Bu sebepten dolayı nispeten daha düşük aşınma ve gerilmelerin olduğu

bölgelerde, düşük mukavemet ve aşınma dayanımına sahip St-52 malzemesi tercih edilebilir.

Literatürde, düşük maliyetle yüksek mekanik performans elde edilebilmesi için iki farklı malzemenin kaynak edilebilirliğinin araştırıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Abioye vd., kaynak hızının AISI 304 paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik malzemelerinin gaz metal ark kaynak (GMAW) bağlantısının korozyon davranışı ve mikroyapısına etkisini incelemiştir. Sabit tel besleme hızı (84 mm/s), voltaj (22 V) parametrelerinde üç farklı kaynak hızı (3 mm/s, 4,5 mm/s, 6 mm/s) uygulanarak hazırlanan numuneler korozyon testine tabi tutulmuş ve kaynak bölgesinin mikroyapısı EDX analizi ile incelenmiştir. Analiz sonucunda düşük kaynak hızında bağlantı bölgesinin korozyon direncinin arttığı görülmüştür. EDX analizi sonuçlarına göre ise kaynak hızı arttıkça delta ferrit hacminin arttığı belirlenmiştir. [1].

Vijay vd., Al2024 ve Al6063 malzemelerinin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin bağlantı bölgesinin mekanik özelliklerine etkisini deneysel çalışmalar ve görüntü analizi ile incelemiştir. Voltaj, akım, kaynak ağzı açıklığı, gaz akış hızı parametreleri için üç farklı seviye belirlenmiş, parametre değişimlerinin bağlantı bölgesinin mekanik davranışına etkisi sertlik, çekme, korozyon testleri ve SEM görüntüleriyle analiz edilmiştir. Analiz sonucunda 0,5 mm- 1,5 mm kaynak ağzı açıklığı, 70-80 amper akım ve 18-20 lt/dk gaz akış hızı parametrelerinde daha yüksek kaynak kabiliyeti elde edilmiştir [2].

Sharma ve Dwivedi, P92 çeliği ve 304H östenitik paslanmaz çeliğinin A-TIG kaynağı ile birleştirilmesinde farklı kaynak tozlarının nüfuziyet derinliğine etkisini incelemiştir. Kaynak işlemi esnasında dört farklı kaynak tozu (Cr_2O_3 , MoO_3 , SiO_2 ve TiO_2) kullanılmış ve mikroyapı incelemeleri sonucunda en iyi penetrasyonu sağlayan kaynak tozunun TiO_2 olduğu belirlenmiştir. TiO_2 ile birleştirilen numunenin kaynak bölgesine yapılan çekme mukavemeti, darbe dayanıklılığı ve mikro sertlik testleri ile kaynak bölgesinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çekme testleri sonuçlarından, kaynak bölgesinin ana metale kıyasla daha yüksek çekme dayanımı (1042,6 MPa) gösterdiği ve numunenin 304H malzemesi (688,6 MPa) bölgesinden kırıldığı belirlenmiştir. Darbe dayanıklılık testinde ise kaynak

bölgesinde temperlenmemiş martensitik yapı oluşumu nedeniyle kaynak bölgesinin ana metale kıyasla daha düşük darbe mukavemeti göstermiştir [3].

Wang vd., MIG kaynağı ile birleştirilmiş 6N01S-T5 ve 7N01P-T4 alüminyum alaşımlarının ve kaynak bölgesinin mekanik ve mikroyapısal özelliklerini incelemiştir. Kaynak ısısının baz metale ve füzyon bölgesine etkisi mikro sertlik testi, çekme testi ve EBSD (Electron backscatter diffraction), TEM (Transmission Electron Microscopy) mikroyapı görüntüleri ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 6N01S-T5 alaşımında iki farklı ısıdan etkilenen bölgenin oluştuğu (HAZ) ve bu bölgelerden baz metal bölgesinin en düşük gerilme mukavemetine, füzyon bölgesinin ise en yüksek uzama miktarına sahip olduğu görülmüştür. 7N01P-T4 alaşımında bir HAZ bölgesinin oluştuğu, ayrıca bu bölgenin daha düşük mukavemet ve sünek davranış sergilemesinin yanı sıra baz metalle benzer sertlikte olduğu belirlenmiştir [4].

Nie vd., darbeli MIG kaynağı ile birleştirilmiş 6061-T6 ve A356-T6 alüminyum alaşımlarının kaynak bölgesinin mikroyapısal ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, kaynak işlemi farklı hareket hızlarında (8, 10, 12 ve 16 *mm/s*) fakat diğer kaynak parametreleri (tel besleme hızı, kaynak akımı, darbe süresi, darbe frekansı, kaynak voltajı) sabit tutularak gerçekleştirilerek hareket hızının kaynak bölgesine etkisi mekanik testler (çekme testi ve mikro sertlik ölçümü) ve mikroyapı (optik mikroskop, SEM, EPMA) görüntüleriyle analiz edilmiştir. Analiz sonucunda 12 *mm/s* hızda çekme mukavemeti ve mikro sertlik değerinin maksimum değere ulaştığı görülmüş, hareket hızı arttıkça çekme mukavemeti ve ergimiş bölge genişliğinin azaldığı gözlemlenmiştir [5].

Gökdaş, St 37 ile OPTİM 700 MC çeliğinin plazma ark kaynak yöntemi ile birleştirilebilme kabiliyetini araştırmıştır. Çalışmada farklı çelik çiftleri (ST 37- St 37, St 37- OPTİM 700 MC, OPTİM 700 MC - OPTİM 700 MC), farklı akım değerlerinde (90A,100A,110A,120A) ve sabit ilerleme hızında (0,15 m/sn) plazma ark kaynağı yöntemi ile birleştirilmiştir. Hazırlanan kaynaklı numuneler tahribatlı (çekme testi) ve tahribatsız muayeneler (penetrant muayene, radyografik muayene), mikrosertlik ölçümleri ve mikroyapı incelemeleri (SEM, XRD, EDS) ile analiz edilmiştir. Deneysel çalışmalar ve mikroyapı analizi sonuçlarına göre optimum akım

değerleri St 37- St 37 çelik çifti için 110A, St 37- OPTİM 700 MC çelik çifti için 120A, OPTİM 700 MC - OPTİM 700 MC çelik çifti için ise 110A olarak belirlenmiştir [6].

Mevcut çalışmaların büyük bir bölümünde alüminyum alaşımlarının ve paslanmaz çelik malzemelerin kaynak edilebilme kabiliyeti, bağlantı bölgesinin mekanik özellikleri ve mikroyapı analizleri ile incelenmiştir. Fakat ağır taşıtların imalatında kullanılan Hardox 500 malzemesinin kaynak edilebilme kabiliyetinin incelendiği yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada Hardox 500 ve St52 çeliğinin kaynak edilebilme kabiliyeti, kaynak bölgesinin mekanik davranışı ve mikroyapı özelliklerinin deneysel, istatistiksel ve görsel analizi ile incelenmiştir. İlk olarak voltaj ve akım parametreleri için üç farklı seviye belirlenmiş ve belirlenen parametre değerlerinde elde edilen numuneler çekme testi ve sertlik testine tabi tutulmuştur.

Deney sonrasında kaynak bölgelerinin SEM/OM görüntüleri elde edilerek mikroyapı oluşumları yorumlanmıştır. Ayrıca elde edilen deney sonuçlarına bağlı olarak S/N oranı belirlenerek deney esnasında kontrol edilemeyen cihaz kalibrasyonu, titreşim gibi faktörlerin sebep olduğu deneysel hata oranları belirlenmiştir. Voltaj ve akım parametrelerinin deney sonuçlarına etkisi ise ANOVA ile analiz edilerek, kaynak kabiliyetine en çok etki eden parametre belirlenmiştir. İstatistiksel analizler ve deney numunelerinden elde edilen yüzey görüntüleri kıyaslanarak yapılan analizlerin doğruluğu teyit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, çeliklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, adlandırılması ve sınıflandırılması anlatılmıştır. Yapı çeliklerini ve takım çeliklerini içine alan çelikler hakkında geniş literatür taraması yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, gaz altı ark kaynağı yönteminin uygulama prensibi ve kaynak parametreleri hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde robotik kaynak yönteminin etkilerinden ve özelliklerinden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, ilave metal, kaynak makinesi ve parametreleri, deney numunelerinin hazırlanması, kaynaklı bağlantılara uygulanan mekanik testler hakkında bilgi verilmiştir.

Altıncı bölümünde, kaynaklı numunelere uygulanan mekanik testler ve mikroyapı incelemelerinden elde edilen sonuçlar verilmiş olup, bu sonuçların literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Yedinci bölümünde ise, sonuçlar ve öneriler verilmiştir.



BÖLÜM 2

ÇELİKLER

Gelişen teknolojiyle birlikte üretim imkânlarının artmasıyla, farklı kalite ve boyutlarda çelik konstrüksiyonlar elde edilebilmektedir. Fakat yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı esnasında malzemeye etki eden gerilmelerin meydana getirdiği deformasyon ve titreşim genlikleri için öngörülen tolerans değerlerinin de dikkate alınması gerekmektedir [7].

Demir-karbon (Fe-C) alaşımı olan çelikler, karbon elementinin olumsuz etkileri sebebiyle konstrüksiyonların mekanik özelliklerini ciddi oranda sınırlandırmaktadır. Bu olumsuz etkiler aşağıdaki gibi sıralanabilir [8]:

1. Düşük korozyon direnci,
2. Yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemet,
3. Düşük aşınma direnci,
4. Düşük kaynak edilebilirlik kabiliyeti.

Ürün kalitesinin artırılabilmesi için çeliklerde C haricinde Si, V, Cr, Ni, Mo, Mn, W, Al gibi farklı elementlerle alaşımlama yapılmaktadır.

Alaşımlama işlemiyle, çeliklerin kullanım niteliklerinin (manyetik özellikler, süneklik, aşınma dayanımı, tokluk, sertleşebilme kabiliyeti, korozyon dayanımı, tane küçültme etkisi, elektriksel, dayanım, yüksek sıcaklık dayanımı, vs.) ve imalat özelliklerinin (sıcak şekillendirilebilirlik, soğuk şekillendirilebilirlik, kaynak kabiliyeti, talaşlı imalata elverişlilik, nitrülenebilirlik, dökülebilirlik, vs.) geliştirilmesi olasıdır [9].

Çelikler, maksimum %2,06 C içeren ve başka bir işlem yapılmadan şekillenebilen Fe-C alaşımlarıdır. Gerçekleştirilen ısıt işlemlerin mekanik özelliklerinde (sertlikleri, tane boyutları ve dayanımları) değişiklik yapılabilir. Çeliğin yapısının özellikle de sertliğinin değişmesinde en çok etki eden element karbondur ve çelik malzemeler diğer alaşım elementlerini de belirli oranlarda bulundurmaktadır. Çelik alaşımlarının mekanik özellikleri, kullanılan ısıt işleme ve çeliğin bileşimine göre farklılık göstermektedir [10]. Bütün çelik tiplerinde karbon önemli bir alaşım elementi olmakla birlikte çoğunlukla artan karbon oranıyla çekme mukavemeti artmakta, fakat tokluk yani darbelere karşı dayanma gücü azalmaktadır. Bunun gibi durumlarda düşük miktarlarda alaşım elementler olan manganez, nikel, krom, molibden, niobyum ve vanadyum eklenerek daha fazla tokluk elde edilebilir. Bu elementler ya teker teker ya da birlikte %0,02 ile %1,0 oranında eklenirler [11].

Çelikler farklı standartlara göre ayrılır ve kodlanır. Örneğin AISI ve SAE 4 veya 5 dijitten ibaret olan kodlama sistemi geliştirilmiştir. Bunlara göre sınıflandırma ve kodlama aşağıdaki şekildedir [12].

Çelik gruplarının fiziksel özellikleri Çizelge 1’de, kimyasal özellikleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

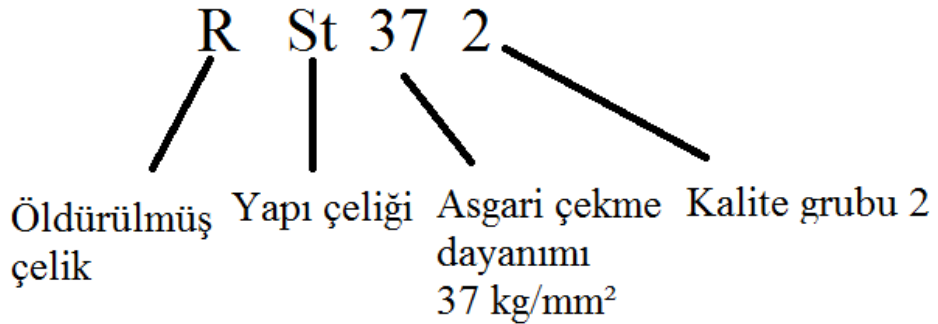
Çizelge 2.1. Çelik gruplarına ait fiziksel özellikler [9].

Sınıf (SAE/AISI)	Alaşım Elementleri	Yaygın Örnekler
10XX	C	1020,1040,1060
11XX	C,S (Otomat)	1120
2XXX	Ni	2130
3XXX	Ni+Cr	3140
4XXX	Mo+Cr+Ni	4140,4340
5XXX	Cr	5160
6XXX	V	6150
7XXX	W	7230
86XX	Ni+Cr+Mo	8620,8660
92XX	Si	9260

Çizelge 2.2. Çelik gruplarına ait kimyasal özellikler [11].

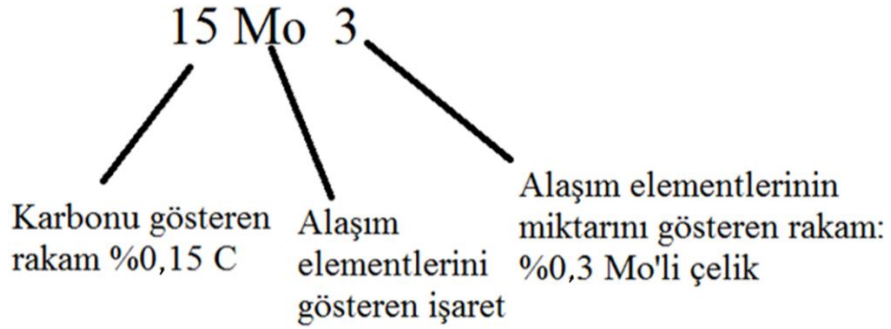
İşareti	Karbon Oranı (%)	Açıklamalar
St 33	Yaklaşık 0,1	Pek saf değildir.
St 34	Yaklaşık 0,1	Kaynağa duyarlı değildir. (Kolay kaynak edilebilir.)
St 37	Yaklaşık 0,15	
St 42	Yaklaşık 0,2	
St 50	Yaklaşık 0,3	Sadece özel önlemlerle kaynak edilebilir.
St 60	Yaklaşık 0,4	
St 70	Yaklaşık 0,55	

Çeliklerin kodlanmasına ilişkin örnek Şekil 2.1’de verilmiştir.

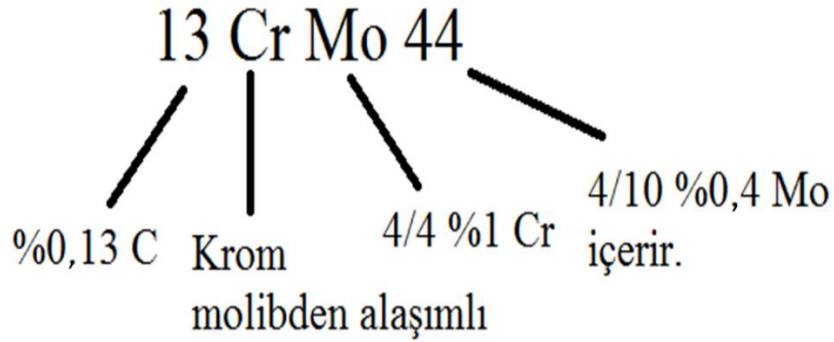


Şekil 2.1. Numaralı kalite grubuna giren çelik açıklaması [4].

Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te alaşımli çeliklerin gösterimi bulunmaktadır.

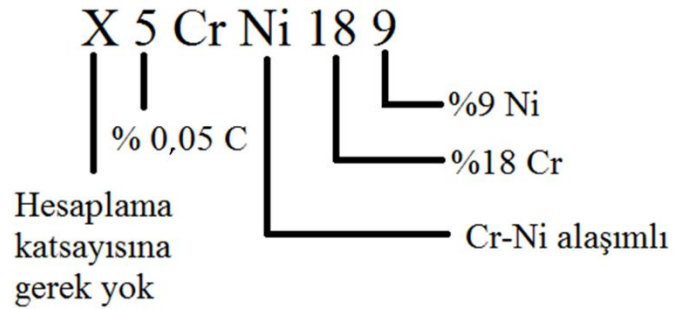


Şekil 2.2. Alaşımli çeliklerin gösterimi [11].



Şekil 2.3. Alaşımli çeliklerin gösterimi [11].

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi alaşımli çeliklerde manganez, krom ve nikel için hesap katsayısı 4; molibden ve vanadyum için hesap katsayısı 10'dur. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi rakamların X işareti varsa bir hesap katsayısına gerek kalmaz.



Şekil 2.4. Alaşımli çeliklerin gösterimi [11].

BÖLÜM 3

GAZALTI ARK KAYNAĞI

Gazaltı ark kaynağı, kaynak bölgesini dış etkenlerden çeşitli gazlarla koruyarak, metalleri elektrotla birbirine birleştiren bir kaynak yöntemidir. Koruyucu gazın etkisi kaynak arkını ve kaynak yerini koruyarak, kaynağın en az hata ile oluşturulmasına yardımcı olur. Kaynak yaparken kullandığımız gaz ve elektrot türü, yapılan kaynağın adını vermektedir. Gazaltı ark kaynağında, koruyucu gaz kaynak yapılan bölgenin atmosferle olan ilişkisini keserek, koruyucu gaz altında ve eriyen tel elektrot kullanılmaktadır. Elektrot genellikle bakır bir tel olup, elektrot besleme mekanizmasından kaynak bölgesine önceden ayarlanmış sabit hızla kaynak bölgesine aktarılır [13].

3.1. GAZALTI ARK KAYNAĞI TARİHÇESİ

MIG kaynağının ilerlemesi, 1947 yılında Amerikada ilk satın alınabilir kaynak makinasının üretilmesi ile başladı. O tarihteki adı S.I.G.M.A (Shielded Inert Gas Metal Arc) bugünkü adı olan MIG (Metal Inert Gas) kaynağı ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Argon o tarihte çok pahalı olduğu için bu yöntemi alışsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynatılmasında kullanılmıştır. Eriyen metal elektrot ve soy gaz kullanılmasından dolayı bu yöntem MIG kaynağı adı verilmiştir. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılmaya başlanması ilk olarak Rusya'da 1952 yılında denenmiş ve bugünkü MAG (Metal Active Gas) kaynağının temellerini atmıştır. Akım yoğunlukları ve çeşitli metallerin kaynatılmasında kullanılmaya başlanmasıyla bu kaynak yöntemi yayılmaya başlamıştır. Bazı ülkelerde bu kaynak yöntemlerinin isimleri değişebilmektedir. Örneğin Amerikada bu yöntem "GMAW-Gaz Metal Ark Kaynağı" denirken, İngiltere'de ve Almanya'da

ise "MIG/MAG Kaynağı" adı verilmektedir. Ülkemizde ise, "Ergiyen Elektrotla Gazaltı veya MIG/MAG Kaynağı" adları kullanılmaktadır [14,15].

3.2. GAZALTI ARK KAYNAĞININ AVANTAJLARI

Bu yöntemin yaygın olarak kullanılma sebebi diğer kaynak yöntemlerine göre sahip olduğu üstünlüklerdir. Bu üstünlükler ise aşağıda sıralanmıştır:

1. Metal ve alaşımların tümünün kaynağında kullanılabilmesi özelliğinden dolayı sürekli kullanılacak bir kaynak yöntemidir.
2. Elektrik ark kaynağı yönteminde karşılaşılan sınırlı elektrot uzunluğu problemi bu yöntemle aşılmıştır.
3. Aynı elektrik ark kaynağında olduğu gibi kaynak her pozisyon yapılabilir. Ama bu gazaltı kaynağında uygulanamaz.
4. Metal yığılma hızı elektrik ark kaynağından oldukça yüksektir.
5. Elektrik ark kaynağına göre kaynak hızının yüksek olmasının sebebi elektrot besleme hızı ve metal yığılma hızıdır.
6. Hiç durmadan uzun bir kaynak dikişi çekilebilmektedir.
7. Sprey iletim kullanılırsa, elektrik ark kaynağından daha derin nüfuziyet elde edilir. İç köşe kaynaklarında, daha küçük kaynak dikişleriyle aynı mukavemeti sağlayabilmek mümkündür.
8. Cüruf tabakasının daha az olması nedeniyle cürufun temizlenmesi için harcanan zaman azalmaktadır.

Bu üstünlüklerden dolayı gazaltı ark kaynak yöntemi yüksek üretim hızları için daha uygun hale gelmiştir [15].

3.3. GAZALTI ARK KAYNAĞININ DEZAVANTAJLARI

Bu yöntemin de diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Donanımı, elektrik ark kaynağına göre pahalı, karmaşık ve taşınması zordur.
2. Torcun, elektrik ark kaynağı pensesinden büyük olması ve kaynağın koruyucu gaz tarafından iyi bir şekilde korunması için torç ile malzeme arasında 10 ile 20 mm arasında bir boşluk bırakmak gerekmektedir. Ulaşılması güç yerlerde bu yöntemi kullanmak pek mümkün olmamaktadır.
3. Koruyucu gaz, kaynak arkını havadan koruduğu için bu yöntem kapalı alanlarda yapılması gerekmektedir. Açık alanlarda bu yöntemi uygulamak mümkün değildir.
4. Ark yoğunluğu nedeniyle çalışma anında yüksek şiddette ısı yayılması gerçekleşmektedir. Bu yüzden bazı kaynak operatörleri tarafından bu yöntem tercih edilmemektedir [15].

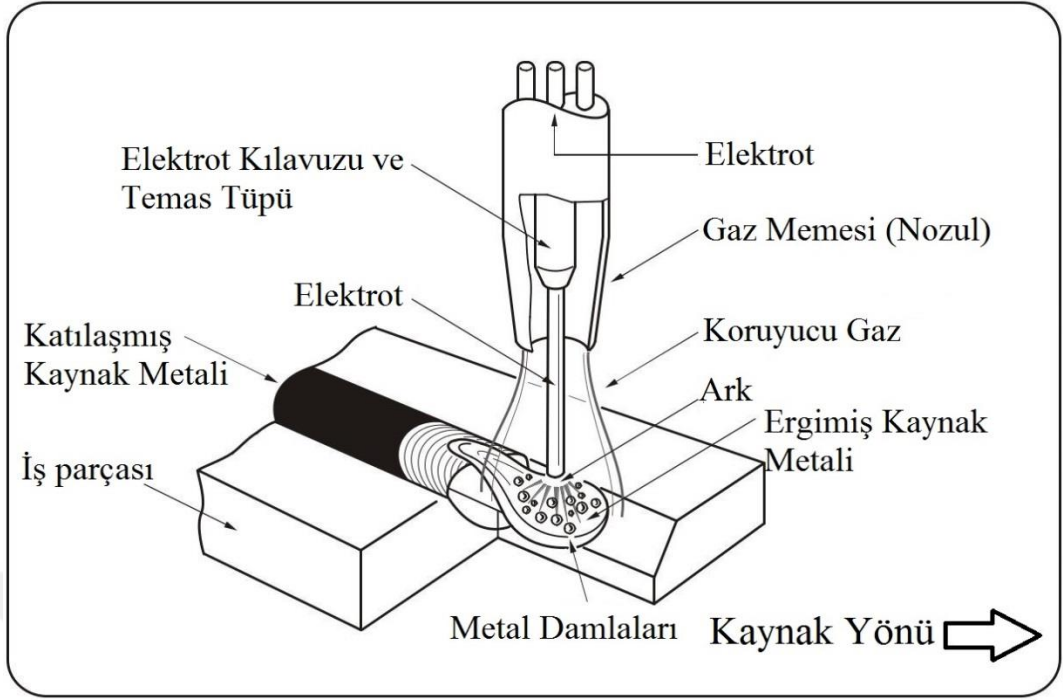
3.4. GAZALTI ARK KAYNAĞININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Dışarıdan sağlanan koruma gazıyla otomatik olarak sürekli beslenen ve ergiyen elektrot kullanılan bir kaynak yöntemidir. Şekil 3.1’de gazaltı kaynağının prensibi gösterilmiştir.

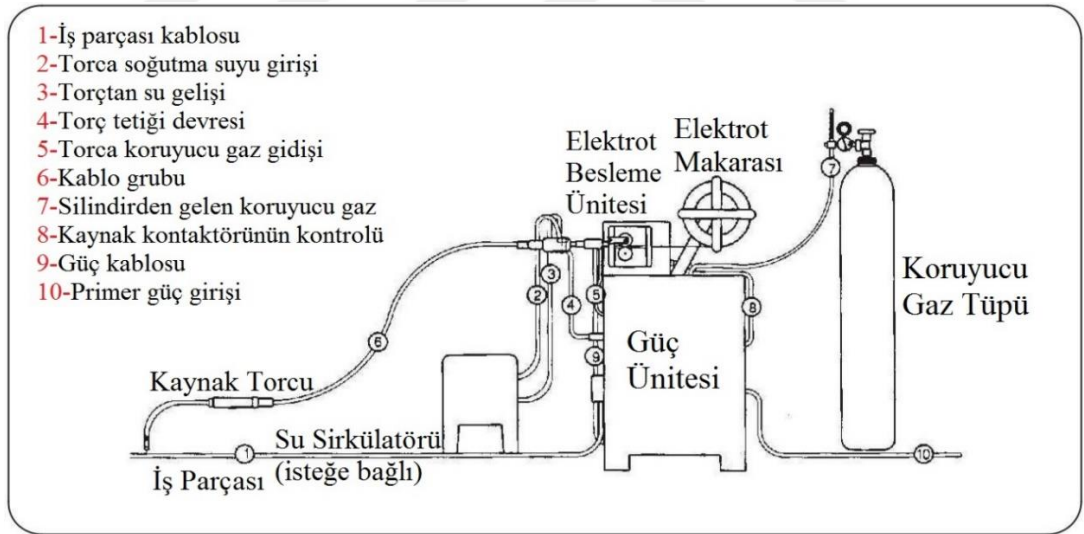
Kaynak operatörü tarafından ilk ayarlar yapılır ve arkın elektriksel karakteristiğini makine kendisi ayarlar. Yarı otomatik kaynak makinelerinde kaynakçının elle kontrol ettiği parametreler şunlardır;

1. Kaynak hızı,
2. Kaynak doğrultusu ve
3. Torcun pozisyonudur.

Gazaltı kaynağı için gerekli donanım Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Gazaltı kaynağının prensibi [15].



Şekil 3.2. Gazaltı kaynak donanımı [15].

Gazaltı kaynak ekipmanları 4 ana gruptan oluşmaktadır;

1. Torç ve kablo grubu,
2. Elektrot besleme ünitesi,
3. Güç ünitesi,
4. Koruyucu gaz ünitesi,

Torç ve kablo grubunun görevleri şunlardır [15];

1. Koruyucu gazı ark bölgesine iletmek,
2. Elektrotu temas tüpüne iletmek ve
3. Güç ünitesinden gelen akım kablosunu temas tüpüne iletmektir.

Kaynak torcunun tetiğine basıldığında koruyucu gaz, güç ve elektrot iletilerek ark oluşur. Ark boyunun ayarlanabilmesi için elektrot besleme ünitesiyle güç ünitesi arasında iki tür çözüm vardır. Bu iki çözüm arasında en çok bilineni ise sabit hızlı bir elektrot besleme ünitesi ile sabit gerilimli bir güç ünitesi “yatay gerilim-akım karakteristiği sağlayan güç ünitesi” kullanmaktır. İkinci çözümde azalan bir gerilim akım karakteristiği neden olur ve ark gerilimi yoluyla elektrot besleme ünitesinin besleme hızı kontrol edilir [15].

Eğer gerilimi ve sabit elektrot besleme hızını sabit tutarsak, torcun pozisyonundaki değişme kaynak akımının da değişimine neden olur. Kaynak akımında bir değişme olursa serbest elektrot uzunluğu değişerek ark boyunun sabit kalmasına neden olur. Torcun iş parçasından uzaklaşması halinde serbest elektrot uzunluğunda oluşan artma kaynak akımında azalmaya neden olur. Diğer çözümdeyse ark geriliminde meydana gelen farklılıklar elektrot besleme sisteminin kontrol devrelerini tekrar ayarlar ve bu sayede elektrot besleme hızı uygun bir şekilde değiştirilebilir [15].

3.5. GAZALTI KAYNAK DEĞİŞKENLERİ

Kaynağın nüfuziyetini, dikiş geometrisini ve kaynak kalitesini etkileyen kaynak değişkenleri aşağıda verilmiştir [15-17]:

1. Kaynak akımı
2. Kutuplama
3. Ark gerilimi (ark boyu)
4. Kaynak hızı
5. Elektrot açıları
6. Elektrot (tel) çapı
7. Kaynak ağızı
8. Serbest elektrot uzunluğu

Yeterli kalitede kaynak dikişlerini elde edebilmek için bu değişkenlerin etkilerini iyi ve tam anlamıyla anlamak, kontrol etmek gerekmektedir. Bu değişkenler birbirine bağımlı olup, değişkenlerden birini değiştirdiğimizde diğer değişkenlerin de birini ya da birkaçını değiştirmeliyiz. Yapılacak olan kaynaklarda en uygun parametreleri seçmek için yeterli tecrübe ve bilgiye sahip olmak gerekmektedir. En uygun kaynak parametrelerini seçebilmek için aşağıdaki faktörleri göz önünde bulundurmamız gerekmektedir.

1. Malzemenin cinsi,
2. Elektrodun türü,
3. Kaynağın pozisyonu
4. Kaynak bağlantısının kalitesinden beklentiler.

Yapılacak her kaynak için standart olarak en uygun parametre bulunamamaktadır. Her uygulama için farklı parametreler seçilmelidir [15].

3.5.1. Kaynak Akımı

Bir iletkenen geçen elektrik debisi ya da kısaca saniyede geçen elektrik miktarına denir. Birimi Amper (A) ve gösterimi I dır.

$$I= V/R$$

I= Akım,

V= Voltaj,

R= Dirençtir.

“Bir iletkenin bir yerinden bir saniyede 1 coulomb’luk elektrik ($6,24 \cdot 10^{12}$ elektron) geçerse, akım şiddeti 1 Amper’dir” [16].

Kaynak akımının şiddeti; kaynak dikişini, nüfuziyetini ve ergime miktarını etkileyen en önemli etkiye sahiptir. Bu parametre, otomatik olmayan kaynak makinelerinin üzerinde bulunan ufak bir düğme yardımıyla malzemenin kalınlığına ve türüne bağlı olarak kaynak operatörü tarafından rahatça ayarlanabilir. Otomatik kaynak makinelerinde ise bu parametre kaynak programı yapılırken kaynak programcısı tarafından girilir [15, 16]. Kaynak akım şiddetinin belirlenmesinde aşağıdaki değişkenlere dikkat edilmelidir;

1. Elektrodun türüne,
2. Elektrot çapına,
3. Akımın türüne,
4. Kaynak pozisyonuna,
5. Kaynak ağzının biçimine.

Diğer faktörler sabit tutularak kaynak akım şiddetinin artırılması durumunda, kaynak dikişinin nüfuziyeti ve boyutları artacaktır. Aşırı yükselmesi durumunda ise nüfuziyet aşırı derinleşerek kaynakta yanmalara ve kaynak dikişinin düzgünlüğünün kaybolmasına neden olacaktır. Diğer faktörler sabit tutularak kaynak akım şiddetinin azalması durumunda, kaynak dikişinin nüfuziyeti ve boyutları azalacaktır. Aşırı azalması durumunda ise çok zayıf bir nüfuziyete, ergimenin azlığına ve kaynak yığılmalarına neden olacaktır [17].

Kaynak akımı için gerekli olan elektrik akımı, elektrik şebekesinden alınır ama direkt kullanılamaz. Bunun sebebi ise şebekeden gelen elektriğin gerilimi yüksek ama şiddeti düşüktür. Oysa elektrik akımında kullanılacak gerilimin düşük fakat şiddetinin ise yüksek olması gerekir. Bunun nedeni ise yüksek gerilimlerin insanları öldürme etkisinin olmasıdır. Kaynak operatörünün kaynak makinesiyle olan teması düşünülürse bu durumun en önemli sebep olduğu söylenebilir. Kaynak akımının yüksek olmasının bir diğer gereği ise, elektrot çaplarına uygun akım değerinin sağlanabilmesidir. Bu sebeplerden dolayı kaynak makineleri şebekeden aldıkları elektrik akımını kaynak akımına dönüştürürler. Elektrik şebekesinden alınan kaynak akımı 220-380 volt gerilime sahipken, kaynak makinesi aracılığıyla 25-55 volt değerine akım ise 600 ampere yükseltilir. Kaynak akımı ikiye ayrılır;

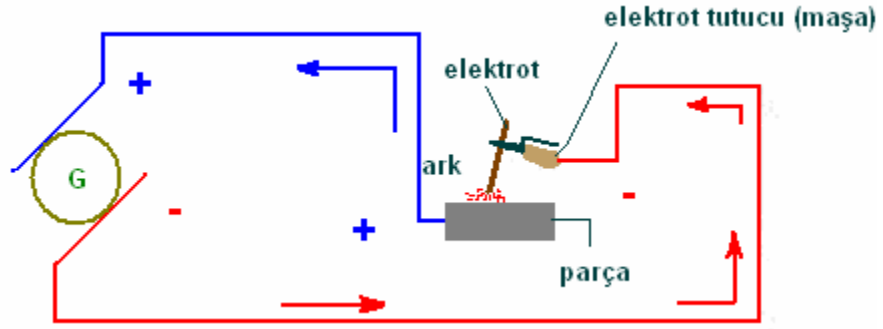
1. Doğru akım,
2. Alternatif akım [16].

3.5.2. Kutuplama

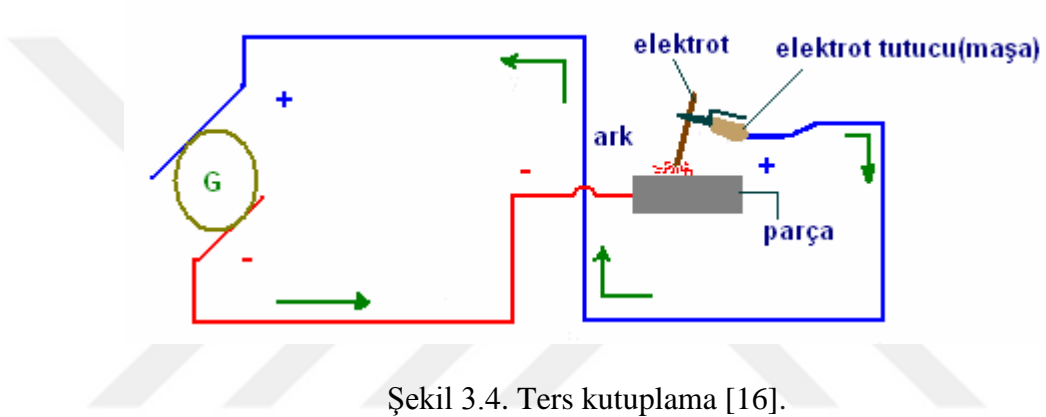
Doğru kutuplama ve ters kutuplamanın etkileri aşağıdaki gibidir;

1. Doğru akım ark kaynağında ve örtülü elektrot kullanılırsa, kutuplama kaynak dikişinin nüfuziyetini ve elektrodun erime gücünü önemli bir şekilde etkilemektedir.
2. Ters kutuplama kullanılırsa, doğru kutuplamaya nazaran daha derin bir nüfuziyet oluşacaktır.
3. Doğru kutuplama kullanılırsa da ters kutuplamaya nazaran elektrodun ergime gücü daha yüksek olacaktır.
4. Kutuplama türünü elektrodun türü belirlemektedir.
5. Doğru akım halindeki doğru ve ters kutuplamanın ortalaması kaynak dikişinin nüfuziyetini değerlendirir [16].

Şekil 3.3'te doğru kutuplama, Şekil 3.4'te ise ters kutuplama gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Doğru kutuplama [16].



Şekil 3.4. Ters kutuplama [16].

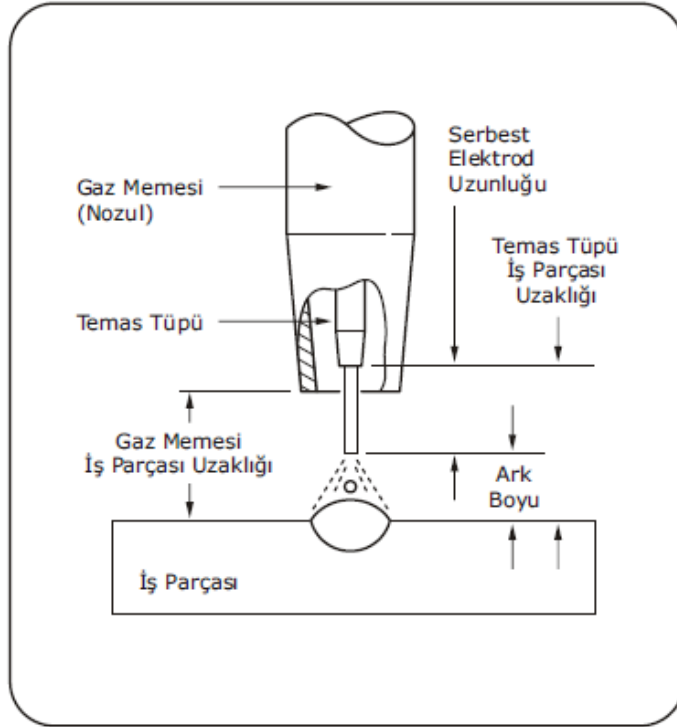
3.5.3. Ark Gerilimi (Ark Boyu)

Ark gerilimi ve ark boyu genellikle birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Fakat bu terimler birbirleri ile ilişkili olmakla birlikte farklı etkilere sahiptir. Gazaltı kaynağında ark boyuna dikkat edilmesi gerekmektedir. Örneğin koruyucu gaz olarak argon kullanılan bir ark çok kısa olursa, kısa devre oluşumu gerçekleşir. Oluşan bu kısa devreler yüzünden basınç değişimleri gerçekleşir ve bu durum ark sütununa hava pompalanmasına sebep olur. Ark sütununa hava girişi kaynakta gevreklik ve gözeneklilik oluşturur. Ark çok uzun olursa kaynak nüfuziyetini ve kaynak dikişini olumsuz etkiler ve uzun ark koruyucu gazın etkisini bozar. Bu duruma örnek verecek olursak; koruyucu gazı karbondioksit olan bir arkta, arkın uzun olması hem gözeneklere hem de aşırı sıçramaya neden olur [15, 16, 17].

Arkın boyunu herhangi bir değişkene bağlı olmadan değiştirebiliriz. Ancak ark gerilimi, arkın boyuna ve birçok değişkene bağlı olmaktadır. Ark gerilimi arkın boyu dışında aşağıdaki değişkenlere bağlıdır;

1. Elektrot apı ve cinsine,
2. Koruyucu gazın türüne,
3. Kaynağın tekniğine,
4. Kaynak kablosunun uzunluğuna [15-17].

Ark gerilimi, serbest elektrot uzunluğu boyunca gerilimi düşürmeyi sağlamaktadır. Gazaltı kaynağının ark boyu Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Gazaltı kaynak ark boyu [15].

3.5.4. Kaynak Hızı

Kaynak arkının ilerleme hızı kaynak hızı olarak adlandırılır. Hareket hızı azaldıkça kaynak yığılmaları ve dikiş üzerine kaynak metali taşması durumları oluşur. Elle yapılan kaynakta kaynak hızı kaynak operatörü tarafından ayarlanırken, otomatik

makineyle ya da kaynak robotuyla yapılan işlemlerde hızın ayarlanması önemli bir konudur [17].

Kaynak yığılmasının kaynak hızıyla olan ilişkisi aşağıdaki formülasyonla daha açık bir şekilde izah edilebilir [15]:

$$G_{(kg/m)} = 7.8 \cdot 10^{-4} \cdot h \cdot g \cdot d^2 \cdot (V_e / V_k)$$

G : Bir metre kaynak dikişi başına yığılan kaynak metali,

h : Sıçrama kayıplarını gözönüne alan yığılma verimi,

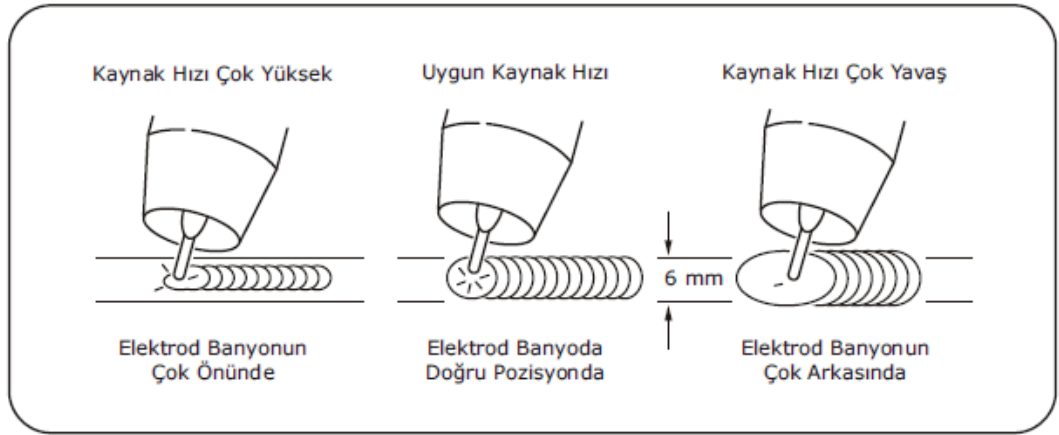
g : Elektrot malzemesinin yoğunluğu,

d : Elektrot çapı,

V_e : Elektrod besleme hızı,

V_k : Kaynak hızıdır.

Kaynak hızının çok yavaş olduğu işlemlerde, kaynağın arkı esas metal yerine ergimiş kaynak banyosu üzerinde yanar, nüfuziyetini azaltır ve daha geniş kaynak dikişi oluşturur [15]. Bu durum ise Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



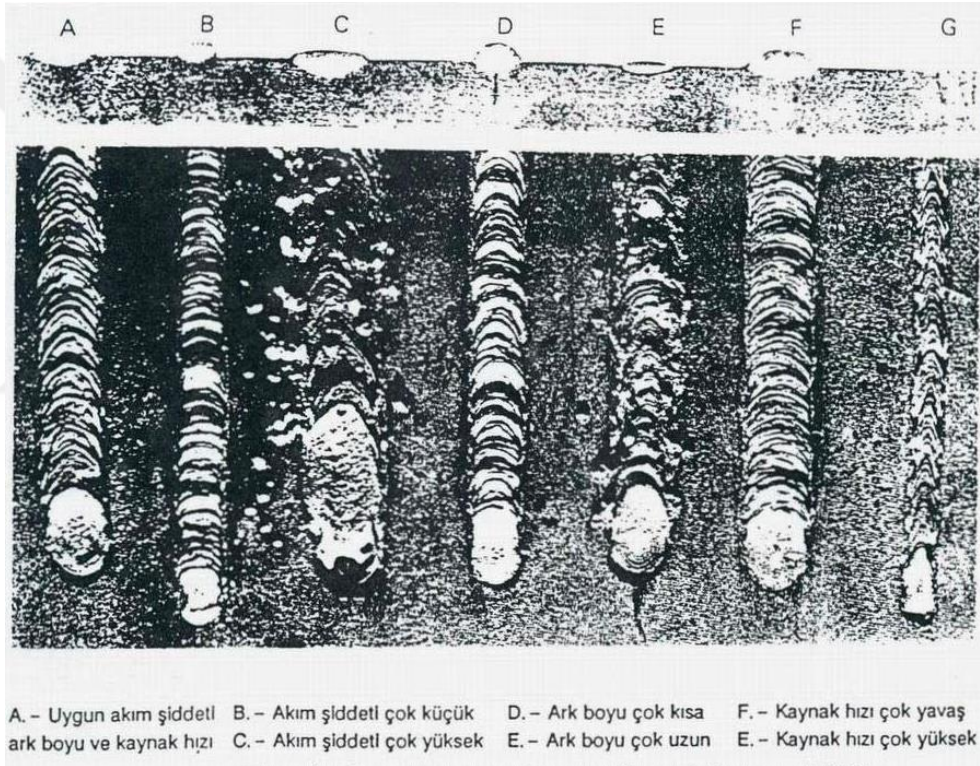
Şekil 3.6. Kaynak hızının kaynak dikişine etkisi [15].

Kaynak hızı kademeli olarak artırılırsa malzeme üzerinde etkileri şöyle açıklanabilir;

1. Kaynak hızı artırıldığında, ark malzemeye doğrudan etki ettiği için kaynak dikiş uzunluğunun başına artan malzemeye iletilen ısı enerjisi artar.

2. Kaynak hızı biraz daha artırıldığında, kaynak dikiş uzunluğunun başına malzemeye daha az ısı enerjisi verir. Böylelikle malzemenin ergimesi önce artar sonra da azalır.
3. Kaynak hızı biraz daha artırıldığında, arkın ergittiği yolu doldurmaya yeterli dolgu metali yığamayacak ve kaynak dikişinin kenarlarında yanma olukları meydana gelecektir [16].

Kaynak akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızının kaynak dikişi üzerinde etkileri Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

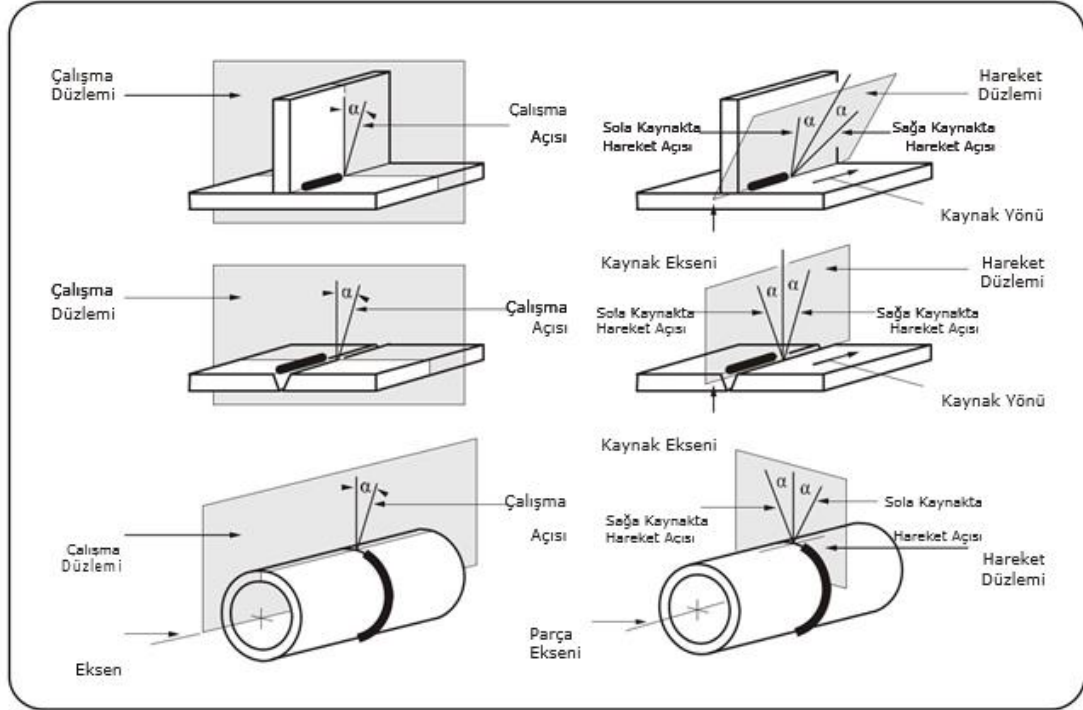


Şekil 3.7. Kaynak akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızının kaynak dikişine görünüşüne ve biçimine etkileri [16].

3.5.5. Elektrot Açılı

Diğer ark kaynaklarında olduğu gibi, elektrodun kaynak bağlantısına göre açılı kaynak dikişinin şeklini ve nüfuziyetini etkilemektedir. Elektrodun açısını tanımlayabilmemiz için iki düzlemin tanımını yapmamız gerekmektedir. Bu

düzlemler, çalışma düzlemi, hareket düzlemi ve elektrot açıları Şekil 3.8’de görülmektedir [15].



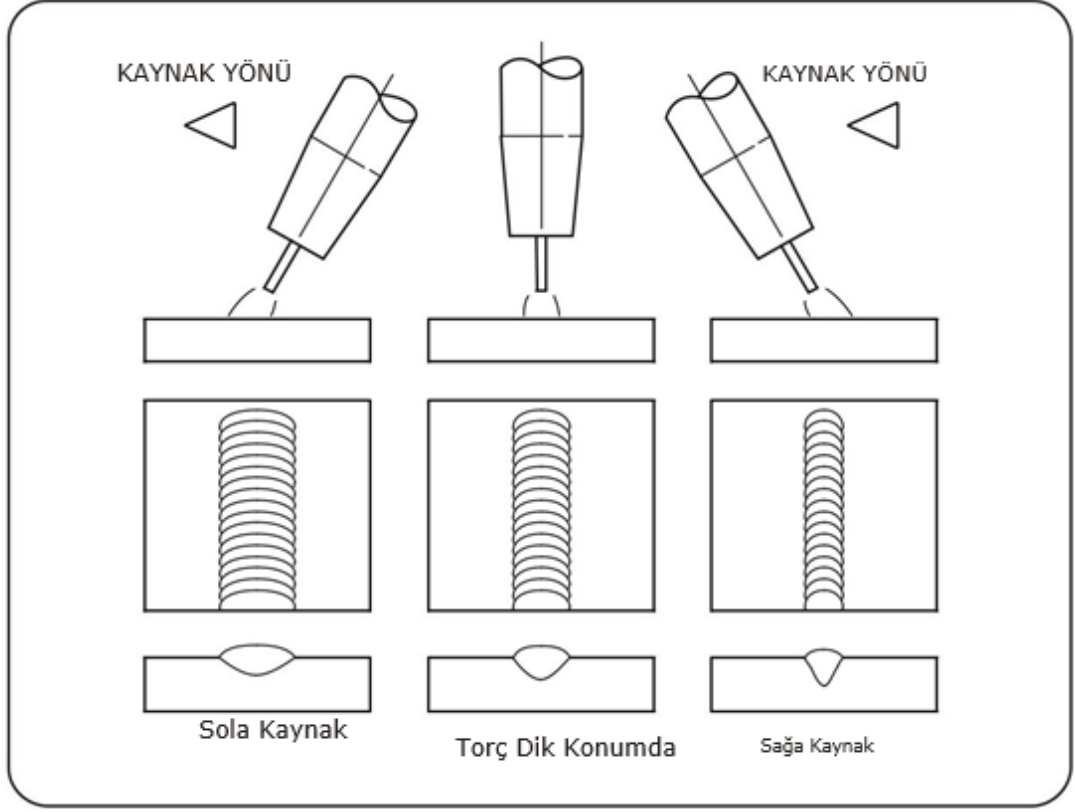
Şekil 3.8. Hareket ve çalışma düzlemleri ve elektrot açıları [15].

Kaynağın hareket doğrultusuna dik olan düzleme "çalışma düzlemi", kaynağın hareket doğrultusu ile elektrottan geçen düzleme ise "hareket düzlemi" nedir. Bu düzlemler gözönünde bulundurulduğunda elektrodun açısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

1. Hareket düzleminde, elektrotun eksenini ile kaynağın hareket doğrultusuna dik olan doğrultunun arasında kalan açıya "hareket açısı" denir.
2. Çalışma düzleminin içinde elektrot eksenine en yakın iş parçası yüzeyi ile arasında kalan açıya "çalışma açısı" denir.

Elektrot, kaynak yönüne doğru yönelmiş ise "sola kaynak", tersine yönelmişse "sağa kaynak" denir.

Elektrotun açısı, kaynak dikiş şekli ve kaynak nüfuziyetine etkileri Şekil 3.9’da gösterilmiştir.

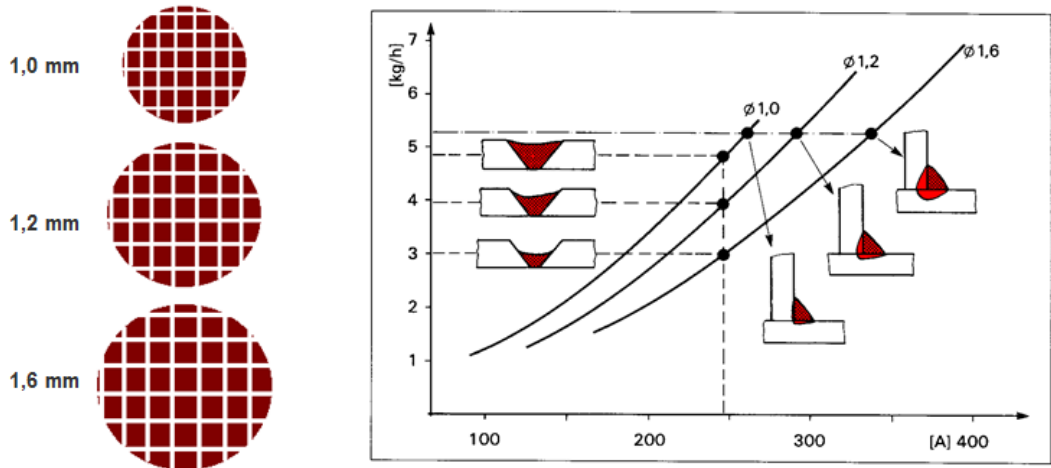


Şekil 3.9. Elektrot açısının ve kaynak tekniğinin etkileri [15].

3.5.6. Elektrot (Tel) Çapı

Elektrodun çapı kaynağın dikişinin şeklini, boyutlarını, kaynak hızını ve eritme gücünü etkilemektedir. Aynı malzeme türünde ve aynı akım değerinde küçük çaplı elektrotlar daha yüksek eritme gücüne sahip olmakla beraber yığma hızını da artırmaktadır. Ancak düşey ve tavan pozisyonunda kaynak yapılacak ise, küçük çaplı elektrotlar ve düşük akımlar kullanılarak gerçekleştirilmelidir [15].

Bu durum aşağıdaki Şekil 3.10 ile daha kolay açıklanmaktadır. Aynı amper değeriyle tel çapı kalın olan elektrot daha fazla yığılma yapar [18].



Şekil 3.10. Kaynak teliyle amper arasındaki ilişki [18].

3.5.7. Kaynak Ağzı

Ark kaynağını basit bir şekilde tanımlayacak olursak önce ergitme devamında katılaştırma sürecidir. Bu süreçteki en önemli etkenlerden biri kaynatılacak malzemelerin kaynağın daha derin nüfuziyetleri etki edebilmesinde büyük bir payı olan kaynak ağzıdır [19].

Kaynak ağzının iyi bir şekilde hazırlanması kaynağın nüfuziyeti için çok önemli bir etkenidir. Kaynak ağzının kenarlarını kusursuz bir şekilde hazırlanmış olması kaynak çok daha kolay bir şekilde yapılabilir. Kaynak ağzı için harcanan zamanı, kaynak yaparkenki harcanan zaman ve iyi bir kaynak nüfuziyeti ile telafi edilir. Bunu sağlayabilmek için aşağıda açıklanan maddelere uymak gerekmektedir [20].

Kaynak ağzının hazırlanmasından önce dikkat edilmesi gereken ön hazırlık maddeleri aşağıda bulunmaktadır;

1. Kaynağın pozisyonu ve kaynatılacak malzemenin arka tarafına erişilebilmesi, kaynak pozisyonuna göre kaynak ağzının derinliği ve tipi değişecektir. Şekil 3.11'de kaynak ağzı seçim tablosu verilmiştir. Kaynatılacak malzemenin kalınlığına bağlı olarak, kaynak nüfuziyetinin yeterince derinlere işleyebilmesi için kaynak ağzının tipi değişebilir. Tek taraflı kaynak

yapılacaksa kaynaklı ağız V tipinde, iki tarafında kaynak yapılacaksa da X tipinde kaynak ağızı açılmalıdır.

2. Kaynatılacak malzemenin kalınlığı, birleştirmenin çeşidi ve kaynak ağızlarının tipini etkileyen en önemli faktör malzeme kalınlığıdır. Örnek verecek olursak, kaynak mukavemeti, sızdırmazlığı gibi durumlar kaynağın paso miktarına etki eder.
3. Kaynak yapılacak elektrodun nüfuziyet derecesi, kaynağın ağızının şekli ve derinliğini belirlemektedir. Örneğin elektrot nüfuziyeti az olan bir elektrotla kaynak yapılırken kaynatılacak malzemenin iki tarafına kaynak ağızı açılması gerekirken, elektrot nüfuziyeti yüksek olan elektrotla kaynak yapılırsa hiç kaynak ağızı açmadan bile kaynak yapılabilir.
4. Kaynak işlemi yapıldıktan sonra oluşacak şekil değiştirmelerin önleme imkanının olması, kaynak yapılırken kaynak yapılan malzemelere ısı verilmesi neticesinde kaynak çekmesi denilen malzemelerde şekil değişikliği gerçekleşmektedir. Bunu önlemek için iki tarafında kaynak yapılması yada kaynak yapılan yerin tersi yönünde kaynak yapılan malzemeye destek parçalar kaynatılarak kaynağın çekmesinden dolayı oluşacak şekil bozuklukları engellenebilir.
5. Kaynatılacak malzemenin türü önemli faktördür. Çabuk şekil değiştiren metalin hadde mamulü, dökme demir ve çeliklerde kaynak bölgesine yakın olan kabukların kaldırılması gerekmektedir [20].

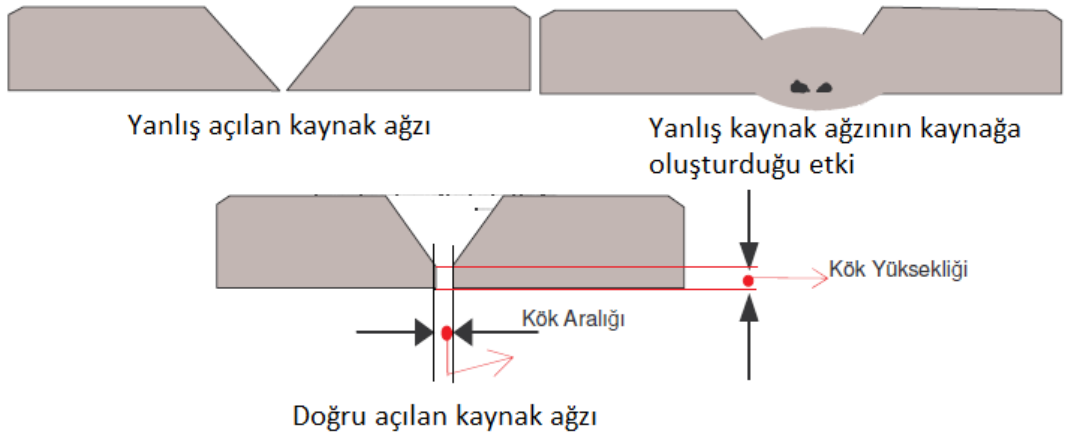
Kaynak edilecek parçanın et kalınlığı, kaynak edilecek malzemenin et kalınlığı ve türü, kaynak yöntemi ve kaynak pozisyonuna göre kaynak ağızı değişmektedir. Aşağıdaki kaynak ağızı seçme tablosundan bu değişken parametrelere göre uygun bir kaynak ağızı seçilebilir [19].

MALZEME KALINLIĞI (mm)	ORTULU ELEKTROD ARK KAYNAGI YONTEMİNDE						MIG - MAG KAYNAK YONTEMİNDE	
	TEK TARAFTAN KAYNAK			ÇİFT TARAFTAN KAYNAK			60°	60°
	ALTUK KULLANILAN BİRLEŞTİRME	ALIN BİRLEŞTİRME	"V" BİRLEŞTİRME	ALIN BİRLEŞTİRME	"X" BİRLEŞTİRME	"T" BİRLEŞTİRME		
0,5		0 mm KÖK ARALIĞI						
1		0 mm KÖK ARALIĞI						
2		1,5 mm KÖK ARALIĞI					0 mm KÖK ARALIĞI	
3								
4							2 - 3 mm KÖK ARALIĞI	
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Malzeme Kalınlığı 15mm => ise : 2-3,5 mm kök aralığı ve 2 mm Kök yüksekliği

Şekil 3.11. Kaynak ağızı seçim tablosu [19].

Kaynak ağzının sivri açılması ve sivri olarak açılan kaynak ağzının kaynak üzerinde etkisi Şekil 3. 12'de gösterilmektedir. Olması gereken kaynak ağzında ise, kaynak ağızı sivri bir şekilde bırakılamaz. Kaynak ağızı açarken bırakılan sivrilikten sonra düz bir kısım bırakılmalıdır. Bırakılan bu düz kısma kök yüksekliği denir. Malzemeler birbirlerine yapıştırılıp kaynatılamaz. Malzemeler arasında boşluk bırakılmalıdır. Bırakılan bu boşluğa kök aralığı denir.

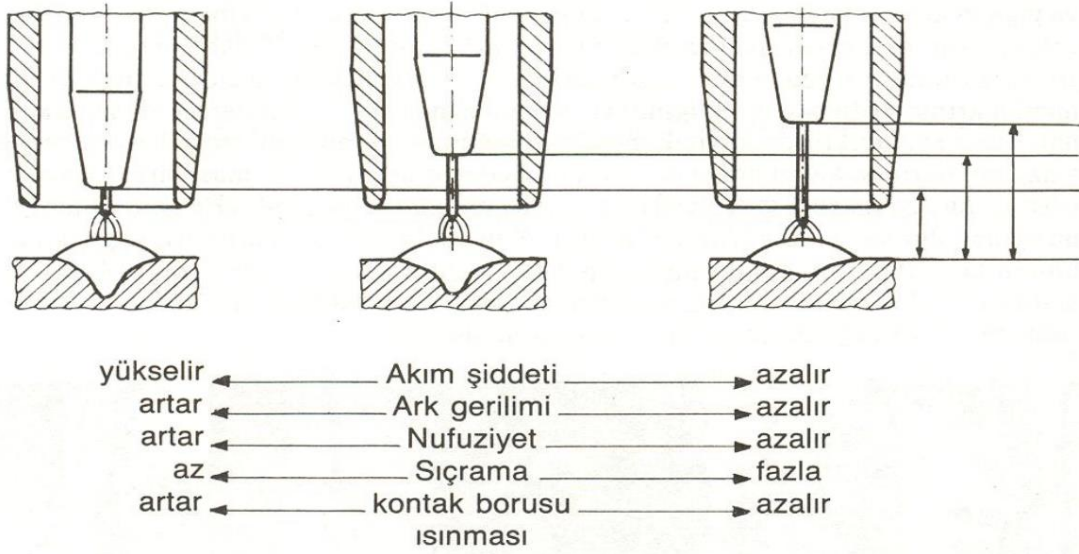


Şekil 3.12. Kaynak ağzında sivri ucun zararı ve uygulanması gereken metot [19].

3.5.8. Serbest Elektrot Uzunluğu

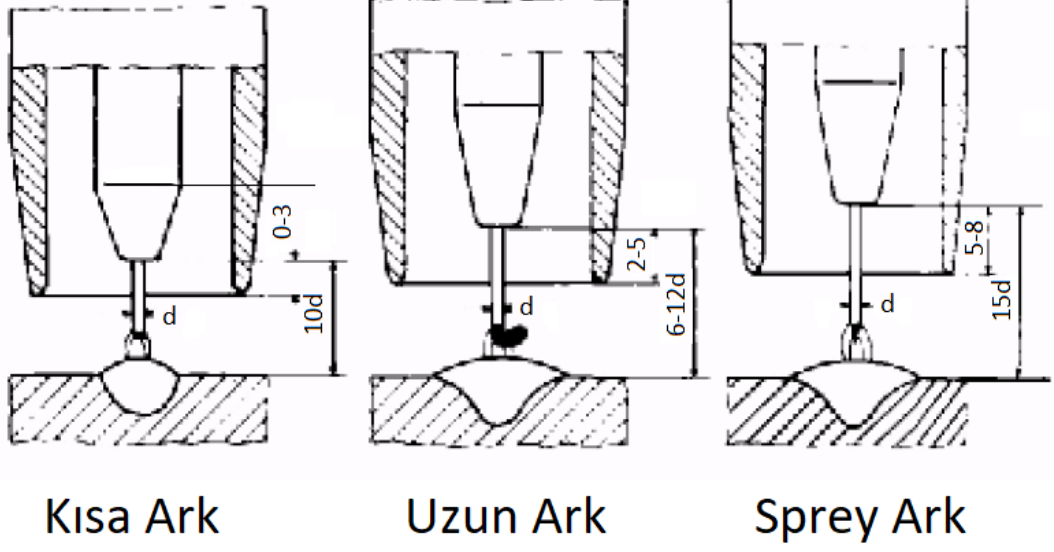
Torç içindeki kontak borusundan (bakır kontak memesi) elektrodun uç kısmı arasındaki mesafeye serbest elektrot uzunluğu denir. Serbest elektrot uzunluğu artarsa elektrodun elektrik direnci ve elektrodun ön ısınma sıcaklığı artar. Bunun sonucunda elektrodun uç noktasını eritebilmek için gerekli olan akım şiddetinde azalma meydana gelmektedir.

Serbest tel uzunluğu artarsa ergime gücü artar ve kaynak nüfuziyeti azalır. Serbest tel uzunluğunun çok fazla artmasıyla, aşırı miktarda düşük sıcaklıktaki kaynak metalinin kaynak dikişine yığılmasına sebep olmaktadır [21]. Şekil 3.13'te serbest tel uzunluğunun kaynak dikişine etkisi gösterilmiştir.



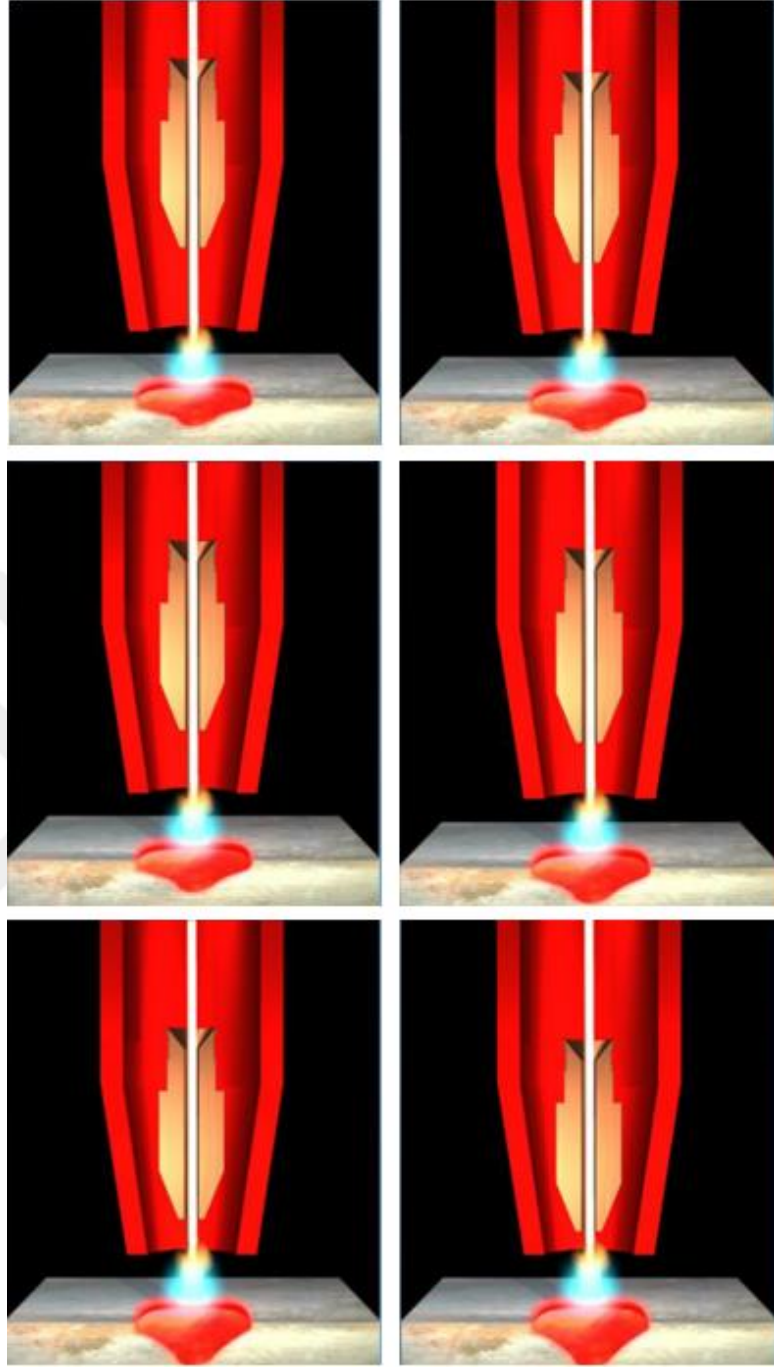
Şekil 3.13. Serbest tel uzunluğunun kaynak dikişine etkisi [21].

Kaynak ağzında, kısa bir bölgede kök açıklığının değiştiği durumlarda, kaynak dikişini dengelemek için kullanılır. Geniş kök açıklığı olursa, nüfuziyetin azaltılmasını gerektiren durumlarda serbest tel uzunluğu artırılarak akım şiddetinin ve nüfuziyetin azaltılması sağlanır [21]. Şekil 3.14'te çeşitli ark türlerinde uygun olan serbest tel uzunluğu verilmiştir.



Şekil 3.14. Çeşitli ark türlerinde uygun serbet tel uzunluğu [21].

Aşağıda Şekil 3.15'te gösterilen resimlerde serbest tel uzunluğunun değişimine göre kaynağın nüfuziyetinin değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.145. Serbest elektrot uzunluğu azaldıkça nüfuziyeti artırması [18].

BÖLÜM 4


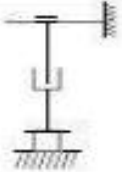

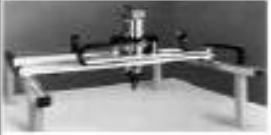
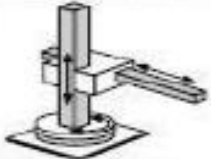



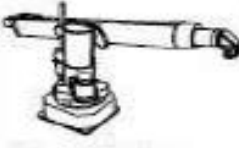




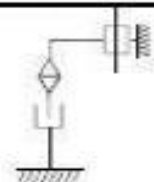







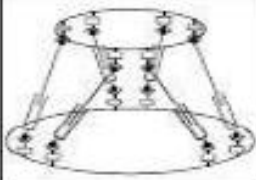


ROBOTİK KAYNAK YÖNTEMLERİ

Sanayi robotu, “endüstriyel ve mühendislik uygulamalarında kullanılan, en az üç otomatik kontrollü programlanabilir eksene sahip, sabit veya hareketli manipülatör” olarak tanımlanmaktadır [1].

Robot kolunu dairesel olarak döndürebiliyorsa, “mafsallı” veya “döner koordinat sistemli robotlar” denilmektedir. Robotun kolları gövde üzerinde etrafında dönebilecek şekilde monte edilmiştir. Aynı zamanda dayanak noktaları da birbirlerine benzeyen iki ayrı bölümü taşır. Döner parçalar yatay ve dikey olmak üzere iki ayrı şekilde monte edilmektedir. Bunun gibi robotlar insanların yapabileceği birçok hareketi yapabilirler. Robotlar bu kabiliyetlerini koordinat sisteminden (Döner koordinat sisteminden) almaktadırlar. Robotların özet gösterim biçimi Şekil 4.1’deki gösterilmiştir [16].

Ark kaynağı robot sistemleri manipülatör, kontrol ünitesi, kaynak ekipmanları ve pozisyoner olmak üzere dört ana kısımdan oluşur [1].

Kaynağın gerçekleşebilmesi için gerekli olan hareketleri sağlayan mekanizma manipülatördür ve sanayideki ark kaynağı robotlarının yük taşıma kapasiteleri 4,5 ila 6 kg’dır [1]. Robotlarda çoğu zaman MIG, MAG, CO₂ ve TIG ark kaynağı çeşitleri kullanılmaktadır. Bunlardan en fazla uygulama alanı olan ark kaynağı çeşidi MAG’dır. CO₂, MIG ve MAG ark kaynakları eriyen elektrotla kaynak, TIG kaynağıysa erimeyen elektrotla koruyucu gaz altında ark kaynağı yöntemidir. Koruyucu gaz kaynak çeşidine göre farklılık göstermektedir.

Robot	Eksenler		Örnekler
Prensibi	Kinematik Yapısı	Çalışma Hacmi	Fotoğraf
 Kartezyen Robot			
 Silindirik Robot			
 Küresel Robot			
 SCARA Robot			
 Mafsallı Robot			
 Paralel Robot			

Şekil 4.1. Kaynak robotu çeşitleri [16].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. MALZEME VE METOT

Yapılan deneylerde S355'in (St-52) malzemesinin kimyasal özellikleri Çizelge 3'te ve Hardoks-500'ün kimyasal özellikleri ise Çizelge 4'te verilmiştir. Malzemelerin fiziksel özellikleri ise Çizelge 5'te verilmiştir. 10 mm kalınlığında Hardoks-500 çelik ile 10 mm kalınlığında S355 çelik malzemeler kullanılmıştır. ~ 690 MPa akma ve ~ 900 MPa çekme dayanımına sahip çelik tel elektrot (SG-2) malzeme kullanılarak otomatik robotik gaz metal ark kaynağı (MAG) metoduyla birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kaynak robotunun genel görünümü Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu deneyde koruyucu gaz olarak karışım gazı kullanılmıştır. Kullanılan koruyucu gazın özellikleri Çizelge 6'da verilmiştir. Kullanılan elektrotun kimyasal özellikleri Çizelge 7'de, fiziksel özellikleri de Çizelge 8'de verilmiştir. Otomatik kaynak robotunun özellikleri Çizelge 9'de verilmiştir. Bu deneyde kullanılan kaynak robotunun ekipmanları Çizelge 10 ve Şekil 5.2'de detaylı şekilde gösterilmektedir. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. St-52'nin kimyasal bileşenleri.

Çelik Sembolü		Kimyasal bileşim (%)						
Eski	Yeni	C	P	S	Mn	Si	Cu	Al
St 52-3	S355J2G3	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
		0,2	1.035	0,035	1,6	0,55	0.25-0.40	0,02

Çizelge 5.2. Hardox-500'ün kimyasal bileşenleri.

Çelik Sembolü	Kimyasal bileşim (Max %)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Hardox 500	0,270	0,500	1,600	0,025	0,010	1,200	0,250	0,250	0,005

Çizelge 1.3. Malzemelerin fiziksel özellikleri.

Çelik Sembli	Çekme (MPA)	Akma (MPA)	Uzama (\geq %) mm	Sertlik Brinell
S355J2G3	490-630	355	20	-
Hardox 500	1550	1300	8	470-540

Çizelge 5.4. Koruyucu gaz özellikleri.

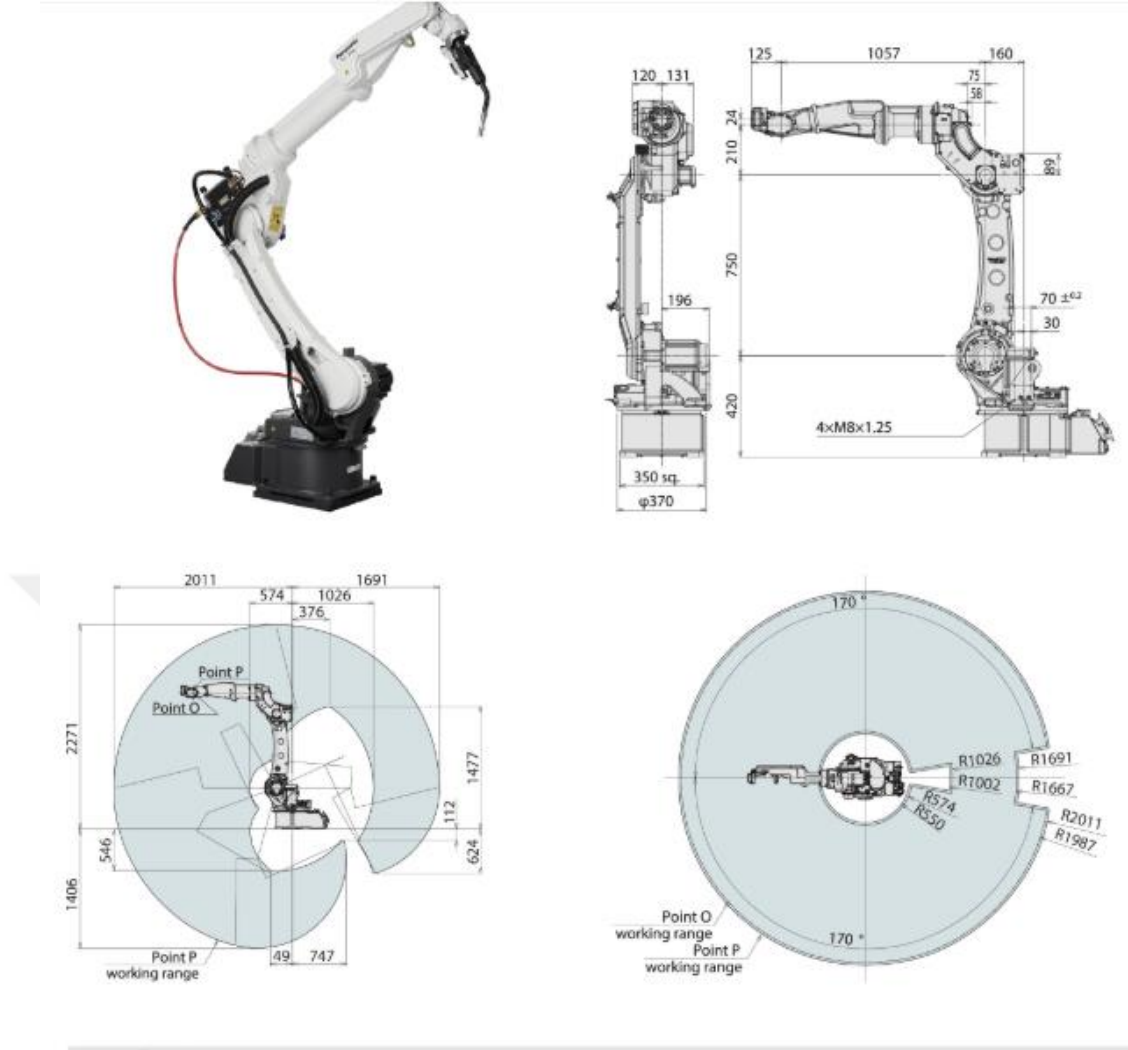
HB-220 Birleşenleri	% Hacim	CAS Numarası	EEC Numarası
Argon	75-95	7440-37-1	231-147-0
Karbondioksit	4-22	124-38-9	204-696-9
Oksijen	1-3	7782-44-7	231-956-9

Çizelge 5.5. Kaynak telinin kimyasal özellikleri.

Normlar	Kimyasal bileşim (%)		
	C	Si	Mn
TS EN İSO 14341-A			
G3 Si 1	0,08	0,85	1,45

Çizelge 5.6. Kaynak telinin fiziksel özellikleri.

Normlar	Akma	Çekme	Çentik Dayanımı	Uzama
TS EN İSO 14341-A	MPA		ISO-V/-30°	%
G3 Si 1	min.420	500-640	min.47 J	min.22



Şekil 5.1. Kaynak robotunun genel görüntüsü [22].

Çizelge 5.7. Kaynak robotunun modeli ve özellikleri [22].

Model		TAWERS TM-2000	
Eksen Sayısı		6	
Taşıma Kapasitesi (maksimum)		6 kg	
Robot Çalışma Alanı		Maksimum Uzanma Mesafesi	2011 mm
		Minimum Uzanma Mesafesi	550 mm
		Çalışma Aralığı	1461 mm
Anlık Maksimum Hız	Kol	1.Eksen	195°/sn
		2.Eksen	197°/sn
		3.Eksen	205°/sn
	Bilek	4.Eksen	425°/sn
		5.Eksen	425°/sn
		6.Eksen	629°/sn
Pozisyon tekrarlama Hassasiyeti			±0,1 mm
Motor		Toplam Sürücü Gücü	5050 W
		Fren	Tüm Eksenlerde Bağımsız
Ağırlık		216	

Çizelge 5.8. Kaynak robotunun ekipmanları.

1	Robot kol	9	Tel sepet taşıma aparatı
2	Robot montaj sehпасı	10	Kontrolör ve kaynak makinesi (Bütünleşik)
3	Kaynak torcu ve şok sensör	11	Trafo
4	Torç kablosu	12	LCD kumanda ünitesi
5	Servo tel sürme ünitesi	13	Kumanda kutusu
6	Tel taşıyıcı kılavuz hortumu	14	Metal taşıyıcı palet
7	Otomatik torç temizleme ünitesi	15	Kablo grubu
8	Torç temizleme ünitesi montaj sehпасı		



Şekil 5.2. Kaynak robotunun ekipmanlarının gösterimi [23].

Çizelge 5.9. Kaynak parametreleri.

Akım (A)	Voltaj (V)	Kaynak Süresi (s)	Tel Besleme Hızı (mm/dak)	Kaynak Kalınlığı (mm)
180	26,6	30	~720	10
190	27,2			
200	27,8			

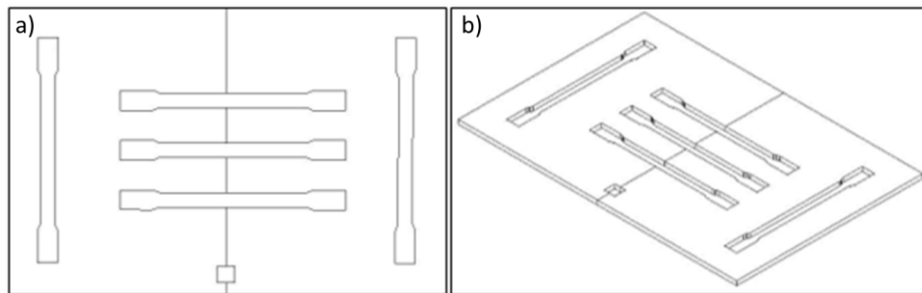
Deneysel çalışma için, tel besleme hızı (720 mm/dak) sabit tutularak 3 farklı voltaj ve akım parametresi belirlenmiş ve bu parametrelere göre tam faktöriyel deney tasarımı ile 9 farklı deney koşulu oluşturulmuştur. Tam faktöriyel tasarıma göre elde edilen parametreler Çizelge 12’de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 12’de Eşitlik 1’e göre hesaplanan kaynak bölgesine aktarılan enerji değerleri de verilmiştir. Kaynak bölgesine aktarılan enerjinin hesabı için Eşitlik 1 kullanılmıştır. Eşitlik 1’de “V” ark voltajı değerini (volt), “I” kaynak akım değerini (amper), “s” ise zamanı (saniye) temsil etmekteydi [24].

$$\text{Kaynak Enerjisi (Joule)} = V \cdot I \cdot s \quad (5.1)$$

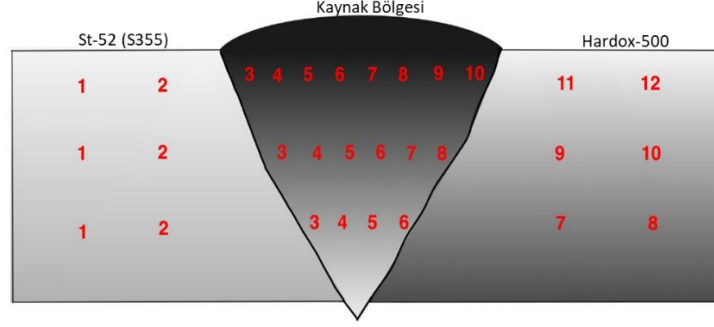
Çizelge 5.10. Tam faktöriyel deney tasarımı.

Deney Numarası	Akım (A)	Voltaj (V)	Kaynak Süresi (s)	Kaynak Enerjisi (Joule)
1	180	26,6	30	143640
2	180	27,2	30	146880
3	180	27,8	30	150120
4	190	26,6	30	151620
5	190	27,2	30	155040
6	190	27,8	30	158460
7	200	26,6	30	159600
8	200	27,2	30	163200
9	200	27,8	30	166800

Kaynak işlemi uygulanmış çelik malzemelerin mekanik özellikleri, çekme deneyleri ve mikro sertlik ölçümleri ile incelenmiştir. Çekme testi Shimadzu Autograph AGS-X Universal test cihazı (100 kN) ile oda sıcaklığında TS EN ISO 6892-1 standartlarına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri için hazırlanan numuneler, Şekil 5.3’de şematik olarak gösterildiği üzere plazma ile kesilerek elde edilmiştir. Vickers mikro sertlik (HV) testi ise Bruker UMT Universal sertlik ölçüm cihazı kullanılarak, 15 saniye süreyle 0,5 kg yük altında uygulanmıştır. Kaynaklı numunelerin üst-orta ve alt bölgesi olmak üzere 3 farklı konumdan sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Her bir kademede St-52 malzeme – kaynak bölgesi – Hardox-500 malzeme bölgesinde mikro sertlik değerleri alınmıştır. Ölçüm alınan noktalar ve ölçme noktası sayısı Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Kaynak bölgesi mikro yapısının görsel analizleri için optik mikroskop (OM- Nikon Ters Metalurjik Mikroskop) ve taramalı elektron mikroskopundan (SEM-CARL ZEISS GEMINI FESEM) elde edilen görüntüler kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Kaynaklanan ve üzerinden çekme numuneleri çıkartılan parçaya ait (a) Üstten görünüş ve (b) Perspektif teknik resimler.



Şekil 5.4. Sertlik ölçüm noktaları.

Deneysel sonuçların analizi için varyans analizi (ANOVA) ve korelasyon yöntemleri ile parametreler arasındaki ilişki incelenmiş, Taguchi yöntemi ile de giriş parametreleri optimize edilmiştir. Taguchi ve ANOVA yöntemlerinin uygulanmasında Minitab paket programı kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı hesabı Eşitlik 2 dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Eşitlik 2’de r korelasyon katsayısını, X ve Y ise incelenen parametrelere ait sayısal değerleri ifade etmektedir. Parametre optimizasyonunda sinyal/gürültü (S/N) oranı dikkate alınarak, Eşitlik 3’de matematiksel modeli verilen “en yüksek en iyi” yaklaşımına göre gerilme ve sertlik deneyi sonuçları değerlendirilmiştir [25]. Eşitlik 3’de n değeri toplam deney sayısını, y değeri de deneysel sonucu ifade etmektedir.

$$r = \frac{\sum(xy) - (\sum x)(\sum y) / n}{\sqrt{(\sum x^2 - (\sum x)^2 / n)(\sum y^2 - (\sum y)^2 / n)}} \quad (5.2)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i} \right] \quad (5.3)$$

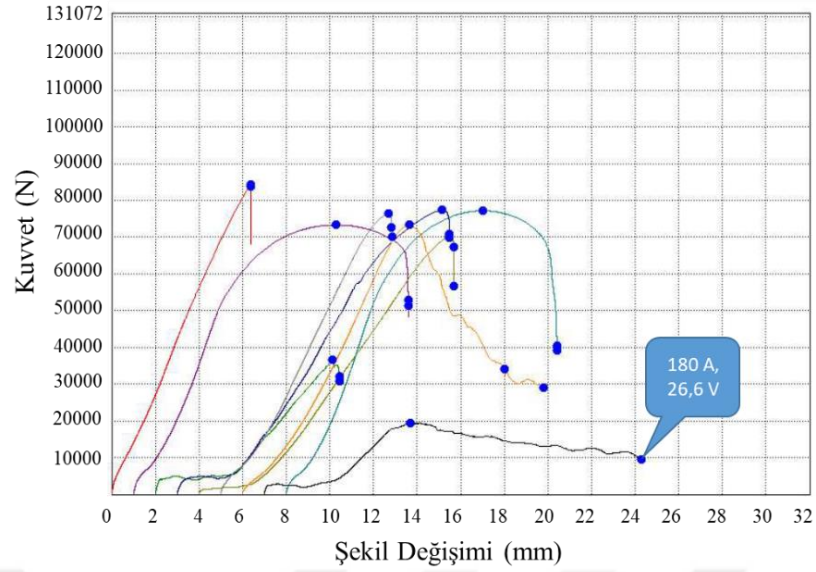
BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çekme deneylerinden elde edilen $F-\Delta L$ ($\sigma-\varepsilon$) grafikleri Şekil 6.1’de, her bir deney koşulu için elde edilen maksimum gerilme değerleri Çizelge 13, 14 ve 15’te verilmiştir. Çekme deneyi sonuçlarına göre 180 A, 26,6 V deney koşulu (1 numaralı deney – Çizelge 12) hariç bütün deneylerde deformasyonun kaynak bölgesi dışında oluştuğu görülmüştür. Şekil 6.1’de verilen grafiklerde de, 1 numaralı deney koşuluna ait grafiğin kararlı bir davranış göstermediği görülmektedir. Çizelge 13’te 1 numaralı deney için ölçülen maksimum gerilme değeri 290,346 MPa’dır. Deneylerde kullanılan malzemelerin maksimum gerilme değerleri; St-52 malzeme için ~500 MPa, Hardox-500 için ~1400 MPa ve kaynak teli için ~900 MPa’dır. Belirtilen 3 malzemenin kaynak ortamında oluşturacağı kompozit yapının gerilme değerinin 290 MPa değerinden yüksek olması beklenen bir durumdur. Bu sebeple 1 numaralı deney koşulu, kaynak bölgesinde yeterli penetrasyonun gerçekleşmemesi sonucu kaynak edilebilirlik açısından olumsuz sonuç vermiştir. Bu durum 180 A ve 26,6 V kaynak parametrelerinin bağlantı için yeterli kaynak enerjisi sağlayamadığını göstermektedir ve Şekil 6.2’de verilmiştir. Tekrarlı deneylerde de benzer sonuçların elde edilmesi parametrelerin yetersizliğini doğrulamaktadır. Şekil 6.3’de görüldüğü üzere 2 numaralı deneyde ise (180 A, 27,2 V) deformasyon çizgisinin ITAB bölgesinden (Şekil 6.3.c) başlayarak St-52 (S355) malzemeye doğru ilerlediği görülmektedir. 1 ve 2 numaralı deneyler hariç diğer bütün deneylerde ise deformasyonun kaynak ve ITAB bölgesinin dışında, St-52 malzeme bölgesinde ve sünek bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Şekil 6.3.d’de görülen kırılma davranışı 3-9 numaralı deneylerin hepsinde benzer şekilde gerçekleşmiştir. Bu duruma bağlı olarak 180 A deney koşulunda voltaj artışına bağlı olarak kabul edilebilir kaynaklı bağlantı gerçekleştirilmektedir. 190 A ve 200 A deney koşullarında ise belirlenen bütün akım değerlerinde kaynaklı bağlantı emniyetli bir şekilde sağlanabilmektedir.

Çizelge 13-15'te verilen maksimum çekme gerilmesi değerlerine bakıldığında, St-52 bölgesinde gerçekleşen deformasyonlarda değerlerin 480 MPa ile 640 MPa arasında olduğu görülmektedir. St-52 malzemesinin çekme gerilmesi değerinin 500 MPa olduğu dikkate alındığında, deformasyon oluşan bölgelerde kaynak ısısına bağlı olarak içyapı değişimi gerçekleştiği iddia edilebilir. Kaynak kompozisyonunu oluşturan metallerin yüksek mukavemet değerleri sebebiyle kaynak bölgesine aktarılan yüksek miktarda enerji, kaynak bölgesi dışındaki malzemenin mekanik özelliklerini yaklaşık %20 oranında değiştirebilecek kadar etki oluşturmaktadır.

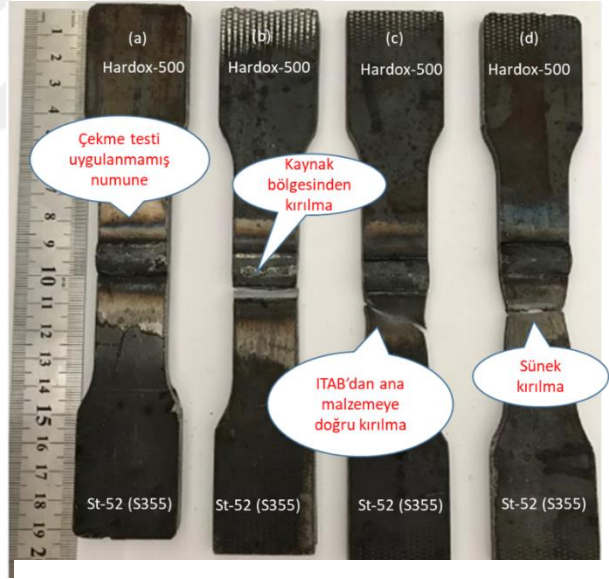
Gerilme ile kaynak prosesi arasındaki ilişki istatistiksel olarak da incelenerek, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar desteklenebilir. Çekme gerilmesi değerleri (Çizelge 13-15) ile akım ve voltaj parametreleri arasındaki ilişki korelasyon analizi ile incelenmiştir. Akım ve voltaj parametreleri zaman parametresi ile çarpılarak her bir koşulda kaynak bölgesine aktarılan enerji miktarı belirlenmiş (Çizelge 12) ve korelasyon analizinde enerji miktarı ile çekme gerilmesi değeri arasındaki ilişki niceliksel olarak elde edilmiştir. Eşitlik 2'ye göre enerji ve gerilme arası korelasyon değeri +0,57 olarak bulunmuştur. Elde edilen değer kaynak bölgesine aktarılan enerji ile kaynaklı numunelerin maksimum gerilme değerleri arasında pozitif yönlü bir ilişkinin varlığını göstermektedir. İki değer arasındaki ilişkinin etki oranı ise %57 seviyesindedir. Enerji değişimi ile açıklanamayan %43'lük kısım ise kaynağın yapıldığı ortamdaki hava akımında artış, kaynak sonrası soğuma süresi ve elektrottaki nem oranı gibi faktörlerle açıklanabilir.



Şekil 6.1. Çekme deneyi sonuçları.



Şekil 6.2. 180 A ve 26,6 V.



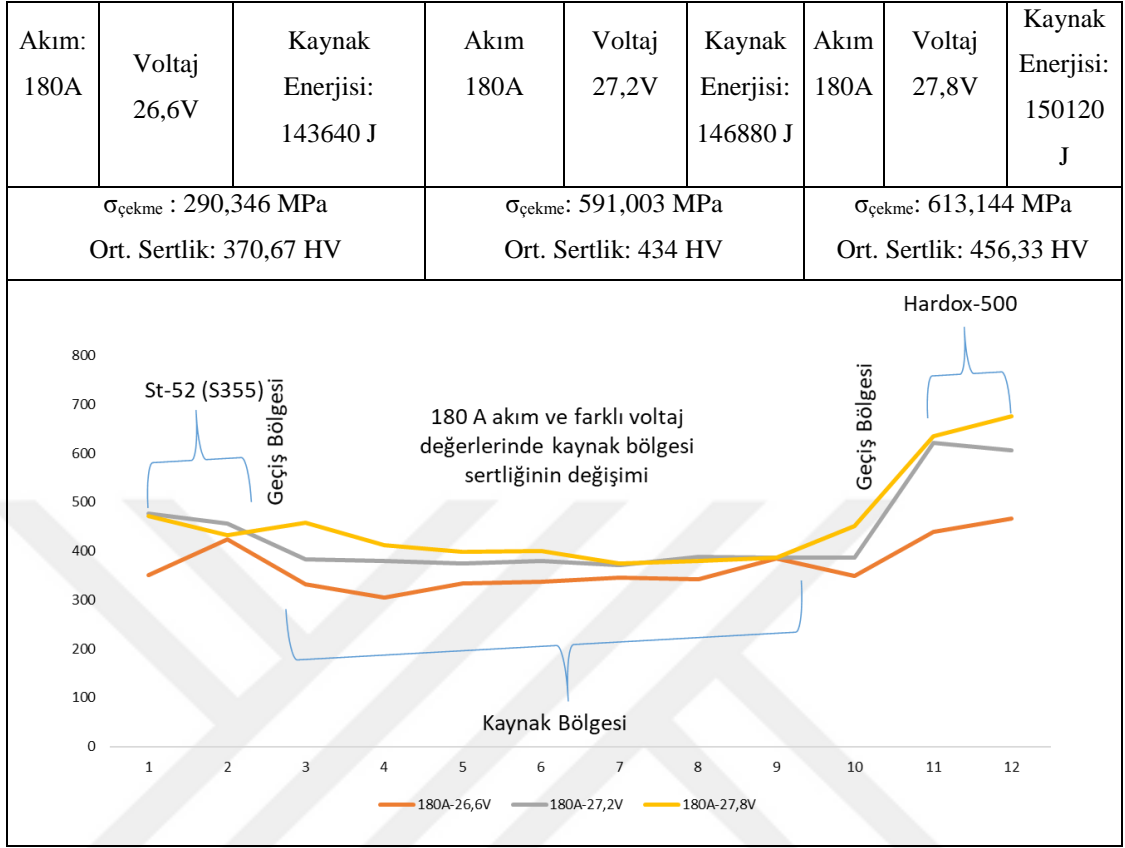
Şekil 6.3. (a) 200 A ve 27,8 V, (b) 180 A ve 26,6 V, (c) 180 A ve 27,2 V, (d) 180 A ve 27,8 V koşullarında elde edilen numuneler.

Kaynaklı numunelerin mukavemetine etki eden önemli faktörlerden bir diğeri ise sertlik değeridir. 180 A,190 A,200 A akım değeri için farklı voltaj değerlerinde ana malzemeler ve kaynak bölgesinin sertlik değerleri ve sertlik değerlerinin değişim grafikleri Çizelge 13-15'te verilmiştir. Sertlik testlerinden elde edilen ölçüm

sonuçlarına göre St-52 ve Hardox-500 malzemelerinin kaynak bölgesine kıyasla daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmektedir. St-52 malzeme bölgesinde sertlik değeri ~500 HV, Hardox-500 malzemedede ~600 HV ve kaynak bölgesinde ise ~400 HV sertlik değerleri oluşmaktadır. Bu değerlere göre kaynak bölgesinde; Hardox-500'den %25 oranında, St-52'den ise %20 oranında daha düşük sertlik oluşmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda kaynak bölgesi sertliğinin ana malzemelere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir [2,3]. Fakat bu çalışmada ana malzemelerin kaynak bağlantısına göre daha yüksek sertlikte olması, St-52 ve Hardox-500 malzemelerinin çok yüksek sertlik değerine sahip olması ile ve kaynak bölgesine yüksek ısı girdisi sebebiyle bölgenin tokluk değerindeki düşüşle açıklanabilmektedir.

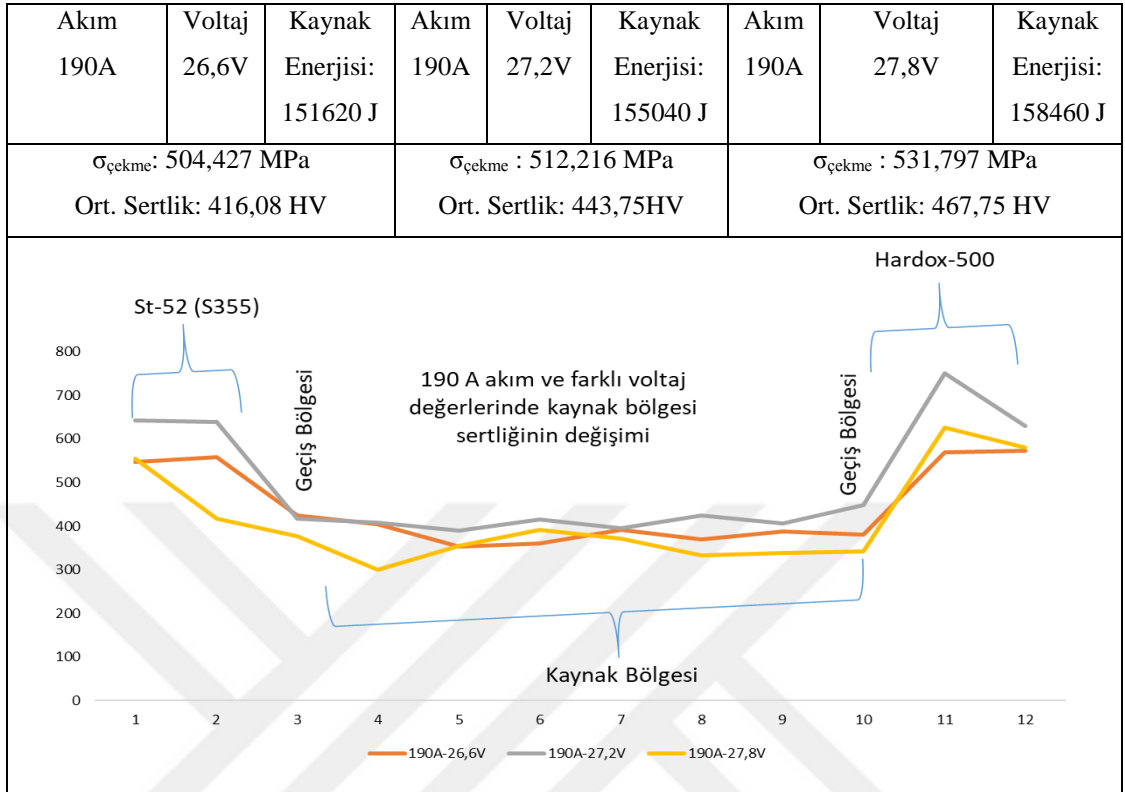


Çizelge 6.1. 180 A akımda kaynak bölgesi sertliğinin değişimi.

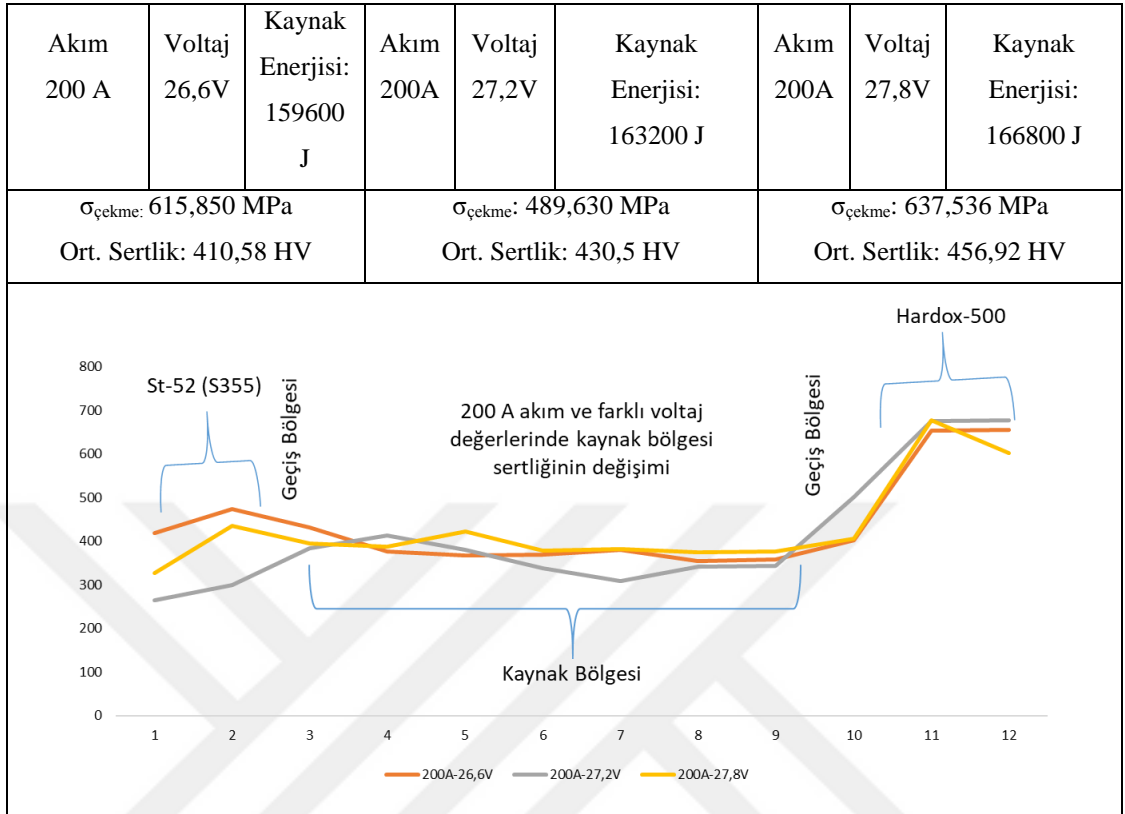


Kaynak bölgesine aktarılan enerji miktarı ile sertlik değeri arasındaki ilişki korelasyon yöntemi ile istatistiksel olarak da analiz edilmiştir. Analizden elde edilen sonuca göre enerji miktarı ile sertlik değeri arasında korelasyon değeri +0,50 olarak bulunmuştur. Bu durum enerji girdisi değişimi ile sertlik değerindeki değişim arasında %50 oranında bir anlamlılık olduğunu ve aralarında pozitif yönlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Açıklanamayan %50'lik kısım ise soğuma hızı ve malzemelerin ısı iletim kabiliyetiyle ilişkilendirilebilir.

Çizelge 6.2. 190 A akımda kaynak bölgesi sertliğinin değişimi.



Çizelge 6.3. 200 A akımda kaynak bölgesi sertliğinin değişimi.



Akım ve voltaj parametrelerinin gerilme ve sertlik parametreleri üzerindeki etki oranlarının sayısal olarak analiz edilebilmesi için ANOVA testi yapılmıştır. Gerilme parametresi için ANOVA sonuçları Çizelge 16’da verilmiştir. Çizelge 16’ya göre kaynak bölgesinin gerilme değerindeki değişimin, akım ve voltaj parametreleri ile %95,01 ($R-Sq$ (adj)) oranında açıklanabildiği belirlenmiştir. Gerilme parametresi üzerindeki en etkili parametrenin voltaj (%59,68) olduğu, akımın (%7,56) ise düşük oranda etkisi olduğu görülmektedir. Sertlik değeri için akım ve voltaj parametrelerinin etki oranları Çizelge 16’da verilen ANOVA sonuçları ile değerlendirilmiştir. Çizelge 17’ye göre akım ve voltaj parametrelerinin sertlik değişimini açıklayabilme oranı %89,61 ($R-Sq$ (adj)) olarak belirlenmiştir. Kaynak bölgesi sertliği üzerinde en etkili parametrenin voltaj olduğu (%79), akımın (%3,20) ise düşük oranda etkisi olduğu görülmektedir. Akım ve voltaj parametreleri kıyaslandığında, akımın etkin bir şekilde hissedilmesi voltaj değerinin yüksekliğine bağlıdır. Bu sebeple voltaj arttıkça daha fazla akım kaynak bölgesine transfer edilerek kaynak enerjisi artırılmıştır. Bu duruma bağlı olarak voltaj değişiminin gerilme ve sertlik değişimi üzerinde yüksek etki göstermesi beklenen bir durumdur.

Çizelge 16-17’de verilen diğer bir parametrede üstel etki oranlarıdır. Üstel etki, ilgili parametrenin değişimine bağlı olarak ortaya çıkan ve ikinci dereceden denklemlerde ifade edilebilen davranış oranını açıklamaktadır. Hem doğrusal hem de üstel etkinin yüksek değerlerde olması kararsızlık davranışının yüksek olması ile ilişkilendirilebilir. Bu sebeple anlamlı bir deney tasarımında doğrusal veya üstel etkiden herhangi birinin yüksek oranda çıkması beklenir. Çizelge 16 incelendiğinde, akım² parametresinin gerilme değişimi üzerinde %11,93 oranında, voltaj² parametresinin ise %13,32 oranında etkili olduğu görülmektedir. Bu değerlere bağlı olarak, voltaj parametresinin gerilme değişimi üzerinde doğrusal etkisinin yüksek olduğu, fakat akım parametresinin değişimi ile gerilme değerlerinin bazen doğrusal bazen ikinci dereceden değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Benzer durum Çizelge 8’de verilen sertlik değerleri içinde geçerlidir. Bu sonuca bağlı olarak, kaynak parametrelerinin ayarlanmasında sabit akım değişken voltaj ile oluşturulan çalışma koşullarında daha kararlı kaynak işlemi yapılabileceği görülmektedir. Çizelge 16-17’de verilen akım-voltaj etkileşiminin etki oranları gerilme değişimi için %5,62, sertlik değişimi için %5,44 değerlerindedir. Akım ve voltaj parametreleri bağımsız fiziksel büyüklükler olmaları sebebiyle etkileşimleri düşük etki göstermektedir.

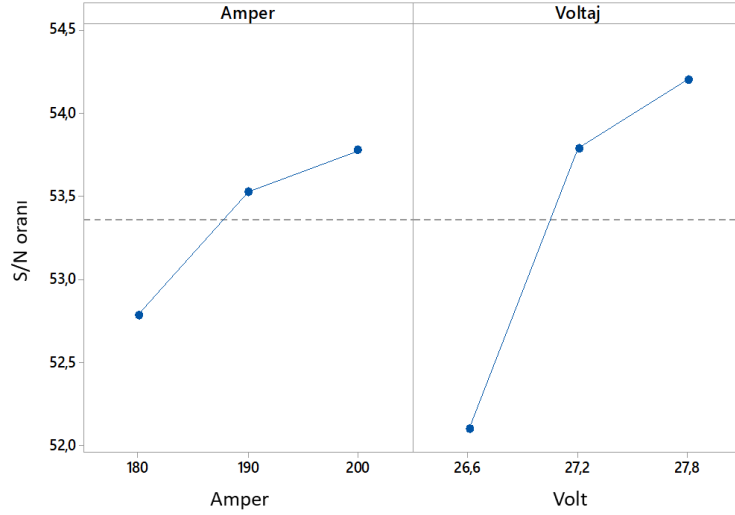
Çizelge 6.4. Gerilme parametresi için ANOVA sonuçları.

	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler toplamı, (SS)	Kareler ortalaması, (MS)	F Oranı ($\alpha = \%5$)	P	Etki oranı (%)
Model	5	133526	26705,2	31,48	0,009	98,13
Lineer	2	91512	45755,9	53,94	0,004	67,25
Akım	1	10294	10293,9	12,13	0,040	7,56
Voltaj	1	81218	81217,9	95,74	0,002	59,68
Üstel Etki (²)	2	34368	17183,8	20,26	0,018	25,25
Akım*Akım	1	16238	16237,8	19,14	0,022	11,93
Voltaj*Voltaj	1	18130	18129,8	21,37	0,019	13,32
Etkileşim	1	7647	7646,8	9,01	0,058	5,62
Akım*Voltaj	1	7647	7646,8	9,01	0,058	5,62
Hata	3	2545	848,3			1,87
Toplam	8	136071				100
Anlamlılık	R-sq = % 98,13			R-sq (adj)= % 95,01		

Çizelge 6.5. Sertlik parametresi için ANOVA sonuçları.

	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler toplamı, (SS)	Kareler ortalaması, (MS)	F Oranı ($\alpha = \%5$)	P	Etki oranı (%)
Model	5	6831,78	1366,36	14,80	0,025	96,10
Lineer	2	5850,61	2925,31	31,69	0,010	82,30
Akım	1	228,17	228,17	2,47	0,214	3,20
Voltaj	1	5622,44	5622,44	60,90	0,004	79
Üstel Etki (²)	2	594,65	297,32	3,22	0,179	8,36
Akım*Akım	1	513,71	513,71	5,56	0,099	7,23
Voltaj*Voltaj	1	80,94	80,94	0,88	0,418	1,14
Etkileşim	1	386,52	386,52	4,19	0,133	5,44
Akım*Voltaj	1	386,52	386,52	4,19	0,133	5,44
Hata	3	276,96	92,32			3,89
Toplam	8	7108,74				
Anlamlılık	R-sq = % 96,10			R-sq (adj)= % 89,61		

Gerçekleştirilen analizlerle akım-voltaj-kaynak enerjisi ile gerilme ve sertlik arasındaki ilişki nicel olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kaynak işlemi sonrası maksimum gerilme ve sertlik değerlerinin verecek akım ve voltaj değerlerinin belirlenmesi optimizasyon çalışması ile mümkündür. Çalışma kapsamında Taguchi optimizasyon yaklaşımı kullanılarak optimum akım ve voltaj değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Taguchi'nin *S/N* oranı değerlerine göre maksimum gerilme ve sertlik sağlayan optimum akım değeri 200 A, optimum voltaj değeri ise 27,8 V'dir (Şekil 6.4). Kaynaklı numunelerin deformasyon davranışları açısından durum kıyaslandığında ise, 1 ve 2 numaralı deney hariç bütün deney koşulları optimum nokta ile benzer deformasyon davranışı göstermiştir. Bu sebeple, her ne kadar optimum değerler 200 A ve 27,8 V olsa da, 3-8 numaralı deney koşulları da optimuma eşdeğer şartlar olarak nitelendirilebilir.

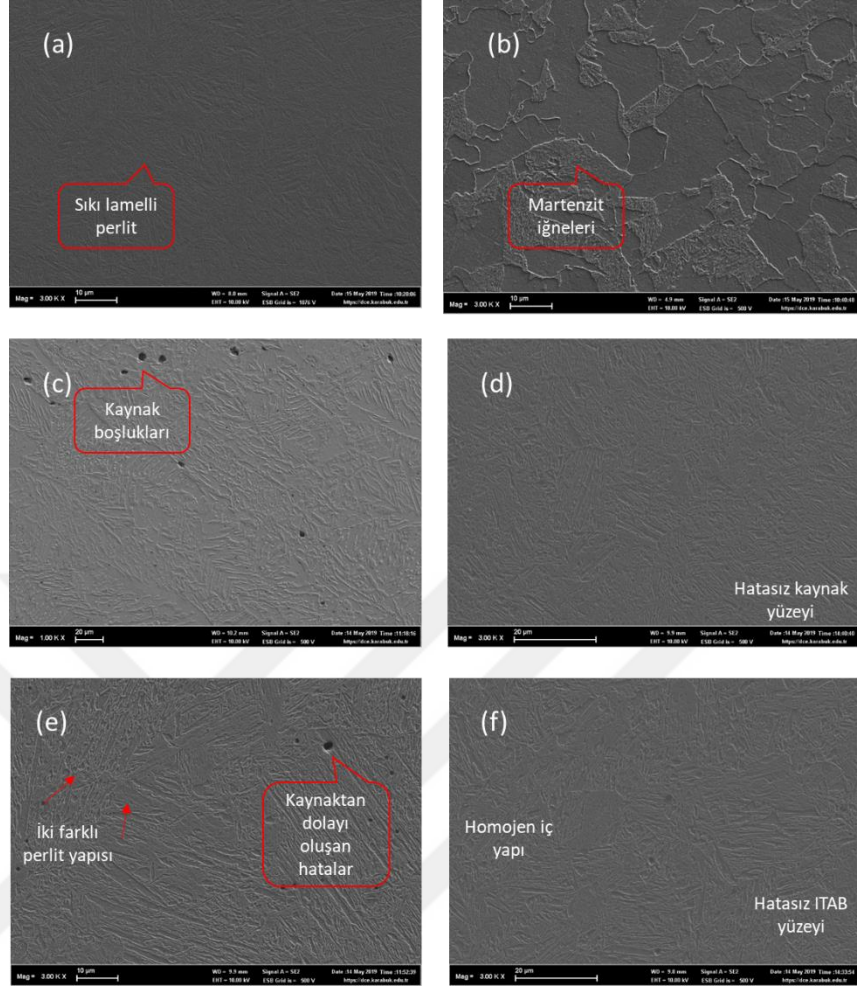


Şekil 6. 2. S/N oranları.

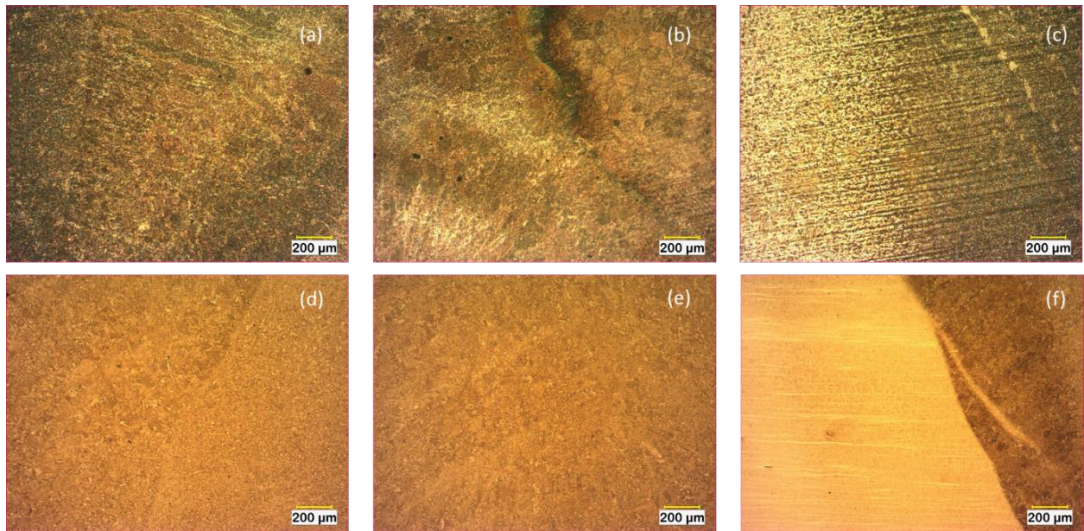
Deney sonuçlarının görsel analizi için kaynak bağlantılarının içyapısı OM ve SEM görüntüleri ile analiz edilmiştir. Görüntüler baz malzemeler, kaynak bölgesi ve geçiş bölgesi (ITAB) olmak üzere 3 farklı noktadan alınmıştır. En başarısız (180 A- 26,6 V) ve en başarılı (200 A- 27,8 V) deney koşulları için elde edilen mikro yapı görüntüleri Şekil 6.5’de verilmiştir. Şekil 6.5’e göre St-52 malzemenin iç yapısında sıkı lamelli perlit fazı (Şekil 6.5.a), Hardox-500 malzemesinde ise martenzit fazı (Şekil 6.5.b) görülmektedir. Kaynak bağlantısının başarısız olduğu deney koşulunda (1 numaralı deney) kaynak boşlukları (kaynak oluşu) oluşmuş (Şekil 6.5.c), kaynağın optimum şartlarda gerçekleştirildiği koşulda (9 numaralı deney) ise kaynak bağlantısında yüzey kusuru görülmemiştir (Şekil 6.5.d). Şekil 6.5.c’de görülen kaynak boşlukları, Şekil 6.3.b’de resmi verilen numunenin kaynak bölgesinde oluşan deformasyonu açıklamaktadır. Yetersiz kaynak enerjisine bağlı olarak penetrasyonun yeterli oranda gerçekleşmemesi sebebiyle oluşan kaynak bölgesi boşlukları, çekme deneyi esnasında deformasyonun kaynak bölgesinde oluşmasına sebebiyet vermiş ve çekme eğrisi de kararlı bir davranış gösterememiştir. 1 numaralı deney koşulu hariç diğer deney şartlarında kaynak boşluğu kusuru görülmemiştir. 1 ve 9 numaralı deney koşullarında oluşan ITAB bölgeleri incelendiğinde, Şekil 6.5.e’de 1 numaralı deney koşulunda 2 farklı fazın oluştuğu, Şekil 6.5.f’de 9 numaralı deney koşulunda ise homojen bir içyapının oluştuğu görülmektedir. 2 farklı fazın oluşumu, kaynak bölgesine enerji girişi yetersizliği nedeniyle oluşan dengesiz ısı dağılımı ile

açıklanabilir. 1 numaralı deney koşulu hariç diğer deney şartlarında ITAB'da homojen ve kusursuz bir içyapının oluştuğu gözlenmiştir.

1 ve 9 numaralı deney koşulları için elde edilen OM görüntüleri St-52 ile Hardox-500'ün kaynak edilebilirliği hakkında SEM görüntülerini destekler nitelikte bilgi vermektedir. OM'den elde edilen kaynak geçiş bölgesi görüntüleri Şekil 6.6'da verilmiştir. Şekil 6.6.a'da 1 numaralı deney koşulu için kaynak bölgesinden St-52 malzemeye geçiş bölgesi, Şekil 6.6.d'de ise 9 numaralı deney koşulu için kaynak bölgesinden St-52 malzemeye geçiş bölgesi görülmektedir. Şekil 6.6.a'da geçiş hattı geniş bir bölgeye yayılırken, Şekil 6.6.d'de kararlı bir geçiş çizgisi görülmektedir. Kaynak bölgelerinin kıyaslaması amacıyla 1 numaralı deney koşulu için Şekil 6.6.b, 9 numaralı deney koşulu için Şekil 6.6.e incelenmiştir. Şekil 6.6.b'de kaynak oluşu veya cüruf kalıntısı benzeri kusurlar görülürken, Şekil 6.6.e'de kusursuz bir kaynak yüzeyi oluşumu görülmektedir. Şekil 6.6.c'de 1 numaralı deney koşulu için kaynak bölgesinden Hardox-500 malzemeye geçiş bölgesi, Şekil 6.6.f'de ise 9 numaralı deney koşulu için kaynak bölgesinden Hardox-500 malzemeye geçiş bölgesi görülmektedir. Hardox-500 malzeme yüksek mukavemete sahip olduğu için her iki şekilde de belirgin geçiş çizgisi görülmektedir. Kaynak geçişi davranışı açısından Şekil 6.6.c'de yaygın bir geçiş hattı görülürken, Şekil 6.6.f'de kararlı bir geçiş çizgisi görülmektedir. Elde edilen sonuçlar kaynak bölgesine enerji girişi artışına bağlı olarak kararlı bir kaynak işleminin gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.



Şekil 6. 3. SEM görüntüleri: (a) St-52 baz malzeme, (b) Hardox-500 baz malzeme, (c) 180 A, 26,6 V kaynak bölgesi, (d) 200 A, 27,8 V kaynak bölgesi, (e) 180 A, 26,6 V ITAB bölgesi, (f) 200 A, 27,8.



Şekil 6. 4. OM'den elde edilen kaynak (b, e) ve St-52 (a, d) ile Hardox-500 (c, f) geçiş bölgesi görüntüleri.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu çalışmada yüksek mukavemet ve aşınma direncine sahip Hardox-500 malzeme ile genel makine imalatında kullanılan St-52 (S355) malzemenin MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Farklı akım ve voltaj parametrelerinde tam faktöriyel tasarıma göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Kaynaklanan numunelerin birleşme kabiliyeti çekme deneyleri ve sertlik ölçüm testleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçları istatistiki olarak analiz edilmiş ve SEM-OM görüntüleri ile nicel analiz sonuçları doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1. Kaynak edilebilirliği sağlayan optimum değerler 200 A ve 27,8 V'dir.
2. 180 A 27,8 V altı değerlerde kararlı bir kaynak yapısı elde edilememiştir.
3. 180 A 26,6 V koşullarında elde edilen kaynaklı bölgenin içyapısında boşluk kusurları olduğu görülmüş ve çekme deneyinde deformasyon kaynak bölgesinde gerçekleşmiştir.
4. Akım ve voltaj değerlerine bağlı olarak hesaplanan kaynak enerjisi ile kaynaklı numunelerin maksimum çekme gerilmesi ve sertlik değerleri arasında sırasıyla +0,57 ve +0,50 oranlarında pozitif yönlü korelasyon ilişkisi bulunmaktadır.
5. ANOVA sonuçlarına göre; gerilme parametresi üzerinde voltaj parametresinin %59,68, akım parametresinin ise %7,56 oranında etkili olduğu, sertlik parametresi üzerinde ise voltaj parametresinin %79, akım parametresinin ise %3,20 oranında etkili olduğu belirlenmiştir.

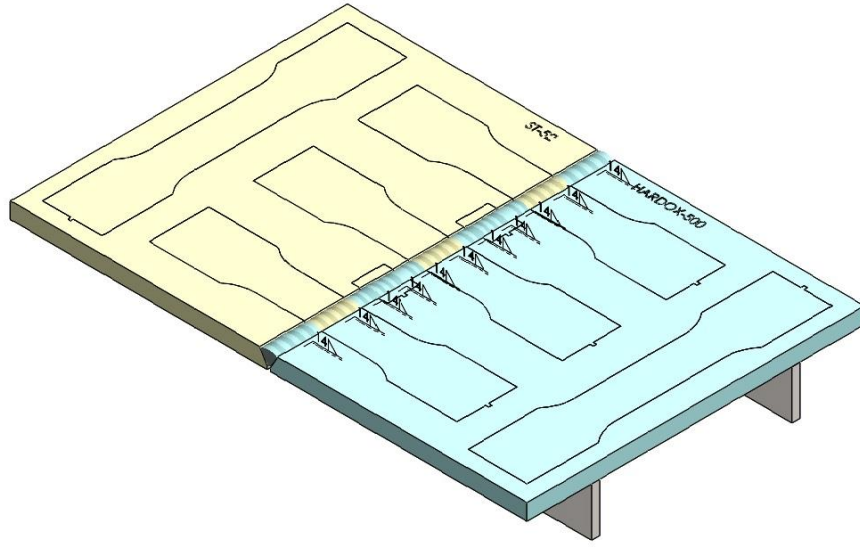
KAYNAKLAR

1. Abioye, T. E., Ariwoola, O. E., Ogedengbe, T. I., Farayibi, P. K., and Gbadeyan, O. O., "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: Proceedings*, 17: 871–877 (2019).
2. Vijay, S., Rajanarayanan, S., and Ganeshan, G. N., "Analysis on mechanical properties of gas tungsten arc welded dissimilar aluminium alloy (Al2024 & Al6063)", *Materials Today: Proceedings*, (xxxx): (2019).
3. Sharma, P. and Dwivedi, D. K., "A-TIG welding of dissimilar P92 steel and 304H austenitic stainless steel: Mechanisms, microstructure and mechanical properties", *Journal Of Manufacturing Processes*, 44 (January): 166–178 (2019).
4. Wang, X., Mao, S., Chen, P., Liu, Y., Ning, J., Li, H., Zang, K., Zhang, Z., and Han, X., "Evolution of microstructure and mechanical properties of a dissimilar aluminium alloy weldment", *Materials And Design*, 90: 230–237 (2016).
5. Nie, F., Dong, H., Chen, S., Li, P., Wang, L., Zhao, Z., Li, X., and Zhang, H., "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 (2018).
6. Gökdaş, M., "OPTİM 700 MC – St 37 Çelik Malzemelerin Plazma Transfer Ark Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliği", *Fırat Üniversitesi*, (2018).
7. Piroğlu, F., Uzgider, E., Vural, M., and Çağlayan, Ö. B., "Geçmişten Bugüne Yapı Çeliği Ve Önemli Yapısal Özellikleri", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (2003).
8. Internet: Prof. Dr. ALSARAN, A., "Çelikler ve Demir Dışı Metaller", <https://docplayer.biz.tr/4475105-Malzeme-bilgisi-prof-dr-akgun-alsaran-siniflandirma-ve-standart-gosterim-celikler-ve-demir-disi-metaller.html> .
9. Aran, A., "Malzeme Bilgisi", İstanbul, (2008).
10. Eker, A. A., "Demir-Karbon Denge Diyagramı", İstanbul, (2008).
11. Oğuz, B., "Malzeme Bilgisine Giriş", *OERLIKON*, (1989).
12. Keleş, Ö., "Malzeme Bilimi I Ders Notları", İstanbul, (2008).

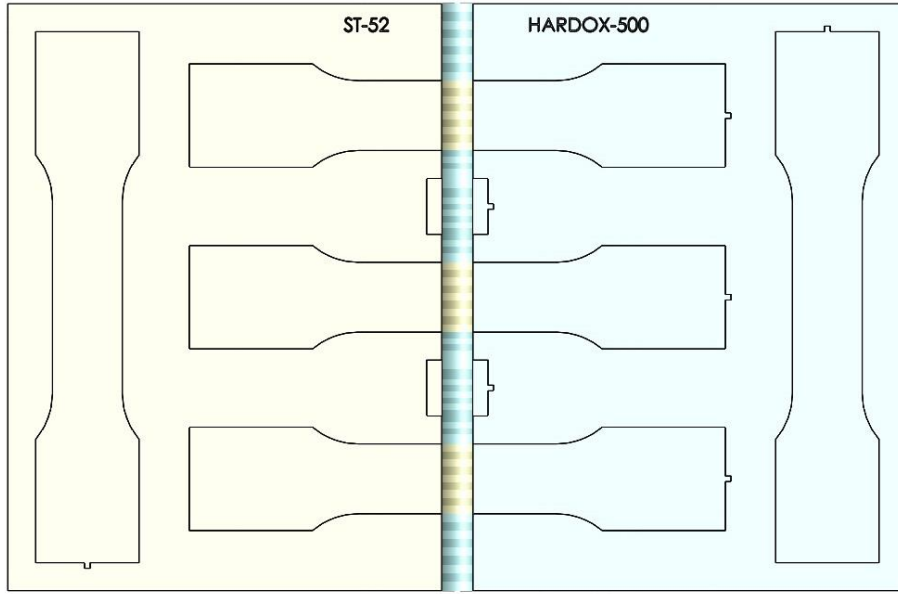
13. Erol, R., "Gaz Altı Ark Kaynağı Yönteminde Proses Parametrelerinin Yapıdaki Çarpılmaya Etkisinin İncelenmesi", *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi*, (2017).
14. Anık, S. and Vural, M., "Gazaltı Ark Kaynağı", .
15. Eryürek, B., "Gazaltı Ark Kaynağı", İstanbul, (2007).
16. Aslanlar, S., "Kaynak Teknolojisi ve Uygulamaları", Sakarya, (2009).
17. Ertürk, İ., "Gazaltı Kaynak Yöntemleri", Ankara, .
18. Yılmaz, R., "Mıg-Mag Gazaltı Kaynağında Kaynak Parametreleri ve Seçimi-Malzeme Bilgisi", Sakarya, .
19. Komaç, E., "Askaynak Teknik Eğitim El Kitabı", İstanbul, (2009).
20. Oğuz, B., "Ark Kaynağı El Kitabı", *OERLIKON*, İstanbul, (1975).
21. Tülbentçi, K., "Mıg-Mag Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağı", İstanbul, (1990).
22. Bertrand, R., Robe, H., Texier, D., Zedan, Y., Feulvarch, E., and Bocher, P., "Analysis of AA2XXX/AA7XXX friction stir welds", *Journal Of Materials Processing Technology*, 271 (March): 312–324 (2019).
23. "Tawers Robot Kollar", www.magmaweld.com.tr/panasonic-tm-2000/r/8115 .
24. Çetin, M. H., Korkmaz, Ş., ELGADDAFI, K. A. B., and Çuğ, H., "Östenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 6: 1068–1081 (2018).
25. Nalbant, M., Gökkaya, H., and Sur, G., "Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning", *Materials And Design*, 28 (4): 1379–1385 (2007).



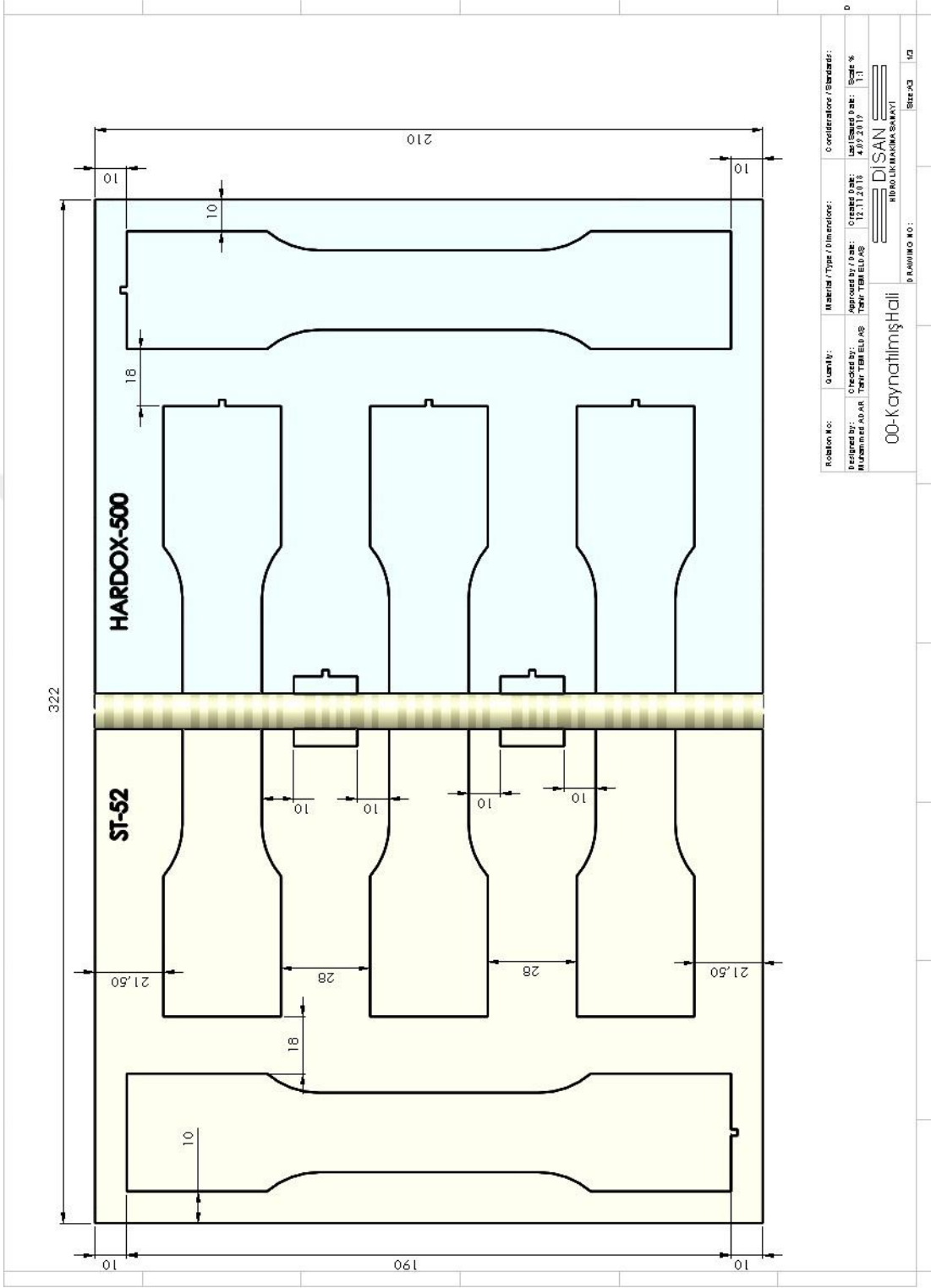
EK AÇIKLAMALAR A.



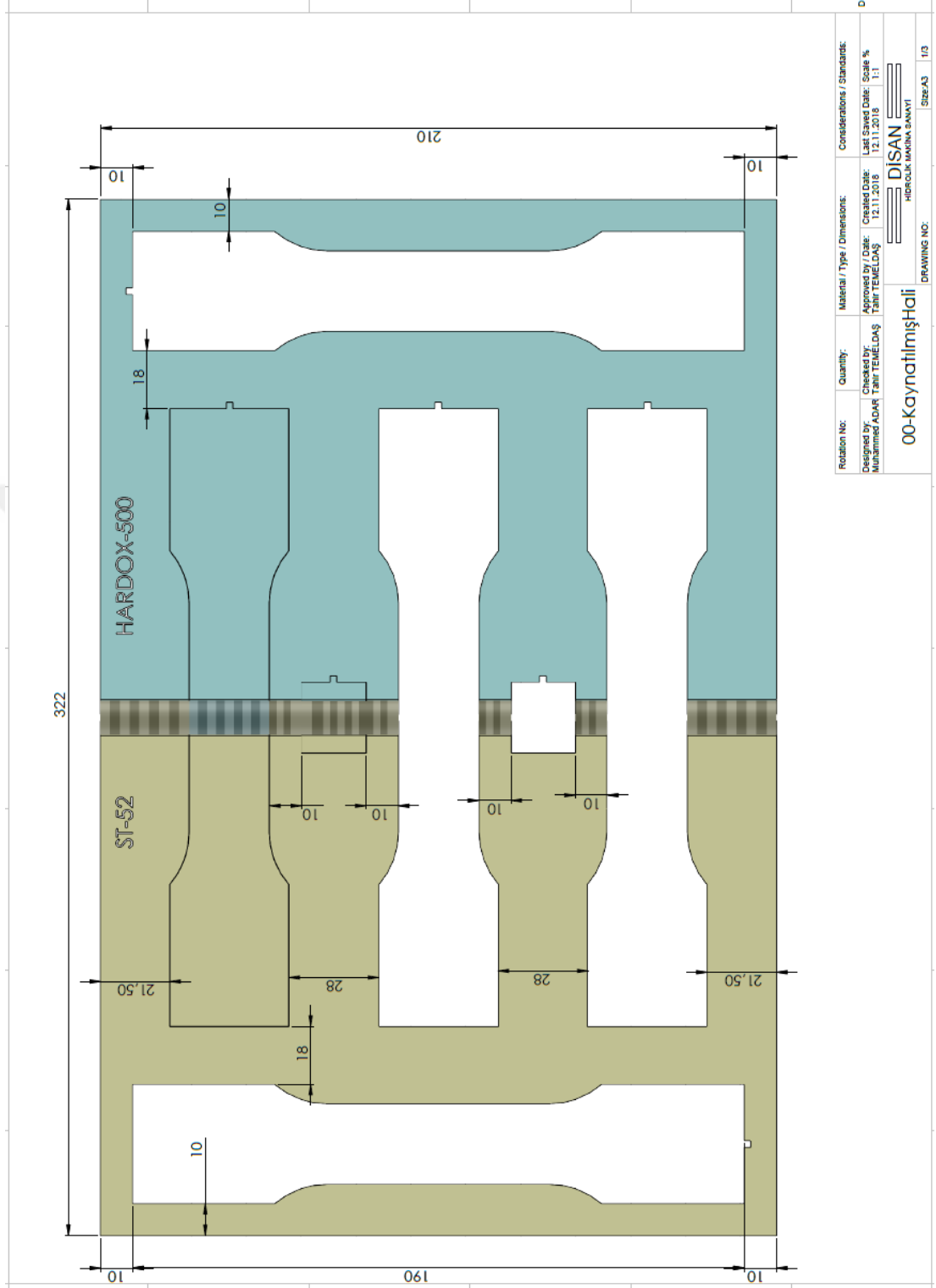
Şekil Ek A. 1. Malzemelerin kaynak sonrası izometrik görünümü.



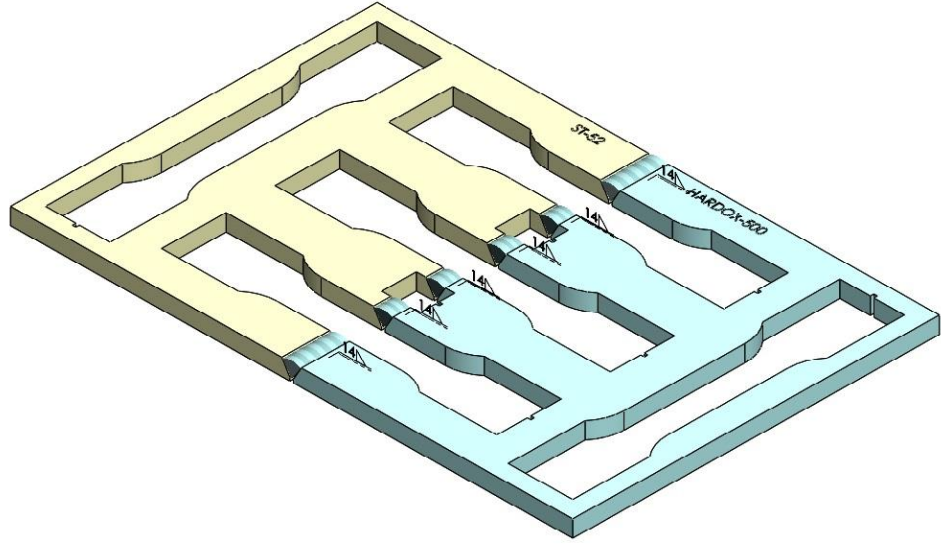
Şekil Ek A. 2. Malzemelerin kaynak sonrası üstten görünümü.



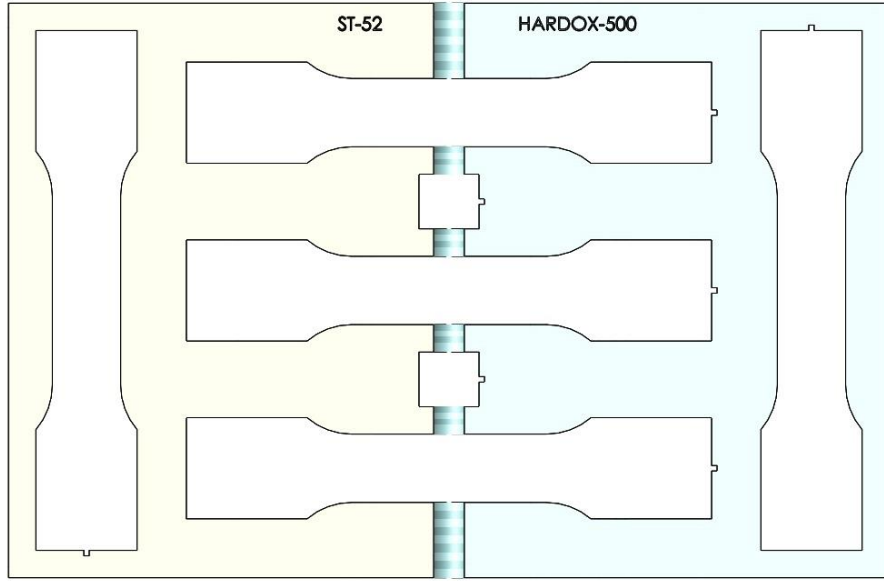
Şekil Ek A. 3. Malzemelerin kaynak sonrası teknik resim görünümü.



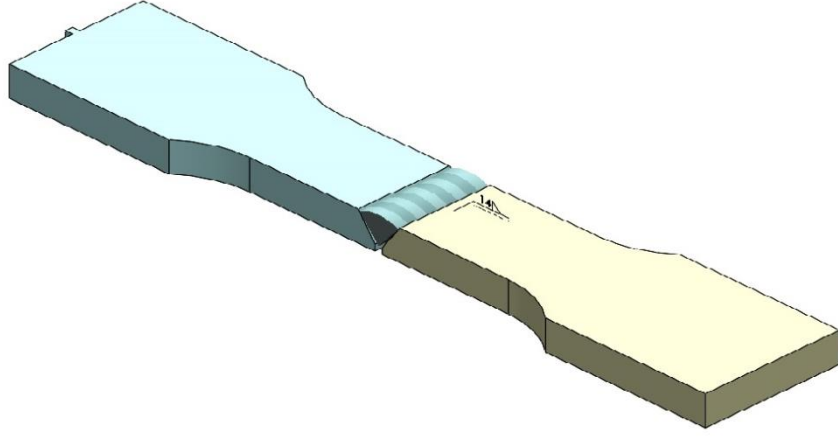
Şekil Ek A. 4. Kaynatılmış malzemelerden numune parçalarının kesimi aşamasının teknik resim görünümü.



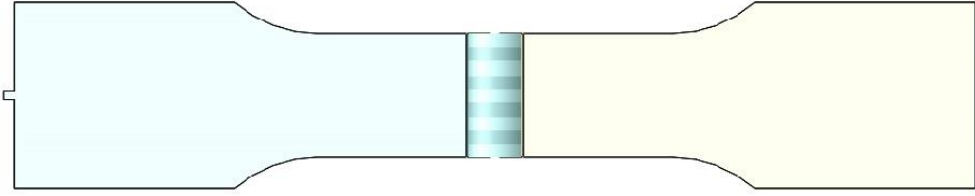
Şekil Ek A. 5. Kaynatılmış malzemelerin numune parçalarının kesimi bittikten sonra geriye kalan malzemenin izometrik görünümü.



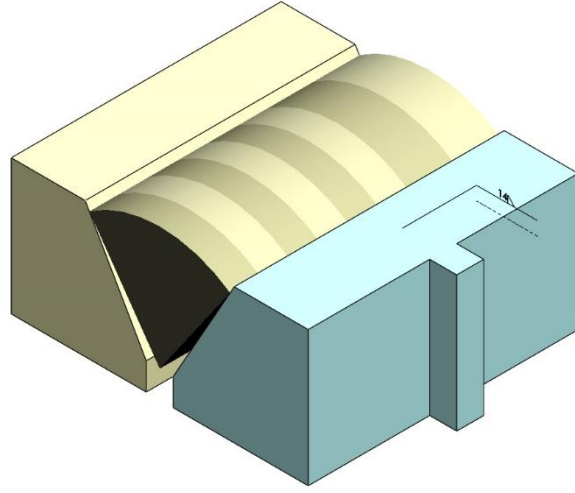
Şekil Ek A. 6. Kaynatılmış malzemelerin numune parçalarının kesimi bittikten sonra geriye kalan malzemenin üstten görünümü.



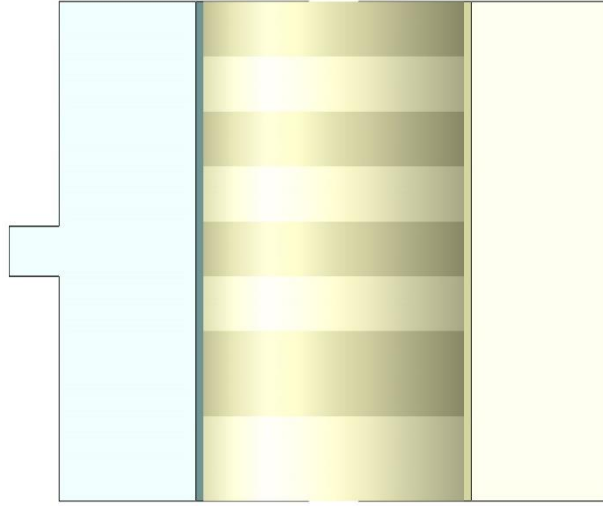
Şekil Ek A. 7. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının izometrik görünümü.



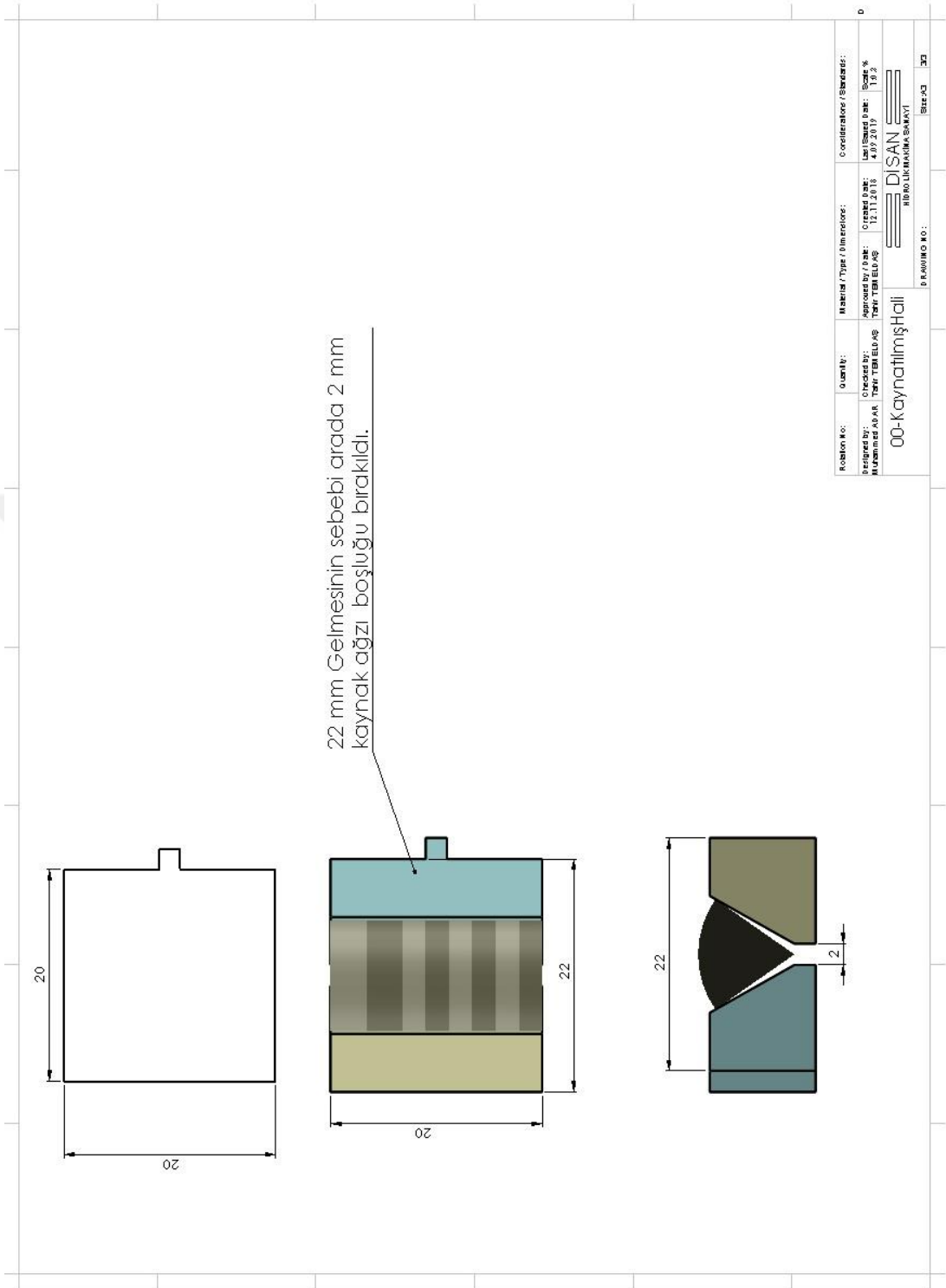
Şekil Ek A. 8. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının üstten görünümü.



Şekil Ek A. 10. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının izometrik görünümü.

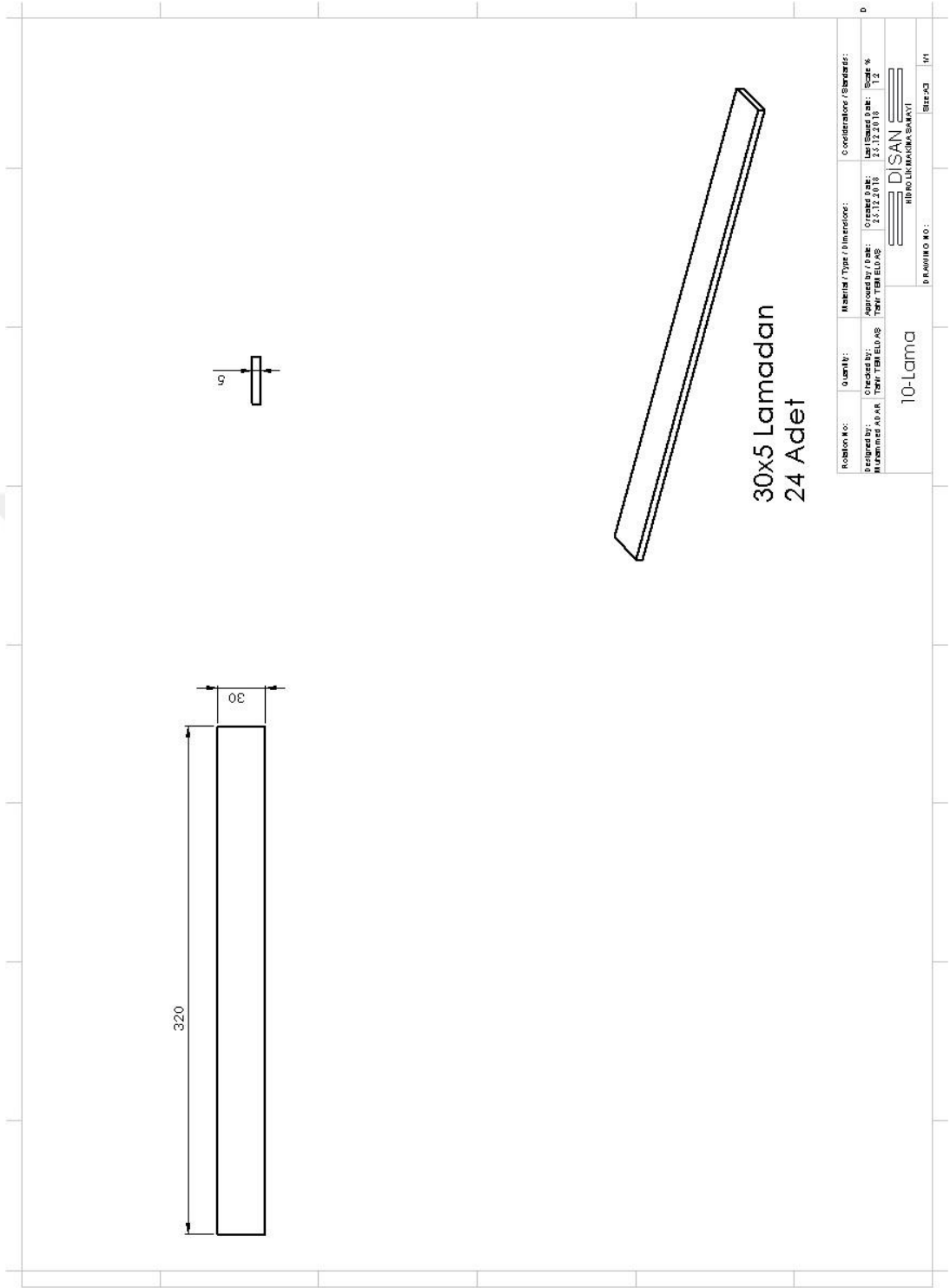


Şekil Ek A. 11. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının üstten görünümü.

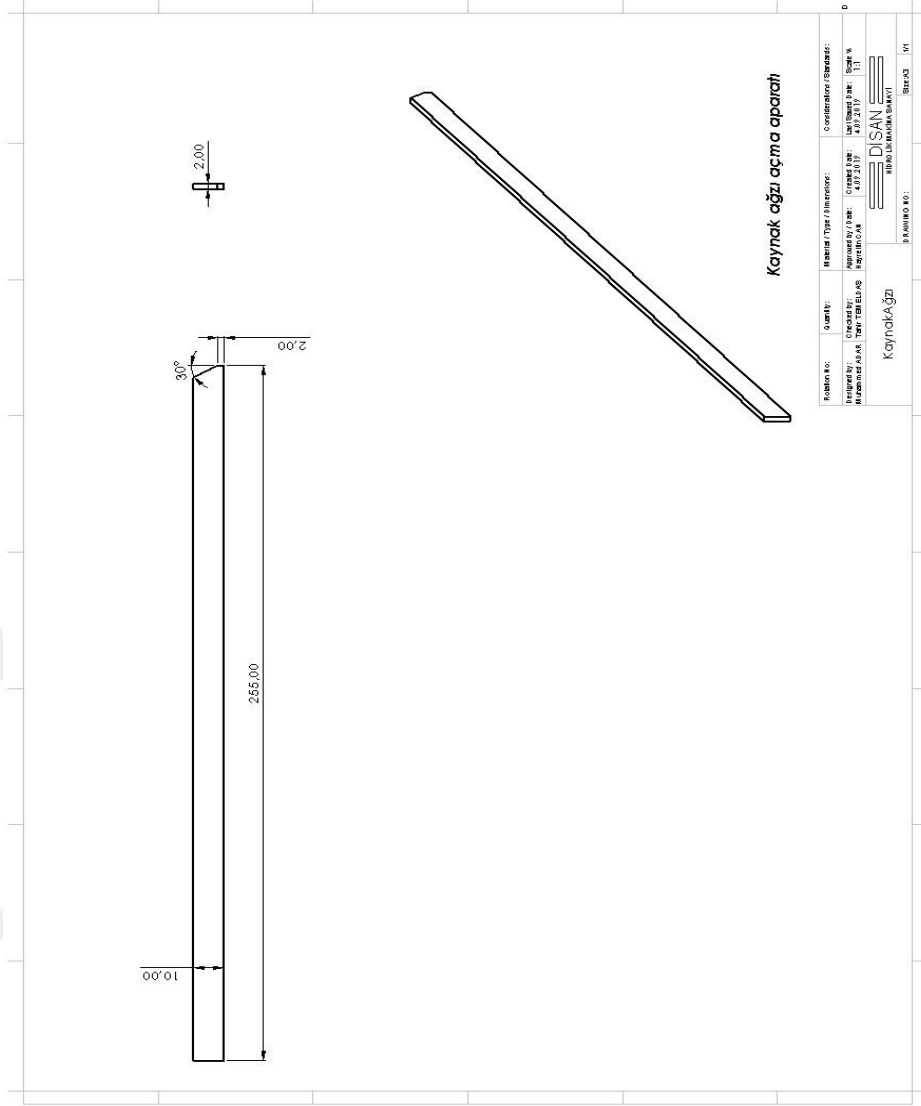


Robotun No:	Quantity:	Material Type / Ölçüleri:	Controlör / Standart:
00-000000	1	304 / 100x100x2	ISO 9001
Designed by:	Checked by:	Approved by / Onay:	Last/Stand date:
Muhammed ADAR	Yazan: TEH ELDAG	TEH ELDAG	4.02.2019
00-KaynatılmışHali			Scale: %
			100
PROJE NO:			304
DOKÜMAN NO:			000000

Şekil Ek A. 12. Kaynatılmış ve kesilmiş numune parçasının teknik resim görünümü.



Şekil Ek A. 13. Kaynak çekmesini önlemek için kaynatma yönünün tersine konulan destek lamasının teknik resim görünümü.



Model No:	Quantity:	Material Type / Material:	Consideration / Remarks:
Designed by / Drawn by:	Checked by / Approved by / Date:	Part Name / Part No:	Sheet No / Total Sheets:
Manufactured by / Supplier:	4272	DISAN	0
Kaynak Ağızı			Revizyon No: 01
			Revizyon İçeriği:

Şekil Ek A. 14. Kaynak ağızını ölçülere uygun şekilde açılabilmesi için kaynak ağızı açma aparatının teknik resim görünümü.

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed ADAR, 1992 yılında İstanbul'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2010 yılında Mehmet Tekinalp Lisesi Sayısal Bölümünden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği (İng.) Bölümünde öğrenime başlayıp 2016 yılında mezun oldum. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansa başladı. 2016 yılından beri İstanbul'da bulunan Disan Hidrolik Makine firmasında Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmaktayım.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Ziyagökalp Mahallesi Atatürk Caddesi Meltem Sokak No:55 Daire:3
Başakşehir / İstanbul

Tel : (505) 226 77 76

E-posta : muhammedadarr@gmail.com