

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMPERLENMİŞ MARTENZİT – TERMOMEKANİK HADDELENMİŞ ÇELİK
KAYNAKLI BAĞLANTI MEKANİK ÖZELLİKLERİNE KAYNAK SONRASI
YAPILAN ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalürji ve Malzeme Müh. Umut Yaşar UZUNALI

ARALIK 2015
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMPERLENMİŞ MARTENZİT - TERMOMEKANİK HADDELENMİŞ ÇELİK
KAYNAKLI BAĞLANTI MEKANİK ÖZELLİKLERİNE KAYNAK SONRASI YAPILAN
ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ

Metalürji ve Malzeme Müh. Umut Yaşar UZUNALI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"METALÜRJİ VE MALZEME YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 / 12 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 30 / 12 / 2015

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Trabzon 2015

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Umut Yaşar UZUNALI Tarafından Hazırlanan**

**TEMPERLENMİŞ MARTENZİT - TERMOMEKANİK HADDELENMİŞ ÇELİK
KAYNAKLI BAĞLANTI MEKANİK ÖZELLİKLERİNE KAYNAK SONRASI YAPILAN
ISIL İŞLEMLERİN ETKİLERİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 15 / 12 / 2015 gün ve 1631 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr.Mehmet GAVGALI

Üye : Doç.Dr.Hamdullah ÇUVALCI

Üye : Doç.Dr.Aykut ÇANAKÇI

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Temperlenmiş martenzit–termomekanik haddelenmiş çelik kaynaklı bağlantı mekanik özelliklerine kaynak sonrası yapılan ısıtıl işlemin etkileri adlı tez konum kapsamında yürütülen ve tamamlanan bu çalışmada, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, bu çalışmaların her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, başta danışman hocam Sayın Doç.Dr. Hamdullah ÇUVALCI'ya,

Çalışma kapsamında yardımlarını esirgemeyen Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden Arş. Gör. Serdar ÖZKAYA ve İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Barbaros ATMACA'ya,

Eğitimim süresince maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen ve beni yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim.

Umut Yaşar UZUNALI

Trabzon, 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Temperlenmiş martenzit – termomekanik haddelenmiş çelik kaynaklı bağlantı mekanik özelliklerine kaynak sonrası yapılan ısıtıl işlemin etkileri” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç.Dr. Hamdullah ÇUVALCI’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 30/12/2015

Umut Yaşar UZUNALI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	3
1.3. Amaç	5
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. MAG Kaynak Yönteminin Tanımı ve Kaynak Donanımı.....	7
2.2. MAG Kaynak Sarf Malzemeleri ve Özellikleri.....	22
2.2.1. Elektrotlar	22
2.2.2. Koruyucu Gazlar.....	27
2.2.2.1. Koruyucu Soygazlar	31
2.2.2.1.1. Argon ve Helyum Karışımı	32
2.2.2.1.2. Argon ve Helyuma Oksijen ve Karbondioksit İlavesi.....	33
2.2.2.2. Karbondioksit	33
2.3. MAG Kaynağında Ark Oluşumu ve Çeşitleri	35
2.3.1. Ayar Mekanizmaları	35
2.3.2. Ark Oluşumu ve Malzeme Geçişİ	36
2.3.3. Ark Çeşitleri	39
2.3.3.1. Kısa Ark.....	39
2.3.3.2. Sprey Ark.....	41

2.3.3.3.	Geçiş Arkı	41
2.3.3.4.	Uzun Ark	42
2.3.3.5.	Darbeli Ark	43
2.4.	MAG Kaynak Makinalarının Ayarlanması	44
2.4.1.	Konvansiyonel Ark.....	44
2.4.2.	Darbeli Ark	45
2.4.3.	Ayar Parametrelerinin Dikiş Formuna Etkisi	47
2.4.3.1.	Ark Geriliminin Etkisi	47
2.4.3.2.	Tel Hızının Etkisi.....	47
2.4.3.3.	Temas Borusu Mesafesi	48
2.4.3.4.	Kaynak Hızı.....	49
2.5.	MAG Kaynağında Parametre Seçimi	50
2.6.	Temperlenmiş Martenzit ve Termomekanik Haddelenmiş Çeliklerin Özellikleri	51
2.6.1.	Hardox Çeliklerinin Özellikleri	53
2.6.2.	Optim700MC Çeliklerinin Özellikleri.....	56
2.7.	Temperlenmiş Martenzit-Termomekanik Haddelenmiş Çeliklerin Kaynaklanabilirlikleri.....	57
3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
3.1.	Materyal ve Amaç	60
3.2.	Deney Malzemelerinin Kaynak Öncesi Değerlerinin Analizleri.....	60
3.3.	Deney Malzemelerinin Kaynak İşlemleri.....	62
3.4.	Deney Malzemelerinin Kaynak Sonrası Isıl İşlemleri.....	62
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	64
4.1.	Deney Numunelerinden Elde Edilen Sonuçlar	64
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
6.	KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TEMPERLENMİŞ MARTENZİT – TERMOMEKANİK HADDELENMİŞ ÇELİK KAYNAKLI BAĞLANTILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE KAYNAK SONRASI YAPILAN ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ

Umut Yaşar UZUNALI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği
Danışman: Doç.Dr. Hamdullah ÇUVALCI
2015,79 sayfa

Bu çalışmada temperlenmiş martenzit – termomekanik haddelenmiş çelik kaynaklı birleştirme mekanik özelliklerine kaynak sonrası parçaya uygulanan ısıl işlemin etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Kaynaklı bağlantı EN15609, EN15614 vb. ilgili standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak prosesi açısından Hardox450 ve Optim700MC malzemeler sahip oldukları (kısmen) yüksek karbon eşdeğeri sebebiyle seçilmiştir. Kaynak prosesi öncesi mikro analizler, sertlik testleri ve kimyasal analiz testleri test parçalarının doğrulanması için yapılmıştır. Test parçaları MAG gazaltı kaynak yöntemiyle PB pozisyonunda kaynaklanmıştır. Kaynak uygulamalarından sonra, tüm test numunelerine kaynak sonrası ısıl işlem aynı sürelerde fakat farklı sıcaklık değerlerinde uygulanmıştır. 150⁰C, 300⁰C ve 450 ⁰C kaynak sonrası uygulanacak olan ısıl işlem sıcaklık değerleri olarak belirlenmiştir ve bu ısıl işlem parametreleri her bir numuneye ayrı ayrı uygulanmıştır. Uygulanan ısıl işlem sonrası, enine kesit parçaları kaynak sonrası ısıl işleme maruz kalan bölgelerden alınmıştır. Numuneler mikroskobik muayeneye, sertlik testlerine ve tahribatsız muayene testlerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, kaynak sonrası uygulanan ısıl işlem sıcaklıklarının artmasıyla birlikte temperlenmiş martenzit çeliğin ısı tesiri altındaki bölgesinde mevcut olan sertlik artışının azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Temperlenmiş Martenzit, Termomekanik Haddelenmiş Çelik,
Kaynak Sonrası Isıl İşlem, Tahribatlı Testler, Tahribatsız Testler

Master Thesis

SUMMARY

THE EFFECTS OF POST WELD HEAT TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF TEMPERED MARTENSITE AND HIGH STRENGTH STEEL WELDED JOINTS

Umut Yaşar UZUNALI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Metallurgy and Materials Engineering
Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Hamdullah ÇUVALCI
2015, 79 pages

In this study, it was aimed to investigate post weld heat effects on the mechanical properties of tempered martensite steel and high strength steel welded joints. These welded joints were designed in accordance with related standards which were EN 15609, EN 15614 etc. In terms of welding process, Hardox450 and Optim700MC were chosen due to their partially high carbon equivalent. Chemical analysis, hardness tests and microscopic examination were implemented to validate the mechanical properties of experiment parts before the welding process. Test pieces were joined with MAG welding method applied in PB position. In pursuit of the welding operation, post weld heat treatments were applied on same duration and different temperatures for each specimen. 150°C, 300°C and 450°C were determined as post weld heat treatment temperatures. After the post weld heat treatment, cross sections were taken from the area exposed to post weld heat. Specimens were subjected to microscopic examination, hardness test and non-destructive testing. As a consequence, it was determined that hardness values in heat affected zones of tempered martensite steel were decreased with increasing post weld temperatures.

Key Words; Tempered Martensite, Thermomechanically Rolled Steels, Post Weld Heat Treatments, Destructive Tests, Non-destructive Tests

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. MAG kaynak yöntemi ve ekipmanları	7
Şekil 2. MAG kaynak prensibi	8
Şekil 3. Otomatik kaynak makinası donanımı [16]	9
Şekil 4. Su soğutmalı torç [18]	10
Şekil 5. Kaynak torcu temel elemanları [15].....	11
Şekil 6. Duman emmeli torç [19]	11
Şekil 7. İki makaralı ve dört makaralı elektrot besleme üniteleri [22]	13
Şekil 8. Farklı tipteki makara tipleri	14
Şekil 9. Torç-iş parçası ara mesafe değişiminin parametrelerle ilişkisi [17].....	15
Şekil 10. Güç ünitesi gerilim akım eğrisi [17]	16
Şekil 11. Ark uzunluğunun otomatik ayarı [15]	17
Şekil 12. Akım ve gerilim parametrelerine göre oluşan ark çeşitleri [24]	18
Şekil 13. Güç ünitesi voltaj amper karakteristik eğrisi [25]	18
Şekil 14. Kaynak sırasında oluşan büzme kuvveti	19
Şekil 15. Endüktansın akım artışına olan etkisi [26]	20
Şekil 16. Gaz regülatörü	21
Şekil 17. Elektrot ünitesi	22
Şekil 18. Büyük boy ve küçük boy makara kaynak telleri [28]	23
Şekil 19. Büyük boy makaralar için tel besleme kovaları	23
Şekil 20. Özlü teller ve üretim şekilleri	26
Şekil 21. Kapılar nozül ve rotametre [16]	30
Şekil 22. Gaz nozülü çapına ve akım şiddetine bağlı olarak koruyucu gaz debisi [16]	31
Şekil 23. Damla geçişi sırasında oluşan kuvvetler	36
Şekil 24. Farklı akım şiddetine ve ısınma durumuna göre pinç kuvveti	37
Şekil 25. Damlacıkların geçişinde koruyucu gazların etkisi [16].....	38
Şekil 26. Kısa arkta damla geçişi sırasında parametre değişimleri [16].....	40
Şekil 27. Kısa ark yönteminde kaynak metalinin kaynak havuzuna geçişi [34]	40
Şekil 28. Sprey ark yönteminde kaynak metalinin kaynak havuzuna geçişi [34]	41
Şekil 29. Geçiş ark yönteminde kaynak metalinin kaynak havuzuna geçişi [34]	42

Şekil 30. Uzun ark geçişi sırasında parametre değişimleri [16]	43
Şekil 31. Tel hızı artışının kaynak gerilimine olan etkisi [16]	44
Şekil 32. Darbeli ark yönteminde parametrelerin değişimi	45
Şekil 33. SG2, SG3 kaynak telleri için tel hızı ve darbe frekansları oranları [16]	47
Şekil 34. Temas borusu mesafesinin dikiş geometrisi ve akım şiddetine etkisi [16]	48
Şekil 35. Kaynak hızının nüfuziyet derinliğine etkisi [16]	50
Şekil 36. Ötektoid altı ve ötektoid üstü çelikler için östenitleme sıcaklıkları	52
Şekil 37. Farklı temperleme parametrelerine sahip numunelerin iç yapısı	53
Şekil 38. Hardox çeliği üretim akış şeması	54
Şekil 39. Hardox400 kaynaklı parça sertlik testi sonuçları [42]	58
Şekil 40. Isıl işlem ve sertlik testi numuneleri	63
Şekil 41. Numunelerin görsel muayene sonuçları	64
Şekil 42. Numunelerin penetrant muayene sonuçları	65
Şekil 43. Numunelerin manyetik muayene sonuçları	65
Şekil 44. Numunelerden alınan sertliklerin numune üzerindeki konumları	66
Şekil 45. Tüm numunelerin hat1'e göre sertlik sonuçları	67
Şekil 46. Tüm numunelerin hat2'ye göre sertlik sonuçları	67
Şekil 47. Tüm numunelerin hat3'e göre sertlik sonuçları	67
Şekil 48. Tüm numunelerin hat4'e göre sertlik sonuçları	68
Şekil 49. Tüm numunelerin hat5'e göre sertlik sonuçları	68
Şekil 50. Tüm numunelerin hat6'ya göre sertlik sonuçları	68
Şekil 51. A0 ve B0 numunelerinin sertlik sonuçları	69
Şekil 52. Kaynak sırasında kaynak metali ve ITAB'daki sıcaklık dağılımı [16]	70
Şekil 53. A0, B0, A3 ve B3 numunelerinin sertlik sonuçları	71
Şekil 54. A0 kaynaklı numune mikroyapı görüntüleri	73
Şekil 55. A1 kaynaklı numune mikroyapı görüntüleri	73
Şekil 56. A2 kaynaklı numune mikroyapı görüntüleri	74
Şekil 57. A3 kaynaklı numune mikroyapı görüntüleri	74

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Temas tüpü boyutları ve malzeme grupları [20]	12
Tablo 2. TSE standardına göre kaynak telleri kategorilendirilmesi	25
Tablo 3. DIN standardına göre kaynak telleri kategorilendirilmesi	25
Tablo 4. Kaynak telleri kimyasal analiz değerleri	26
Tablo 5. EN 439'a göre koruyucu gaz sınıflandırması.....	29
Tablo 6. Koruyucu gazların mekanik değerlere ve kaynağın özelliklerine olan etkisi	29
Tablo 7. Ana metale göre seçilen koruyucu gazın üstünlükleri	34
Tablo 8. Ark çeşidine bağlı olarak temas borusu mesafesi	49
Tablo 9. EN ISO 15614'e göre kaynak test parçalarının tabi tutulduğu testler.....	50
Tablo 10. Örnek kaynak prosedür şartnamesi	50
Tablo 11. Hardox çeliklerinin yüzdece alaşım elementleri [38]	55
Tablo 12. Hardox çelikleri mekanik özellikleri ve karbon eşdeğerleri [38].....	55
Tablo 13. Optim çelikleri mekanik özellikleri ve karbon eşdeğerleri [39]	56
Tablo 14. Optim çelikleri kimyasal özellikleri [39]	56
Tablo 15. Et kalınlığı ve malzeme türüne göre temperleme ve pasolararası sıcaklıklar ...	57
Tablo 16. Hardox450 çeliği kimyasal analiz tablosu [41].....	58
Tablo 17. Hardox450 ve Optim700MC kimyasal özellikleri	60
Tablo 18. Hardox450 ve Optim700MC numune sertlik sonuçları	61
Tablo 19. Dolgu metali kimyasal kompozisyonu	61
Tablo 20. Dolgu metali mekanik özellikleri	61
Tablo 21. Koruyucu gaz bileşeni	62
Tablo 22. Kaynaklı numune parametre değerleri	62
Tablo 23. Numunelere uygulanan ısıtım işlem değerleri.....	63
Tablo 24. Numunelerin tahribatsız muayene sonuçları	64

SEMBOLLER DİZİNİ

A	:Akım
ΔA	:Akım farkı
Al	:Alüminyum
Ar	:Argon
C	:Karbon
CO ₂	:Karbondiyoksit
Cr	:Krom
Cu	:Bakır
Dk	:Dakika
Fe	:Demir
He	:Helyum
Hz	:Hertz
Kg	:Kilogram
Lt	:Litre
M	:Metre
Mg	:Magnezyum
Mn	:Mangan
Ni	:Nikel
O ₂	:Oksijen
Si	:Silisyum
Ti	:Titanyum
V	:Voltaj
ΔV	:Voltaj farkı
Zn	:Çinko
Zr	:Zirkonyum

KISALTMALAR DİZİNİ

AC	:Alternatif akım
AISI	:Amerika Demir Çelik Enstitüsü
DC	:Doğru akım
DIN	:Alman Standartları Enstitüsü
GMAW	:Gaz metal ark kaynağı
ITAB	:Isı tesiri altındaki bölge
MAG	:Metal aktif gaz, gazaltı kaynağı
MC	:Termomekanik haddelenmiş çelik
MIG	:Metal inert gaz, gazaltı kaynağı
TIG	:Tungsten inert gaz, gazaltı kaynağı
TSE	:Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1.1. Giriş

Günümüz koşullarında rekabetçi üretimin hızla artması teknolojik yenilikleri de beraberinde getirmektedir. Son yüzyıla bakıldığında üretim yöntemleri (örneğin kaynak prosesleri; sürtünme kaynağı, hibrid kaynağı vb.) , ürünler ve ürünleri oluşturan girdi malzemeler (ıslah çelikleri, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, dual fazlı çelikler vb.) vb. sürekli gelişim ve yeniliklerle en üst seviyelere doğru ilerlemektedir.

Son çeyrek asırda Otomotiv ve Savunma Sanayi'ye baktığımızda; üretimde kullanılan çeliklerde ve kaynak proseslerindeki gelişimi bariz şekilde görmekteyiz. Otomotiv ve Savunma Sanayi'nden örnek verecek olursak; yüksek mukavemetli ve düşük alaşımlı çeliklerin ortaya çıkması, ıslah çeliklerinin efektif şekilde üretilmeye başlanması, yüksek mukavemet değerlerine sahip dual fazlı çeliklerin üretilmesi ile üretimi yapılacak olan araçlarda yüksek et kalınlıkları yerine düşük et kalınlıkları tercih edilmeye başlanmıştır. Düşük et kalınlıklarının tercihi ile birlikte kaynaklı gövde komplelerinde yani araç ağırlıklarında azalma gerçekleşmeye başlamıştır. Düşük ağırlıklı konstrüksiyonlar, 21.yüzyıl dünyasında rekabetçi otomotiv sektöründe kendine çok büyük bir yer açacaktır[1].

Üretimi gerçekleştirilecek araçların ağırlıklarında iyileştirme hemen her firmanın hedefleri arasındadır. Bu sebeple firmalar, araçlarında kullandıkları malzemeler yerine daha hafif (yani et kalınlığı daha düşük) fakat mekanik özellikleri kullandıkları malzemeyle aynı alternatif malzeme arayışları içine girmektedirler. Yurtiçi ve yurtdışı treyler üretimi yapan firmalara bakıldığında araç şasi ve gövdelerinde kullanılmakta olan yapı çeliklerinin yerini ıslah çelikleri, dual fazlı çelikler ve termomekanik haddelenmiş çelikler almaya başlamıştır[2].

Sektöre baktığımızda treyler araçlarda bilhassa hafif araçlar olarak adlandırabileceğimiz treyler araç gruplarında bu tür alternatif malzeme çalışmaları yapılmakta ve çalışmalar sonucu alternatif malzemelerle araç üretimleri devreye alınmaktadır[3]. Ayrıca otobüs gövde iskeletlerinde kullanılan profillerde, diğer araç grubu kaynaklı gövde komplelerinde bu tür alternatif malzeme arayışı son zamanlarda hız kazanmış, birçok firma kullandıkları malzeme yerine bu alternatif malzemelerin

kullanımına geçiş için çalışmalar başlatmış ve hatta birçokları alternatif malzeme kullanımına geçmiştir (alternatif malzemeye geçiş kimi zaman aracın tüm gövde kompleksinin malzeme değişimi kimi zaman da gövdenin belli kısımlarında alternatif malzemeye geçiş şeklinde-dir).

Bu çalışmada temperlenmiş martenzit elik olarak piyasada bulunan Hardox450 ve termomekanik haddelenmiş elik olarak piyasada bulunan Optim700MC elikleri kullanılmıştır.

Yüksek mukavemet ve yüksek sertlik değerlerinin yanında Hardox eliklerinin üstün tokluk değerleri sunması sayesinde, yüksek mukavemet değerlerine ek olarak yüksek tokluk da istenen durumlarda Hardox elikleri ilk tercih olarak öne çıkmaktadır. 1970’li yıllarda bükülebilir aşınma plakaları üretebilme amaçlı başlanan çalışmalar sonucu Hardox elikleri aşınmaya dayanımlı elik olmasının yanında yüksek mukavemet ve yüksek tokluk özellikleri sayesinde tasarımlarda taşıyıcı parça olarak da kullanılmaya başlanmıştır.

Su verme ve temperleme basamaklarına göre Hardox elikleri; Hardox400, Hardox450, Hardox500, Hardox550 ve Hardox600 olarak farklı mukavemet değerlerinde üretilmektedir. Artan mukavemet değerleri ile birlikte kademesine göre içerdiği alaşım element yüzdesi ve karbon eşdeğeri de artış göstermektedir.

Optim MC elikleri, termomekanik haddelenmiş olarak üretilen bu çelikler düşük alaşım içeriklerinin yanında üstün mekanik özelliklere sahip çeliklerdir. Termomekanik proses, bir metalürjik prostestir ve haddeme sırasında ısıl işlem proseslerinin de beraberinde uygulanması sonucu nihai ürünü ortaya çıkartan bir prostestir[4].

Hardox elikleri gibi Optim MC elikleri de artan mukavemet değerlerine göre kategorilendirilmektedir. Optim MC elikleri, Optim500MC, Optim550MC, Optim600MC, Optim650MC ve Optim700MC olarak 5 farklı kademedede üretilmektedir. Bu elikler genellikle hafif elik olarak adlandırılırlar ve özellikle otomotiv sektöründe araçların şasilerinde, gövde iskeletlerinde, damper ve treyler araçlarda yük taşıyıcı görevi üstlenen şasi ve taşıyıcı kısımlarında kullanılmaktadır.

Otomotiv sektörünü, kullanılan kaynak yöntemleri bakımından değerlendirdiğimizde; bilhassa gazaltı kaynak yönteminin (MAG gazaltı kaynak yöntemi) bu sektörde kullanım alanının çok geniş olduğunu görmekteyiz. Tam mekanize ve otomatize edilebilirliği sayesinde gazaltı kaynak yöntemi olan MAG kaynak yöntemi seri üretim yapan hemen her otomotiv sanayi ve yan sanayi kuruluşlarında sıklıkla tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Gazaltı kaynak yöntemlerinden biri olan MAG kaynak yöntemi

ismini Metal Active Gas kelimelerinin baş harflerinden almıştır. Koruyucu gaz atmosferi altında eriyen elektrotla gerçekleşen bu yöntem bilhassa çelik malzemelerin kaynağında sağladığı üstünlüklerden dolayı kaynaklı imalat sektöründe geniş çapta kullanılmaktadır.

1.2. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Kaynaklı konstrüksiyonlarda, konstrüksiyonların hafifletilmesi üretici firmaların öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır. Firmalar bu alana yönelik Ar-Ge çalışmaları yapmakta ve bilhassa üretimde kullanıldıkları malzemelere alternatif olabilecek alternatif malzeme arayışlarını sürdürmektedirler. Alternatif malzemelerin üretilmeye başlanmasıyla birlikte firmalar, bu alternatif malzemelerle dizayn edilen konstrüksiyonların beklentileri karşılayıp karşılayamayacağı sorusunun cevabını da araştırmaktadırlar. Bu sebepten ötürü alternatif malzemeler ve bu malzemelerle imal edilecek olan ya da imal edilmiş olan konstrüksiyonlarla ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Çalışmalar genellikle konstrüksiyonlardan beklenen performansa göre şekillenmektedir. Yapılan çalışmalara baktığımızda örneğin Hardox çelikleri ile ilgili yapılan çalışmalara baktığımızda çalışmalar aşınma dayanımı ve yorulma ömrünü içermektedir. Bununla birlikte Hardox çelikleri yüksek sertlik değerlerine sahip olmasından birçok balistik çalışmada kullanılmış olup balistik performansının da değerlendirilmiş olduğunu görmekteyiz.

Literatüre bakıldığında temperlenmiş martenzit çeliklerin kaynağı, termomekanik haddelenmiş çeliklerin kaynağı, kaynak öncesi uygulanan ısıl işlem etkileri ve kaynak sonrası uygulanan ısıl işlemlerin etkileri gibi çalışmalar olduğu görülmektedir.

Martinez vd. [5] Hardox400 gaz metal ark kaynağı birleştirmelerinde çoklu paso, kaynak öncesi ön ısıtma ve kaynak sonrası yapılan ısıl işlemlerin birleştirmeye olan etkilerini incelemiştir. Martinez vd. yaptıkları çalışma sonucu kaynak öncesi yapılan ön ısıtmanın birleştirmeye kaynak sonrası olumlu yansıdığını, kaynak sonrası yapılan ısıl işlemin birleştirme bölgesi plastisitesinin arttığını ve çoklu paso yönteminin tekli paso ile mukayese edildiğinde herhangi bir avantaj sağlayıp sağlayamadığının bulunamadığını gözlemlemiştir.

Ulewicz vd. [6] Hardox400 ve Hardox450 çeliklerinin yorulma özelliklerini incelemiştir. Hardox çelikleri yapı olarak temperlenmiş martenzit yapısından meydana geldiğinden sağladığı yüksek mukavemet değerleri yanında bu çeliklere sağlamış olduğu yüksek sertlik değerlerinden dolayı bu yapıdaki malzemelerin yorulma ömürlerinin nasıl

bir sonuç vereceğini görmeyi hedeflemiştir. Yürütülen bu çalışmada Ulewicz ve arkadaşları Hardox400 ve Hardox450 çeliklerinin yorulma ömürlerini ince taneli yapı çeliği olan S355J2 ile mukayese ederek değerlendirmiştir.

Smith ve Garwood [7] 50 mm et kalınlığına sahip BS 1501–224 ferritik çelik malzeme kaynaklı plakalarda kaynak sonrası oluşan artık gerilmelere plakalara uygulanan kaynak sonrası ısıt işlemlerin etkisinin olup olmadığını araştırmıştır. Kaynak sonrası ısıt işlem uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonra plakaların hem yüzeyinden hem de kalınlık kesiti boyunca artık gerilme değerleri alarak bu değerleri mukayese etme yoluna gitmişlerdir.

Olabi ve Hashmi [8] kaynaklı yapı çeliklerine uygulanan kaynak sonrası ısıt işlemlerin yapının mekanik özelliklerine olan etkisini ve kaynak sonrası uygulanan ısıt işlemin kaynaklı yapı artık gerilmelerine olan etkisini haritalandırmıştır. Çalışma parçası olarak seçilen I kirişin iki taraftan tek taraflı kaynak işlemleri yapılarak parça hem kaynak sonrası uygulanacak ısıt işlem öncesi hem de kaynak sonrası uygulanan ısıt işlem sonrası artık gerilme ölçümleri yapılarak değerler mukayese edilmiştir. Yapılan çalışma sonucu uygulanan kaynak sonrası ısıt işlemin tokluk değerlerini yaklaşık %15 iyileştirdiğini, artık gerilme değerlerini yaklaşık %70 azalttığını tespit etmiştir.

Olabi ve Hashmi [9] yapmış oldukları bir diğer çalışmada düşük karbonlu çeliklere uygulanan kaynak sonrası ısıt işlemin kaynaklı yapı mekanik özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Alın kaynaklı AISI 1020 çelik numunelerini farklı temperleme sıcaklığı ve sürelerine tabi tutarak numunelerdeki mekanik ve kimyasal değişimi metalürjik testlerle ortaya koymuşlardır.

Dâhil vd. [10] Hardox500 malzeme yapı özelliklerini gelişmiş kesim yöntemlerine göre birbirleri ile mukayese etmiş ve malzeme yapısının değişip değişmediğini araştırmıştır. Numuneleri plazma, lazer, tel erozyon ve su jeti ile kestikten sonra numunelerin her birini metalürjik olarak incelemiştir.

Yılmaz [11] masif ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen Hardox 400 çeliklerinin mekanik ve mikro yapı özelliklerinin değişimini incelemiştir. SG2 ve SG3 masif kaynak telleri ile E 71 T–1 adlı özlü kaynak teli kullanarak V kaynak ağzı formunda Hardox 400 çeliğin kaynak operasyonunu gerçekleştirmiştir. Numunelerin kaynak bölgelerini tarhibatlı testler yardımıyla inceleyerek SG3 kaynak teli ile yüksek hızlarda ve yüksek dolgu miktarlarında kaynak yapılabileceğini tespit etmiştir.

Uluocak [12] ise Hardox450 çeliklerinin MAG kaynak bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. 5 mm et kalınlığında Hardox 450 deney parçaları küt alın formunda optimum kaynak parametrelerinde yatay pozisyonda kaynatılmıştır. Kaynaklı parçalar ışık mikroskobunda, taramalı elektron mikroskobunda incelenmiş mikro sertlik testleri ve çekme testleri yapılmıştır. Birleştirilen çeliğin mekanik davranışı ile ısı tesiri altında kalan bölgelerin değişimlerini izlemiştir.

1.3. Amaç

Gelişen teknoloji ile birlikte kaynaklı imalat sektöründe kullanılabilecek ileri teknoloji malzemelerine olan talepler artmaktadır. Piyasa taleplerindeki bu artış, üretim yöntemleri, yarı ürün, bitmiş ürün vb. alanlarda sürekli gelişimi tetikleyen en önemli unsur olmuştur. Malzeme alanına baktığımızda bu alanda yer alan çelik malzemelerdeki gelişimin son yıllarda hız kazandığını görmekteyiz. Tasarımdan beklenen özelliklere göre malzeme grupları ortaya çıkmaya başlamıştır. Tasarımdan beklenti kimi zaman korozyona karşı direnç, kimi zaman aşınmaya karşı direnç kimi zamanda tasarıma gelen dinamik yüklerden burulma, yorulma vb. yüklere karşı direnç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tasarımdan beklentiler doğal olarak tasarımı ortaya çıkaran üretim malzemelerinden de beklentileri doğurmaktadır. Hardox ve Optim çelikleri bu beklentilerin karşılanabilmesi için firmaların üretmiş oldukları temperlenmiş martenzit ve termomekanik haddelenmiş çeliklerdir.

Hardox çelikleri bu beklentilerden öncelikle aşınma dayanımını sağlama amaçlı olarak üretilmeye başlanmıştır. Bilhassa darbeler sırasında darbelere karşı direnç özelliği sağlayabilmek adına Hardox çelikleri kamyon damperlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Kendi içinde farklı mukavemet değerlerinde üretilmesi sonucu müşteriye istenen mukavemet değerlerine göre Hardox seçimi için olanak sağlamaktadır. Optim çelikleri düşük alaşım değerlerinin yanında yüksek mukavemet değerleri sağlaması sonucu statik ve dinamik konstrüksiyonlarda bu çelik türünün tercih edilmesini sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalara baktığımızda temperlenmiş martenzit-termomekanik haddelenmiş çelik malzeme kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerine kaynak sonrası yapılan ısıtıl işlem etkileri ile ilgili direkt bir çalışmanın pek de olmadığı görülmektedir. Bu sebepten ötürü bu çalışmada Hardox450 ve Optim700MC malzeme çalışma malzemeleri olarak seçilmiştir.

Damper ve treyler üretici firmaların damper gövde ve şasilerinde, treyler şasi ve üst taşıyıcı kısımlarında temperlenmiş martenzit ve termomekanik haddelenmiş çelik kullanması sonucu bu çalışmada Hardox450-Optim700MC kaynaklı bağlantısına kaynak sonrası uygulanan tavlamanın kaynak bölgesine olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Kaynak prosesi açısından Hardox450 malzeme sahip olduğu (kısmen) yüksek karbon eşdeğeri sebebiyle kaynak sonrası ITAB bölgesinde sertlik artışı kuvvetle muhtemeldir. Hardox çelikleri kendi içlerinde sertlik değerlerine göre kategorilendirilse de bu çeliklerin belli karbon eşdeğerleri sonrası için kaynak öncesi ve kaynak sonrası tavlama gerekliliği ortaya çıkabilmektedir.

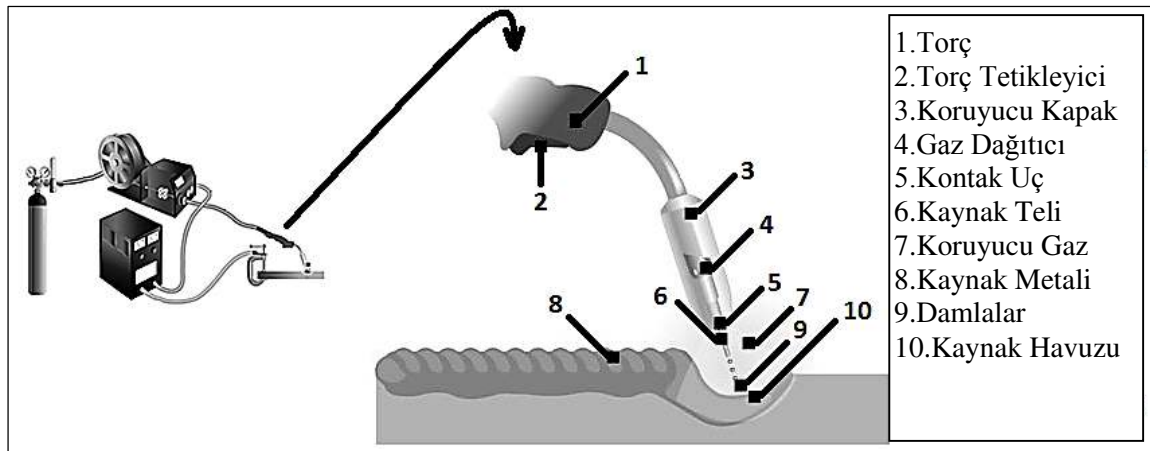
Bu çalışmada, Hardox450 ve Optim700MC kaynaklı bağlantıların kaynak sonrası erime çizgisinin 0-2 mm kadar ana malzeme tarafındaki bölgesinde (ITAB bölgesinde) oluşacak sertlik artışının kaynak sonrası yapılacak olan ısıt işlemlerle yumuşatılması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. MAG Kaynak Yönteminin Tanımı ve Kaynak Donanımı

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve ergiyen bir tel elektrotla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrottan geçen kaynak akımının (DC akım) elektrotta oluşturduğu direnç ısıtması aracılığı ile üretilir[13].

Elektrot çıplak bir tel olup, elektrot besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrot, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur. Ergiyen elektrotla gazaltı kaynağı fikri 1920'lerde ortaya atılmış olmakla birlikte, ticari anlamda ancak 1948'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır[14].



Şekil 1. MAG kaynak yöntemi ve ekipmanları

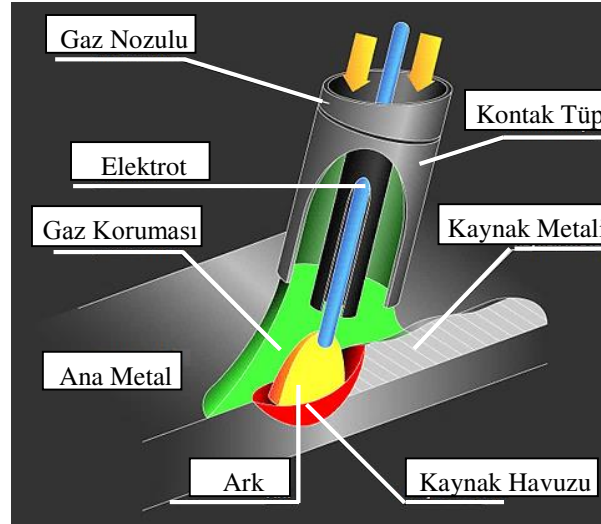
Yöntem önceleri soy gaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrotlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyumun kaynağında kullanılmıştır. Ergiyen metal elektrot ve soy gaz kullanılması nedeniyle yönteme MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO_2) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler

meydana gelmiştir. Bu gelişmeler aktif koruyucu gazın kullanıldığı yönteme MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur. Bu ad ayırımı sadece yöntemin adını belirtmek isteyenlerde sıkıntı yaratmış ve bu nedenle çeşitli ülkeler yöntemi belirtmek amacıyla değişik adlar kullanmaya başlamıştır. Amerika'da bu yönteme "GMAW-Gaz Metal Ark Kaynağı ", İngiltere'de ve Almanya'da ise "MIG/MAG Kaynağı" adı verilmektedir. Ülkemizde de, "Ergiyen Elektrotla Gazaltı veya MIG/MAG Kaynağı" adları kullanılmaktadır[15].

Metal koruyucu gaz kaynağı, koruyucu gaz atmosferi altında sonsuz ve eriyen tel elektrotla yapılan bir ark kaynak yöntemi olup kaynak yöntemi elle veya tam otomatik olarak uygulanabilen bir kaynak yöntemidir. Yöntemde doğru akım kullanılır ve tel elektrot kural olarak artı kutuptadır[16].

MIG/MAG kaynağı son 30 yılda çok yaygınlaşmıştır. Kaynak dolgu malzemelerinin yaklaşık %60'ı bu yöntemle kaynaklanmaktadır[16]. MAG kaynağı metal işleme endüstrisinde hemen her alanda örneğin; çelik yapılarda, gemi inşaatında, kapalı kap ve taşıt araçları imalatında kullanılmaktadır.

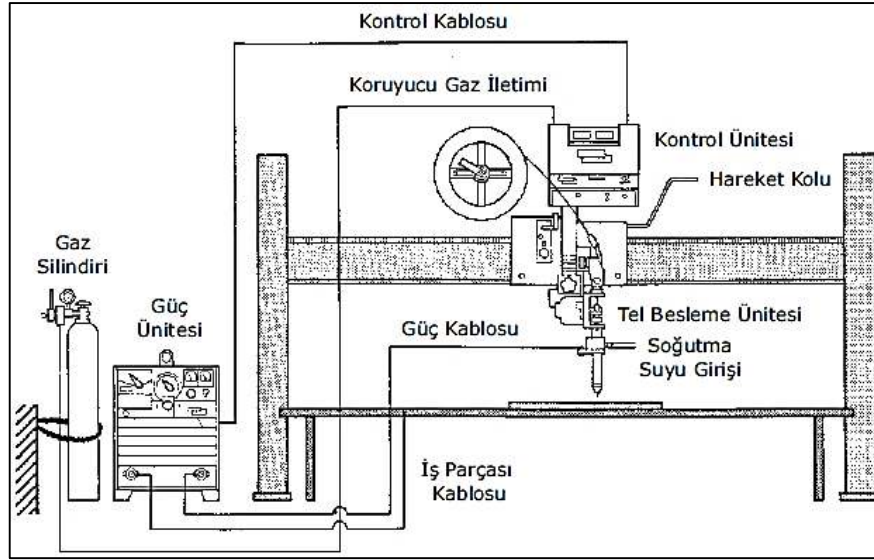
MAG gazaltı kaynak yöntemi, dışarıdan sağlanan gazla korunan, otomatik olarak sürekli beslenen ve eriyen tel elektrot kullanılan bir kaynak yöntemidir.



Şekil 2. MAG kaynak prensibi

Kaynak donanımı temel elemanları aşağıdaki gibidir;

- a) Kaynak torcu (hava veya su soğutmalı)
- b) Elektrot tel besleme ünitesi
- c) Kaynak güç ünitesi
- d) Kontrollü koruyucu gaz iletimi
- e) Elektrot ünitesi
- f) Bağlantı kabloları ve hortumları
- g) Su sirkülasyon sistemi

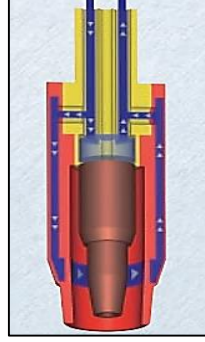


Şekil 3. Otomatik kaynak makinası donanımı[16]

- a) Kaynak torcu;

MAG kaynak yönteminde tel elektrot sürekli olarak ilerlediği için tele elektrik iletimi bir kayar kontak ile sağlanır. Tel torcu terk etmeden önce bakır esaslı bir kontak meme içinden geçerken kaynak akımı ile yüklenir[17]. Kaynak torcu, kaynak elektrotunu ve koruyucu gazı kaynak bölgesine sevk etmek ve elektrik gücünü elektrotta iletmek için kullanılır. Torçlar çalışma alanlarına ve çalışma koşullarına bağlı olarak ağır ve hafif işlerde kullanılan torçlar olarak geniş bir aralıkta üretilmektedir.

Çalışma şartları torcun hangi özellikte olması gerektirdiğini belirleyen en önemli faktördür. Çok uzun sürelerde ve yüksek ergitme güçlerinde yapılacak olan kaynak işlemleri için torcun genellikle su soğutmalı olması istenir.

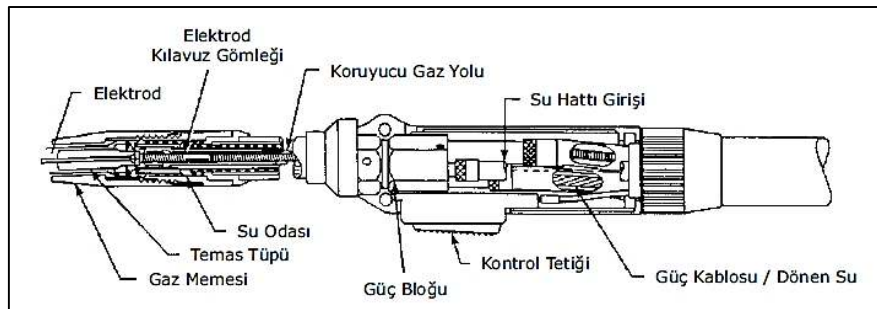


Şekil 4. Su soğutmalı torç[18]

Kaynak sırasında oluşan ark ısı açığa çıkardığından torcun bu çalışma sıcaklıklarına dayanıklı olması istenir. Bu yüzden torçlar çalışma durumlarına göre su soğutmalı ve hava soğutmalı torçlar olarak üretilmektedir.

En genel görüntüsüyle kaynak torcu aşağıda gösterilmiş 7 temel elemandan meydana gelmektedir;

- 1) Temas tüpü
- 2) Gaz memesi
- 3) Elektrot kılavuz hortumu ve gömleği
- 4) Gaz hortumu
- 5) Su hortumu
- 6) Elektrik kablosu
- 7) Tetik



Şekil 5. Kaynak torcu temel elemanları[15]

Günümüzde teknolojinin gelişimiyle kaynak torçlarında da yenilikler ortaya çıkmaktadır. Su soğutmalı ve hava soğutmalı torçlara ilaveten torca eklenen emme sistemleri ile duman emme sistemli torçlar son yıllarda üretilmeye başlamıştır. Alttaki resimde Abicor Binzel firmasına ait bir adet duman emmeli torç gösterilmiştir;



Şekil 6. Duman emmeli torç[19]

Temas tüpü, kaynak için gerekli olan elektrik akımını elektrota iletme için iletkenliği yüksek olan malzemelerden yapılmıştır. İletkenlik bakımından Cu elementi tercih edilmektedir. Ayrıca tüpe diğer özelliklerin (örneğin; mukavemet vb.) de kazandırılması için bazı durumlarda bakır alaşımları temas tüpünün ana malzemesi olarak kullanılmaktadır. Altta Abicor Binzel firması tarafından üretilen temas tüplerinin boyutları ve yapılmış olduğu malzemeleri gösteren tablo mevcuttur;

Malzeme	Çap (mm)	Malzeme	Çap (mm)	Malzeme	Çap (mm)
E-Cu	0.6	E-Cu Al için	-	CuCrZr	0.6
	0.8		0.8		0.8
	1.0		1.0		1.0
	1.2		1.2		1.2

Tablo 1. Temas tüpü boyutları ve malzeme grupları[20]

Temas tüpünün çapı kullanılan elektrot çapından genellikle 0.13–0.25 mm daha büyüktür. Kaynak telinin temas tüpünden geçişi kaynak için önem teşkil eder. Telin tüpten

geçişi ne çok rahat ne de çok sıkı olmalıdır. Temas tüpü çapının kaynak teline çok yakın olması durumunda kaynak telinin banyoya sürülmesi sırasında stabilitesini kaybetme ve kesikli kaynak yapılma ihtimali ortaya çıkmaktadır. Temas tüpünün deliği periyodik şekilde kontrol edilmelidir. Delik çapının aşırı aşınma nedeniyle genişlemesi söz konusu ise temas tüpü değiştirilmelidir. Eğer bu şekilde kullanılacak olursa kötü bir elektriksel temasa ve kararsız bir ark karakteristiğine neden olur. Temas tüpü torca özenle yerleştirilmeli ve koruyucu gaz memesine merkezlenmelidir.

Temas tüpünün gaz memesinin ucuna göre aldığı pozisyon kullanılan metal iletimi tipine bağlı olarak değişir. Kısa devre iletiminde temas tüpü gaz memesinin ucundan dışarıya doğru çıkmıştır. Sprey iletiminde ise temas tüpünün ucu gaz memesinin ucundan yaklaşık 3 mm içeridedir[15].

Gaz memesi tel çapına oranla ayarlanmış olan koruyucu gazın kaynak banyosuna düzgün bir şekilde aktarılmasını sağlar. Kaynak banyosuna gönderilen koruyucu gaz ile ergimiş kaynak metalinin içine atmosferden gelebilecek olan gazların önlenmesi çok önemli bir faktördür. Farklı meme boyutları mevcut olup bunların seçimi söz konusu olan uygulamaya göre yapılır. Örneğin; büyük kaynak banyolarına neden olan bir başka deyişle korunması gereken alanı arttıran, yüksek akımların kullanıldığı uygulamalarda büyük meme, düşük akımla çalışıldığında ve kısa devre iletimle kaynak yapıldığında küçük meme kullanılır.

Elektrot kılavuz hortumu ve kılavuz gömleği elektrot besleme motorundaki besleme makaralarına yakın bir desteğe bağlanmıştır. Hortum ve gömlek elektrotu destekler, korur ve onu besleme makaralarından torca ve temas tüpüne doğru yönlendirir. İyi bir ark kararlılığı sağlamak için elektrot beslemesinin kesintisiz olarak gerçekleştirilmesi gerekir. Elektrot uygun bir şekilde desteklenmediği takdirde besleme makaraları ile temas tüpü arasında herhangi bir yerde sıkışma eğilimi gösterir[15].

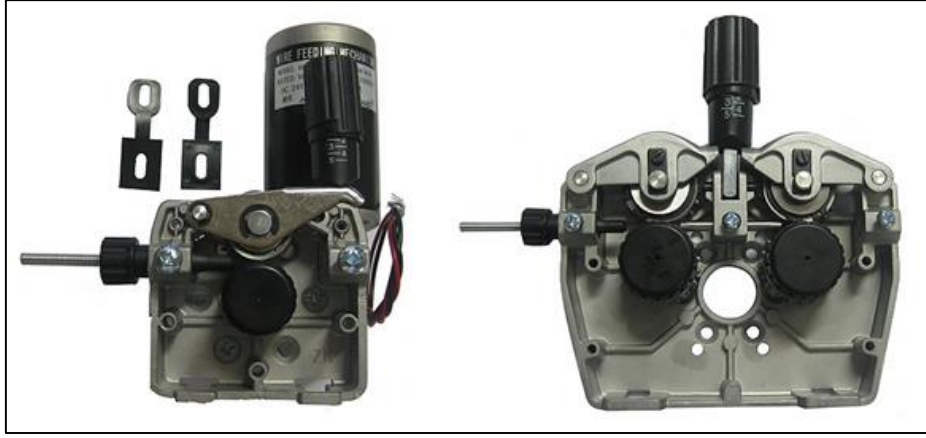
Diğer aksesuarlar ise, koruyucu gazı, soğutma suyunu ve elektrik akımını torca iletmek için kullanılan gaz hortumu, su hortumu ve elektrik kablosudur. Bu hortum ve kablolar ya doğrudan ilgili üniteye veya bu üniteyi kontrol eden kontrol sistemine bağlıdır.

b) Elektrot Besleme Ünitesi

Elektrot besleme ünitesi bir elektrik motoru, elektrot makaraları ve elektrot doğrultusunu ve basıncı ayarlayan aksesuarlardan meydana gelmiştir. Elektrot besleme

 nitesi genellikle doğru akımla çalışır ve elektrotu torç yoluyla iş parçasına doğru iter. Elektrot besleme makaraları besleme motoru tarafından tahrik edilir. Bu makaralar, elektrotu bulunduğu kaynaktan çekmek ve onu kaynak torcu içerisinde ilerletmek için gerekli olan kuvveti sağlar[15]. Elektrot besleme ünitelerinde iki makaralı veya dört makaralı sistemler kullanılabilir[21].

İki makaralı ve dört makaralı elektrot besleme üniteleri aşağıdaki resimde gösterilmiştir;



şekil 7. İki makaralı ve dört makaralı elektrot besleme  niteleri[22]

Makaralar kullanılan kaynak telinin özelliklerine göre farklı değerlerde baskı kuvveti uygulayabilme yeteneğine sahiptir. Kaynak telinin besleme makaralarına girip diğer taraftan çıkması esnasında makara tahrik sistemi sayesinde telin bükülmesini engeller.

Dolgu elektrotlarda genellikle biri kanallı, diğeri düz yüzeyli makara çiftleri kullanılır. Alaşımsız elik ve paslanmaz elik gibi sert elektrotlarda V kanallı makaralar kullanılır. Özlü elektrotlarda ise hem tahrik makarası hem de destek makarası tırnaklı tiptendir. Tırnaklı makaralar elektrota düşük bir makara basıncında yüksek bir besleme kuvvetinin iletilmesini sağlar. Bu tip makaralar alüminyum gibi yumuşak elektrotlar için tavsiye edilmez. Bunun nedeni makaraların elektrottan pul pul parçalar koparması, bu pulların torcun veya gömleğin tıkanmasına neden olmasıdır[15]. Farklı tipteki makara tipleri alttaki şekilde gösterilmiştir;

V Şekilli Kanal	U Şekilli Kanal	U Şekilli ve Diş Açılmış Kanal
		

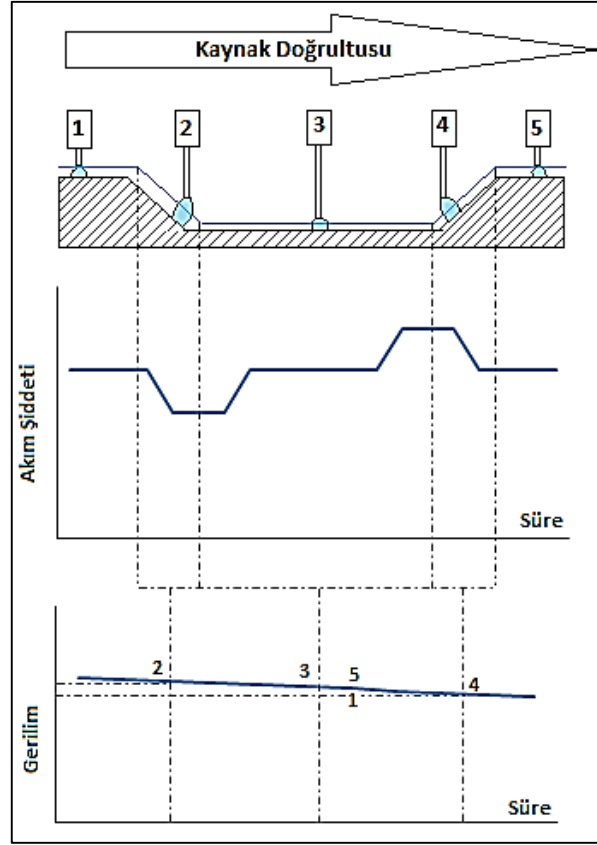
Şekil 8. Farklı tipteki makara tipleri

c) Güç Ünitesi

Güç üniteleri, gazaltı kaynak yöntemlerinde kaynak için gerekli olan arkın üretilmesini sağlayacak olan elektrik gücünü oluşturan sistemdir. Bu elektrik gücü iş parçası ve kaynak teli arasında oluşan arkın oluşması için gereken güçtür. Gazaltı kaynaklarında çoğunlukla kaynak elektrotunun pozitif kutba bağlı olduğu doğru akım kullanılır. Elektrotun pozitif kutba bağlandığı sistemlerde güç ünitesinin pozitif ucu torca, negatif kutbu ise iş parçasına bağlanır.

MAG kaynağında kullanılan kaynak makinaları iç ayar mekanizmasına sahiptir. İç ayar mekanizması kaynak dikişi kalitesinin düzgün olması için sabit gerilim karakteristiğine sahip olan bir akım üreticiyle gerçekleştirilir.

Altındaki şekilde kaynak sırasında torç–iş parçası ara mesafesindeki değişim sırasında akım ve gerilim değerlerinin nasıl değiştiği gösterilmiştir;



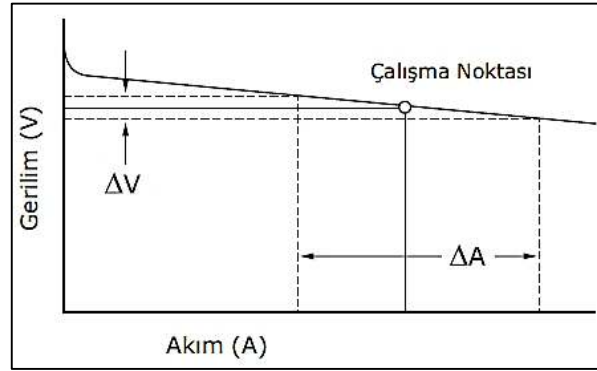
Şekil 9. Torç-iş parçası ara mesafe değişiminin parametrelerle ilişkisi[17]

İlk durumda tel erime hızı ile tel sürme hızı arasında bir denge mevcuttur. Torcun ikinci durumdaki gibi torç-iş parçası ara mesafesinin artış göstermesi sonucu akım üreteci ark uzunluğunu ilk ark uzunluğuna erdirmeye çalışır. 2 numaralı durumda ark boyu uzar, gerilim çok az artar ve akım şiddeti oldukça düşer. Akımın düşmesi ile birlikte tel erime hızı da düşer. Bu durumda ark boyu hemen hemen sabit kalır. 3 numaralı durumda ark tekrar denge durumuna gelir. Serbest tel ucundaki gerilim kaybı 1V kadar artar bu sayede kaynak akım devresindeki toplam direnç biraz artar. Bu düşük akım teli eritmeye yeterlidir. 4 numaralı durumda ark kısalır gerilim düşer ve kaynak akımı çok artar. 5 numaralı durumda yine denge oluşur.

Kaynak işlemi yapılan malzeme yüzeylerinin düzgün olmayışı, torcun sabit tutulamaması vb. kısacası torç-iş parçası ara mesafesinin fiiliyatta tam anlamıyla sabit tutulamamasından dolayı akım ve gerilim değerlerindeki bu değişim sürekli yaşanmaktadır. İç ayar mekanizması düzgün bir kaynak dikişi elde edilmesi için yukarıda bahsedilen düzenlemeyi yaparak ark boyunun sabit kalmasını sağlar.

Sabit gerilimli güç üniteleri MAG kaynak yöntemlerinde büyük oranda kullanılmaktadır. Bu durum sabit akımlı güç ünitesi kullanılan TIG ve elektrot kaynak yöntemlerinden farklılık göstermektedir. Gerilim ark boyunu belirlemektedir. Tel besleme hızında veya ark boyundaki anlık değişimlerde güç kaynağı ark boyundaki bu ani değişimlere bağlı olarak artış ya da azalma gösterir[23].

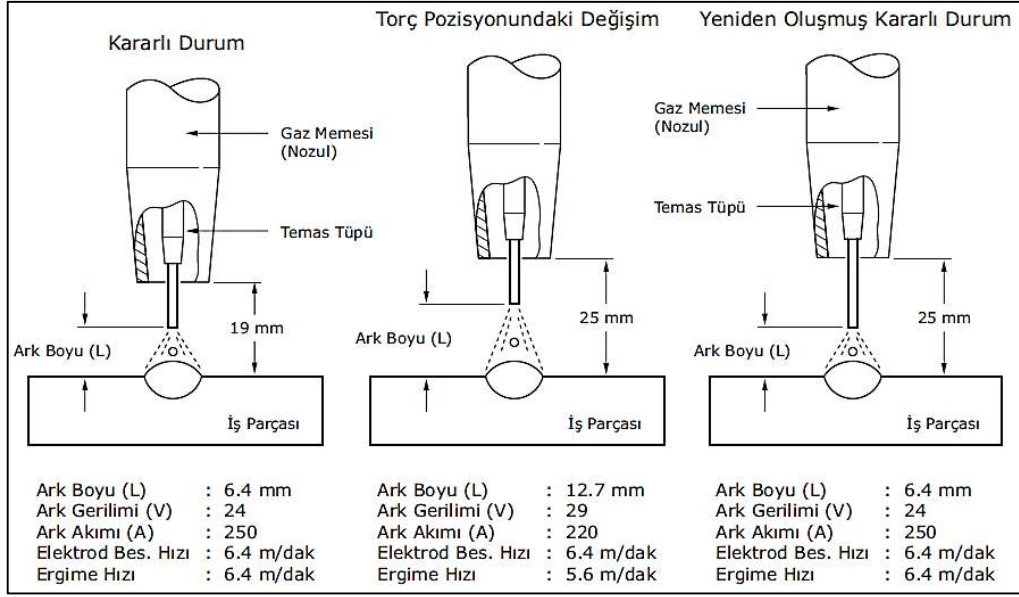
Gazaltı kaynağı uygulamaları arttıkça sabit gerilimli güç ünitelerinin daha iyi çalışma imkânı sağladığı görülmüştür. Bu üniteler, sabit hızlı elektrot besleyicileri ile birlikte kullanıldıklarında, gerilimin kaynak işlemi sırasında hemen hemen sabit kalmasını sağlarlar. Alttaki şekilde bu tip güç ünitelerinin gerilim akım eğrileri gösterilmiştir[15];



Şekil 10. Güç ünitesi gerilim-akım eğrisi[17]

Sabit gerilimli güç üniteleri normal kaynak işlemi sırasında iş parçası ile temas tüpünün ucu arasında oluşan mesafe değişikliklerini, kaynak akımını aniden artırarak veya azaltarak dengeler.

Ark boyu, güç ünitesinde kaynak gerilimi ve tel besleme hızı ayarlanarak tespit edilir. Bu bir kez tespit edildikten sonra kaynak sırasında başka bir değişiklik yapmaya gerek yoktur.

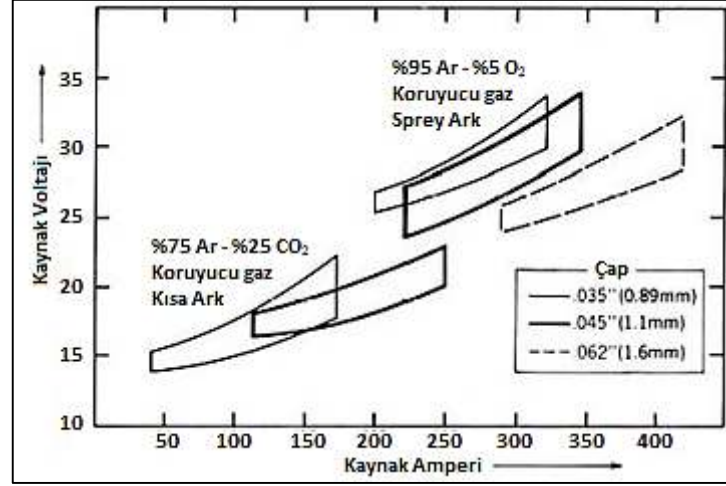


Şekil 11. Ark uzunluğunun otomatik ayarı[15]

Sabit gerilimli güç ünitelerinin kendi kendine ayarlama mekanizması üstteki şekilde gösterilmiştir. Sabit gerilimli güç ünitelerinin ark boyunu kendi kendine ayarlama özelliği kararlı kaynak şartlarının elde edilmesinde önemli rol oynar.

c.1) Gerilim;

Ark gerilimi elektrot ile iş parçası arasındaki elektriksel potansiyeldir. Kaynak voltajı (ark uzunluğu) istenen metal transferi ya da proses varyasyon tiplerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sprey ark yüksek voltaja gereksinim duyarken kısa ark kaynakları ise nispeten düşük voltaja gereksinim duyar. Şekil 12, MAG gazaltı kaynağında ark gerilimi ile kaynak akımı ilişkilerini göstermektedir. Bu ilişki en yaygın koruyucu gaz atmosferinde MAG kaynak yöntemiyle kaynaklanan karbon çelikleri için resmedilmiştir[24].

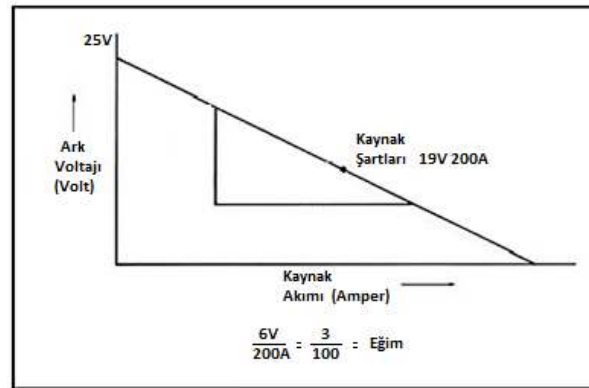


Şekil 12. Akım ve gerilim parametrelerine göre oluşan ark çeşitleri[24]

Kaynak işleminin en iyi şekilde yapılması için artan akımla birlikte ark geriliminin de artırılması gerekir.

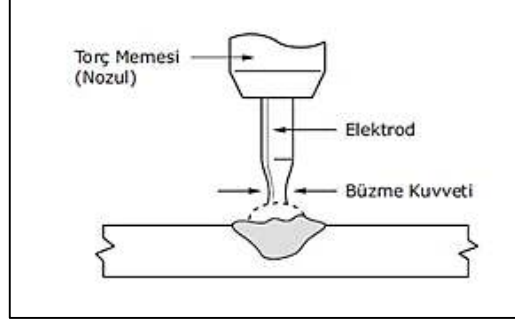
c.2) Eğim;

MAG kaynak yöntemi güç üniteleri için voltaj amper karakteristiği alttaki şekilde verilmiştir. Gerilim akım eğrisinin eğimi çıkış eğimi olarak adlandırılır ve bu eğim 100 amper artışına karşılık gelen gerilim düşmesi olarak ifade edilir[25]. Kaynak sırasında sisteme direnç teşkil edecek olan her şey bu eğimin değişmesine sebep olur[14]. Eğimin hesaplanabilmesi için 2 adet çalışma noktası gerekmektedir.



Şekil 13. Güç ünitesi voltaj amper karakteristik eğrisi[25]

Kaynak teli geçişi sırasında oluşan kısa devre iletiminde eğimin temel fonksiyonu elektrotun iş parçası ile kısa devre oluşturması ile meydana gelen kısa devre akımının şiddetini kontrol etmektir. MAG kaynak yönteminde metal damlaların elektrottan ayrılması elektromanyetik büzme etkisi sayesinde olur[15]. Büzme etkisi, üzerinden akım geçen bir iletkende akımın iletken üzerinde oluşturduğu manyetik kuvvet nedeniyle oluşur;



şekil 14. Kaynak sırasında oluşan büzme kuvveti

Kısa devre akımı ve bu nedenle büzme kuvveti g ünitesinin gerilim-akım karakteristiği eğiliminin bir fonksiyonudur.

Büzme kuvveti kaynak sırasında oluşan damlanın elektrottan kopma şekline önemli derecede etki ettiği için kısa devre akım şiddeti bu süreçte önemli bir etkendir. Kısa devre akım şiddeti arkın kararlılığını etkileyen en önemli etkendir. G nitesinin devresinde herhangi bir eğim mevcut değilse veya çok az bir eğim varsa, kısa devre akımı hızla çok yüksek bir değere yükselir. Büzme etkisi de çok yüksektir ve bu nedenle ergimiş damla elektrottan şiddetli bir şekilde ayrılır. Aşırı büzme etkisi sonuçta şiddetli metal sırantısı oluşturur[15].

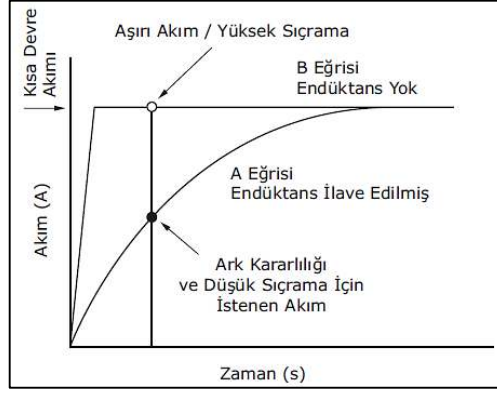
Kısa devre akım şiddetinin çok düşük olması durumunda büzme kuvveti damlayı ayırıp arkı yeniden oluşurmaya yetecek kadar büyük olamamaktadır. Bu durumda kaynak teli ya iş parçası üzerine yığılır ya da kaynak banyosuna ergimeden yapışır. Kısa devre akımının ideale yakın bir değerde olması durumunda damlanın kaynak telinden ayrılıp banyoya geçişi yumuşak bir şekilde olur ve sıçrama çok düşük seviyelere indirgenmiş olur.

Birçok sabit gerilimli g üniteleri eğim kontrolü yapan cihazlarla donatılmıştır. Bunlar söz konusu uygulama için en uygun kısa devre akımını elde etmek amacıyla kademeli veya sürekli ayar yapabilirler. Bazıları ise en çok kullanılan kaynak şartları için önceden ayarlanmış sabit bir eğime sahiptir[15].

c.3) Endüktans

Güç üniteleri yük değişimlerine anında yanıt vermez. Akımın yeni bir seviyeye ulaşabilmesi için sonlu zamana ihtiyacı vardır. Endüktans etkisi şekil15’de görünen eğri analiz edilerek izah edilebilir. A eğrisi sıfırdan en son değere yükselen endüktanslı tipik akım-zaman eğrisini gösterir. B akımı, devresinde endüktans olmayan akımın alacağı yolu göstermektedir. Endüktans kısa devre akımının artış oranını kontrol eder[26].

Elektrot iş parçası ile kısa devre yaptığında akım hızla yüksek değerlere yükselir[15]. Bu yükselmenin hızını etkileyen devre karakteristiği endüktans olup birimi Henry’dir. Endüktansın etkisi alttaki şekilde gösterilmiştir;



Şekil 15. Endüktansın akım artışına olan etkisi[26]

Şekildeki A eğrisi devrede bir endüktans mevcutken, kısa devreden hemen sonraki akımın zamanla değişimini göstermektedir. B eğrisi ise, devrede endüktans mevcut değilken akımın zamanla nasıl arttığını göstermektedir. Büzme kuvvetinin en büyük değerini son olarak elde edilen kısa devre akımı seviyesi belirler. Devrede endüktans yoksa büzme etkisi hızla uygulanır ve ergimiş damla şiddetli bir şekilde elektrottan büzülerek uzaklaştırılır ve aşırı sıçrama meydana gelir. Yüksek endüktans değerleri birim zamandaki kısa devrelerin sayısında azalmaya ve ark zamanında ise artmaya neden olur. Artan ark zamanı kaynak banyosunu daha akışkan hale getirir ve daha düz bir kaynak dikişi oluşturur[15].

Sprey iletiminde, güç ünitesine endüktans ilavesi, kararlı kaynak şartlarını etkilemeksizin daha yumuşak bir ark tutuşması sağlar. En düşük sıçrama şartlarını sağlamak için gerekli güç ünitesi ayarı elektrotun malzemesine ve çapına bağlı olarak

değişir. Genel bir kural olarak, büyük çaplı elektrotlar için daha yüksek kısa devre akımları ve daha yüksek endüktanslar gerekir[15].

d) Kontrollü Koruyucu Gaz İletimi

MAG kaynak yöntemi koruyucu gaz kaynak yöntemlerinden biri olmakla birlikte kaynak sırasında iş parçası ile kaynak teli arasında oluşan ark ve kaynak banyosunun korunması torç tarafından bölgeye beslenen koruyucu gaz ile sağlanır. Koruyucu gazın bölgeye iletilmesi ve iletim sırasında istenen lt/dk değerlerini verebilmesi için gaz akışını sağlayacak bir sistemin olması gerekmektedir. Gaz regülatörleri kaynak parametrelerinden bağımsız olarak sabit bir çalışma basıncını kaynak bölgesinde sağlayacak tertibattır. Regülatörler tek veya iki kademeli olabilecekleri gibi bir debimetreye de sahip olabilirler.



Şekil 16. Gaz regülatörü

e) Elektrot Ünitesi

MAG gazaltı kaynak yönteminde eriyen tel elektrot kullanılır ve bu tel kaynak banyosuna tel sürme tertibatıyla sürekli beslenir. Bu nedenle maksimum işlem verimi elde edebilmek için, elektrot ünitesinin torca kolayca iletilebilen yüksek hacimde elektrot beslemesi sağlaması gerekir. Bu üniteler genellikle elektrotun bükülmeden serbest bir biçimde beslenmesine imkân veren ve ağırlıkları 0.45kg'dan 27kg'a kadar değişen makaralar şeklindedir. Ağırlığı 114kg'a kadar yükselen büyük makaralar da mevcuttur ve elektrotlar 340kg'dan 450kg'a kadar değişen ağırlıktaki silindirlerden veya özel makaralardan da sağlanabilir[27]. Makaranın torç içinde bulunduğu sistemlerde ise küçük makaralar kullanılır.



Şekil 17. Elektrot ünitesi

2.2. MAG Kaynak Sarf Malzemeleri ve Özellikleri

Gazaltı kaynak makinası alet-ekipmanları yanı sıra kaynak işlemi sırasında tüketilen koruyucu gaz ve kaynak teli gibi sarf malzemeleri de MAG kaynak yöntemi sarf malzemeleridir. Kaynak metalinin bileşimi, kimyasal ve mekanik özellikleri birleşimde kullanılan kaynak teli, koruyucu gaz ve ana metalin özelliklerine bağlıdır. Kaynak metalinin bileşimi kaynak bağlantısının kimyasal ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Kaynak elektrotunun ve koruyucu gazın seçimi sırasında aşağıdaki faktörlere dikkat edilmelidir[15];

- a) Esas metal
- b) Kaynak metalinden beklenen mekanik özellikler
- c) Esas metalin hangi şartlarda olduğu ve temizliği
- d) Kaynaklı bağlantının çalışma şekli veya varsa şartname talepleri
- e) Kaynak pozisyonu
- f) Arzu edilen metal iletim tipi

2.2.1. Elektrotlar

MAG gazaltı kaynak yönteminde kullanılan kaynak telleri çoğunlukla makaralara sarılıdır. Kullanım miktarı ve üretimi yapılan parçaların seri üretim parçası olup olmamasına göre makaralar küçük veya çok büyük olabilirler. Küçük veya büyük makara seçimi genellikle işletmelerin sahip oldukları iş yoğunluklarına göre belirlenir. Belirli

kaynak istasyonlarında seri imalat yapan firmaların çoğu büyük makaraları tercih etmektedirler.



Şekil 18. Büyük boy ve küçük boy makara kaynak telleri[28].

Yoğun şekilde kaynak teli kullanan firmalar için büyük makaraların yanında büyük kovalar da vardır. Kaynak telleri bu kovanın içinden bir düzenekle kaynak makinasına bağlanır ve sisteme kaynak teli besleme bu kovalara yerleştirilen büyük makaralı kaynak tellerinden beslenir.



Şekil 19. Büyük boy makaralar için tel besleme kovaları

Gazaltı kaynağında kullanılan elektrotlar tozaltı ark kaynağında kullanılanlara nazaran daha küçük çapa sahiptirler. Genelde tel elektrot çapları 0.8-1.6mm arasındadır. Ancak 0.5mm'ye kadar ince ve 3.2mm'ye kadar kalın çaplı elektrotlar da kullanılabilir. Çaplarının küçük olması sebebiyle elektrotlar yüksek yüzey/hacim oranına sahiptir. Elektrot yüzeyinde kalan herhangi bir çekme bileşiği ve yağlayıcısı kaynak metalinin

özelliklerini kötü bir şekilde etkileyebilir. Bu yabancı maddeler alüminyum ve çelik alaşımlarında kaynak metali gözenekliliğine ve yüksek mukavemetli çeliklerde de kaynak metalinde veya ısı tesiri altındaki bölgede çatlamaya neden olurlar. Sonuç olarak elektrotlar yüzeylerine kirleticiler yerleşemeyecek kadar yüksek kalitede bir yüzeye sahip olacak şekilde üretilmektedir[15].

Gazaltı kaynağı birleştirme amacıyla kullanıldığı gibi malzemelerin yüzeyine aşınma veya korozyon direnci kazandırmak veya bir başka amaç için yüzey dolgusu yapmak amacıyla da geniş ölçüde kullanılmaktadır. Yüzey doldurma sırasında kaynak metalinin esas metalle karışması gözönüne alınması gereken en önemli konudur. Bu ark karakteristiğinin ve uygulanan tekniğin bir fonksiyonudur. Gazaltı kaynağında metal iletim tipine bağlı olarak %10'dan %50'ye kadar değişen karışma oranları ortaya çıkabilir. Bu nedenle yüzeyde istenen dolgu bileşimini elde edebilmek için üst üste birden fazla pasoya sahip dolgu işlemi gerekebilir[15].

MAG gazaltı kaynağı kaynak elektrotları ülke, bölgesel ve uluslararası standartlarla göre standartlaştırılmış olup malzeme çeşidi ve içeriğine göre kategorilendirilmiştir. Ülkemizde de kaynak elektrot üreticileri mevcut olduğundan TSE standartlarında kaynak telleri kategorilendirmesi ile ilgili standartlar mevcuttur;

Tablo 2. TSE standardına göre kaynak telleri kategorilendirilmesi

Standart	Açıklamalar
TS EN ISO 14341	Kaynak sarf malzemeleri–Alaşımsız ve ince taneli çeliklerin koruyucu gaz metal ark kaynağı için tel elektrotlar ve yığılmış kaynaklar-Sınıflandırma
TS EN ISO 16834	Kaynak sarf malzemeleri-Yüksek mukavemetli çeliklerin ark kaynağı için tel elektrotlar, teller, çubuklar ve yığılan metaller
TS EN ISO 21952	Kaynak sarf malzemeleri-Tel elektrotlar, teller ve çubuklar, sürünme dayanımlı çeliklerin ark kaynağı için depositler-Sınıflandırma
TS EN ISO 14343	Kaynak sarf malzemeleri-Paslanmaz ve ısıya dirençli çeliklerin ergitme kaynağı için tel elektrotlar, şerit elektrotlar, teller ve çubuklar-Sınıflandırma
TS EN ISO 18273	Kaynak sarf malzemeleri-Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı için tel elektrotlar, teller ve çubuklar-Sınıflandırma
TS EN ISO 24373	Kaynak sarf malzemeleri-Bakır ve bakır alaşımlarının ergitme kaynağı için masif teller ve çubuklar-Sınıflandırma

TS EN ISO standardının yanında ülke standardı olan DIN (Alman standardı)'a göre de kaynak telleri kategorilendirilmiştir;

Tablo 3. DIN standardına göre kaynak telleri kategorilendirilmesi

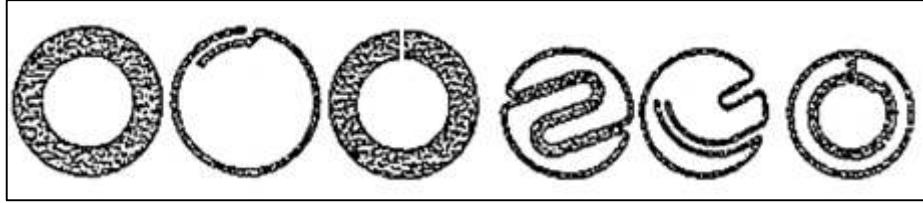
Standart	Açıklamalar
DIN 1732	Alüminyum ve alüminyum alaşımları için kaynak dolgu malzemeleri
DIN 1733	Bakır ve bakır alaşımları için kaynak dolgu malzemeleri
DIN 1736	Nikel ve nikel alaşımları için kaynak dolgu malzemeleri
DIN 8556	Paslanmaz ve ısıya dirençli çelikler için kaynak dolgu malzemeleri
DIN 8557	Tozaltı kaynağı için kaynak dolgu malzemeleri
DIN 8559	Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin koruyucu gaz kaynağı için kaynak dolgu malzemeleri
DIN 8575	Sürünüme dayanıklı çeliklerin elle ark kaynağı için kaynak dolgu malzemeleri

Tablo 3'e baktığımızda; örneğin DIN 1732, alüminyum ve alüminyum alaşımları için kaynak dolgu malzemeleri ile ilgili standarttır. Standart alüminyum ve alaşımlarına ilk aşamada genelleme yaparak bakmaktadır. Ancak DIN 1732 sadece bir adet kaynak telini vasıflandıran standart değildir. Bu standardın altında alüminyum ve alüminyum alaşımları için yüzlerce farklı mekanik ve kimyasal özelliğe sahip kaynak dolgu malzemeleri mevcuttur;

Tablo 4. Kaynak telleri kimyasal analiz değerleri

Malzeme		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Diğer Alaşım Elementleri	Diğer Katışıklar	
Sembol	Numara		Max	Max				Max				Herbiri max	Toplam max
SG-Al 99.8	3.0286	0.15	0.15	0.02	-	-	-	0.06	0.03	-	Al 99.8	0.01	-
El- Al 99.8													
SG – Al 99.5	3.0805	0.3	0.4	0.05	-	-	-	0.07	0.05	-	Al99.5	0.03	-
El – Al 99.5													
SG – Al 99.5Ti	3.0805	0.3	0.4	0.05	-	-	-	0.07	0.1	-	Al + Ti min. 99.5	0.03	-
El – Al 99.5Ti									0.2				
SG – Al Mn1	3.0516	0.5	0.6	0.1	0.9	0	0.05	0.2	0.1	-	-	0.05	0.15
El – Al Mn1					1.5	0.3							

Yukarıda açıklanan masif kaynak tellerinin yanında MAG gazaltı kaynak yönteminde ayrıca özlü kaynak telleri de kullanılmaktadır. Bu dolgu telleri de masif tellerde olduğu gibi ülke, milletlerarası ve uluslararası standartlara göre kategorilendirilmiştir. Bu teller görünüş olarak masif tellerden pek farklı olmasa da tellerin dış kısmı kaplı iç kısmı ise özlü olarak üretilmiştir.



Şekil 20. Özlü teller ve üretim şekilleri

Yukarıda gösterilmiş resimde olduğu gibi dış kısmın farklı şekillerde olduğu ve iç kısımda yer alan özün yüzdesinin farklı olduğu özlü kaynak telleri mevcuttur. Mekanik değerler değişik rutil, bazik ve metal tozu gibi öz tiplerinde çok iyi olabilir. Fakat bu durum özlü telin maliyetini önemli derecede artırmaktadır. Özlü tellerde serbest tel ucu dolu tellere göre daha uzundur. Bunun amacı serbest tel ucundaki direnç ısınmasıyla karbonatları ayrıştırarak CO₂ atmosferi yaratmaktır. Bu yöntemle yüksek yığma hızlarına erişilir[16].

2.2.2. Koruyucu Gazlar

Kaynak işlemi sırasında koruyucu görevini gazın üstlenmesi fikri oldukça eskidir. İlk defa 1926 yılında ortaya atılan Alexander usulünde gelişmiştir. Diğer taraftan kaynak esnasında erimiş metalin atmosfer tesirlerinden korunması sistemli bir şekilde incelenmiş ve yine 1926 yılında ABD’de Weinmann ve Langmuir tarafından hidrojenin koruyucu gaz olarak kullanılmasıyla, ark atom kaynak usulü uygulama alanına girmiştir. Koruyucu gaz olarak soy bir gazın kullanılması ancak 1930 yılında ABD’de Hobart ve Devers tarafından patent olarak alınmış ve 1940 yılında da uçak inşasında magnezyum alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır[29].

Kaynak sırasında oluşan eriyik havuz, havanın yaratacağı olumsuz etkilerden korunması amacıyla koruyucu gaz atmosferi ile korunur. Örneğin, katılaşmış kaynak metalinde bulunan azot kaynak bölgesinin sünekliğini ve darbe dayanım değerlerini azaltıcı bir etki yapar ki bu durum kaynakta çatlamaya sebebiyet de verebilir. Ayrıca azot miktarının aşırı derece artışı kaynak metalinde istenmeyen gözenekliliğin artmasına neden olabilir[30].

Koruyucu soy gazlar ve diğer gazlar olan argon, helyum, oksijen, karbondioksit ve nitrojen gazları MAG gazaltı kaynak yönteminde kullanılan gazlardır. Kullanılan bu koruyucu gazlar ve koruyucu gaz karışımları farklı nüfuziyet oranına ve farklı geçiş damlacık şekillerine sahiptir. Metallerin çoğu oksit oluşturmak üzere oksijenle birleşmeye kuvvetli bir eğilim ve metal nitritleri oluşturmak üzere de azotla birleşmeye daha düşük ölçüde bir eğilim gösterirler. Oksijen ergimiş çelikteki karbonla karbonmonoksit gazı oluşturmak üzere reaksiyona girer[15]. Bu reaksiyonların ürünleri aşağıdaki kaynak hatalarının oluşumuna neden olur;

- a) Oksijen nedeniyle ergime hataları
- b) Gözenek, oksit ve nitritler nedeniyle oluşan mukavemet kayıpları
- c) Oksitler ve nitritler nedeniyle kaynak metalinin gevrekleşmesi

Atmosfer yaklaşık %80 azot, %20 oksijenden meydana geldiği için kaynak sırasında bu reaksiyonların ürünleri kolaylıkla oluşur. Koruyucu gazın temel görevi çevredeki atmosferin ergimiş kaynak banyosuyla temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz burada örtülü elektrottaki örtünün görevini görür. Esas görevi dışında koruyucu gazın kaynak

işlemine ve sonuçta elde edilen kaynak dikişine aşağıda belirtilen hususlar yoluyla önemli etkileri vardır[15];

- a) Arkın karakteristiği
- b) Metal transferinin şekli
- c) Nüfuziyet ve kaynak dikişinin profili
- d) Kaynak hızı
- e) Yanma oluğu oluşma eğilimi
- f) Temizleme etkisi
- g) Kaynak metalinin mekanik özellikleri

Kaynakta kullanılan koruyucu gazlar da tıpkı kaynak elektrotlarında olduğu gibi standartlaştırılmıştır. EN 439 koruyucu gazların sınıflandırıldığı gazaltı kaynak koruyucu gaz sınıflandırmasını içeren standarttır. Bu standarda göre koruyucu gaz kategorilendirmesi alttaki tabloda verildiği gibidir;

Tablo 5. EN 439'a göre koruyucu gaz sınıflandırması

Kompozisyon ve/veya % hacimsel saflık derecesi	EN 439'a göre sınıflandırma	Uygulamalar
CO ₂ %99.95	C1	Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler
Ar %82 + CO ₂ %18	M21	
Ar %92 + CO ₂ %8	M21	
Ar %92 + O ₂ %8	M22	
Ar %97.5 + CO ₂ %2.5	M11	Düşük ve yüksek alaşımlı CrNi çelikleri
Ar %99 + O ₂ %1	M13	
Ar %97 + O ₂ %3	M13	
Ar %99.996	I1	Bütün demir dışı metaller Al, Cu - malzemeler
Ar %70 + He %30 - %50	I3	

Koruyucu gazlar damla geçişini, sıçrantı oluşumunu, dikiş görüntüsünü, nüfuziyet profilini ve mekanik özellikleri etkiler. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde kullanılan

koruyucu gazların bileşimlerine göre sıçrantı miktarı, nüfuziyet profili, elementlerin yanması, gözenek miktarı ve mekanik değerlere olan etkisi alttaki tabloda verilmiştir[15];

Tablo 6. Koruyucu gazların mekanik değerlere ve kaynağın özelliklerine olan etkisi

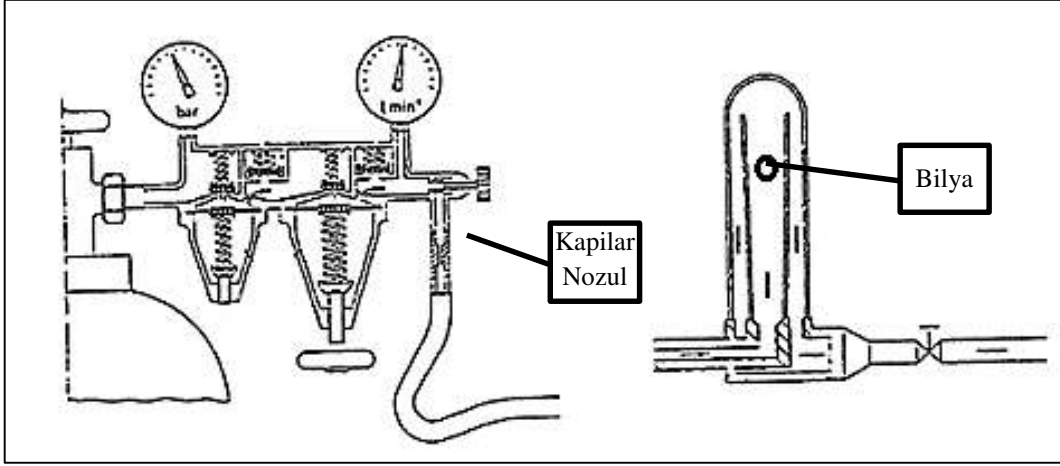
Koruyucu Gaz	Sıçrantı Miktarı	Nüfuziyet Profili	Elementlerin Yanması	Gözenek Miktarı	Mekanik Değerler
%82 Ar, %18 CO ₂	Az	İyi	Az	Orta	İyi
%90 Ar, %10 CO ₂	Az	Parmak	Az	Orta	İyi
%70 Ar, %30 CO ₂	Daha Fazla	İyi	Daha Fazla	Orta	Orta
%92 Ar, %8 O ₂	Az	Parmak	Daha Fazla	Daha Fazla	İyi
%88 Ar, %12 O ₂	Az	Parmak	Çok	Daha Fazla	Orta
%100 CO ₂	Çok	Çok İyi	Çok	Az	Orta

Koruyucu gazın içindeki CO₂ ve O₂ oranı arttıkça dikişin görüntüsü kötüleşir. Burada gaz bileşiminin türüne göre damlaların kopması ve malzeme geçişi değişkenlik göstermektedir. Akım üreteçlerinin içine yerleştirilen koruyucu gaz kontrolü bütün kaynak süresi boyunca yeterli bir gaz korumasını sağlar.

Koruyucu gaz tedariki iç basıncı 200 bar olan başıncılı tüplerle veya her geçen gün daha fazla kullanılan sıvı fazdan merkezi bir ring hattıyla yapılır. Her iki durumda da basıncın düşürülmesi ve debinin ölçülmesi gerekir.

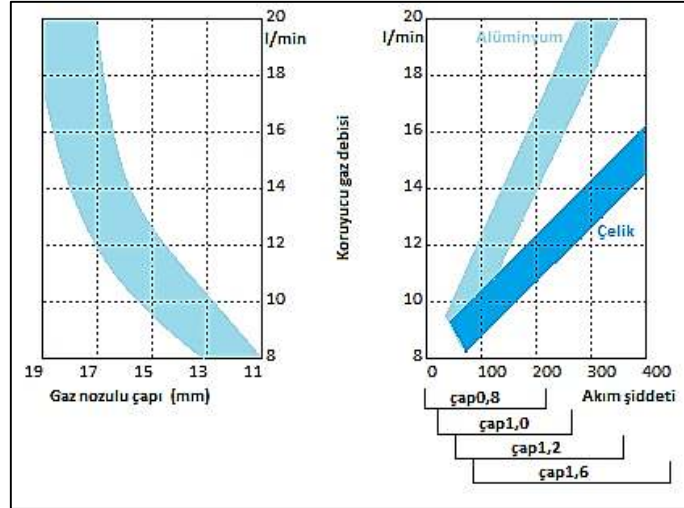
Debiyi ölçmek için iki metod kullanılır;

- Kapiler nozulla,
- Rotametreyle,



Şekil 21. Kapilar nozul ve rotametre[16]

Kapiler debi ölçerde, gaz akışı sırasında kapiler nozulün önünde oluşan basınç ölçülür ve manometrenin skalasında lt/dk. olarak okunur. Rotametreyle ölçümde, skalalı bir cam borunun içindeki küre akan gazın etkisiyle belli bir yükseklikte durur. Kürenin bulunduğu seviye gazın debisine denk gelir. Kaynakçıya gaz nozuluna takılan bir rotametreyle koruyucu gaz debisini kontrol etmesi tavsiye edilir. Gerekli olan koruyucu gaz debisi malzemeye, akım şiddetine, kaynak pozisyonuna ve koruyucu gazın bileşimine bağlıdır[16].



Şekil 22. Gaz nozulu çapına ve akım şiddetine bağlı olarak koruyucu gaz debisi[16]

2.2.2.1. Koruyucu Soygazlar

Gazaltı kaynak yöntemlerinde koruyucu soygaz olarak argon ve helyum soygazları kimyasal olarak aktif değildirler ve diğer kimyasal elementlerle reaksiyona girmezler. Bu gazlardan sadece bir çeşidi veya her ikisinin karışımı demirdışı metallerin kaynağında mutlak bir şekilde kullanılırlar. Ayrıca bu gazlar paslanmaz çeliklerin ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında da kullanılmaktadır. Argon ve helyum gazları aşağıda verilen hususlarda önemli farklılık gösterir[15];

- a) Yoğunluk
- b) Isıl iletkenlik
- c) Ark karakteristiği

Argon yoğunluğu hava yoğunluğunun 1.4 katı iken helyumun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 0.14 katı kadardır[15]. Koruyucu gazın yoğunluğu kaynak sırasında oluşan arkin korunması ve kaynak havuzunun hava etkisinden korunması bakımından çok önemlidir. Bu nedenle helyumla koruma yapıldığında aynı etkili korumayı yapabilmek için argonla korumada kullanılan debinin iki veya üç katı yüksekliğinde debi kullanılması gerekir.

Helyum argondan daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir ve aynı zamanda içinde ark enerjisinin daha üniform şekilde dağıldığı bir ark plazması oluşturur. Argonun oluşturduğu ark plazmasında iç bölgede çok yüksek bir enerji mevcuttur ve bu bölge daha az ısı enerjisini içeren bir mantoyla sarılıdır[15]. Bu fark kaynak dikiş profilini önemli ölçüde etkiler. Helyum arkı derin, geniş parabolik kaynak kesiti oluşturur. Argon kaynağı ise şişe emziğine benzer bir nüfuziyet oluşturur.

Belirli bir elektrot besleme hızında argon arkının gerilimi helyum arkının geriliminden önemli ölçüde düşüktür. Bunun sonucunda argon arkında ark boyundaki değişmeye bağlı olarak gerilimde daha az bir değişme meydana gelecektir ve ark helyum arkına nazaran daha kararlı olacaktır. Argon arkı geçiş akımı üzerindeki akım değerlerinde eksenel sprej ark iletimi ile oluşturur. Helyum arkı normal çalışma bölgesinde iri damlalı metal iletimi oluşturur. Bu nedenle helyum arkı argon arkına nazaran daha fazla sıçramaya ve daha kötü kaynak dikişi görünüşüne neden olur. Çok kolay iyonize olan argon gazı bu

nedenle arkın tutuşmasını kolaylaştırır ters kutuplamayla birlikte kullanıldığında mükemmel yüzey temizleme etkisi sağlar[15].

2.2.2.1.1. Argon ve Helyum Karışımı

Saf argonla koruma demir dışı metallerin birçok uygulamasında kullanılır. Saf helyum kullanımı sınırlı bir ark kararlılığı sağlaması nedeniyle çok özel alanlarda sınırlanmıştır. Ancak helyum arkıyla derin, geniş ve parabolik kaynak profili özellikleri elde edilmesi nedeniyle, Argon-Helyum gaz karışımı koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Sonuçta kaynak dikişi profilinde iyileşme sağlandığı gibi, argonun eksenel spreysel metal iletimi oluşturma özelliğinden de yararlanır. Kısa devre iletimde, daha iyi ergime sağlamak amacıyla %60'dan %90'a kadar helyum içeren Argon-Helyum karışımı koruyucu gazlar kullanılır. Paslanmaz çelik, düşük alaşımlı çelikler gibi bazı metaller için daha yüksek ısı girdisi elde etmek amacıyla CO₂ ilavesi yerine helyum ilavesi yapılır. Bunun nedeni helyumun, dikişin mekanik özelliklerini ters yönde etkileyen kaynak metali reaksiyonları oluşturmamasıdır.

2.2.2.1.2. Argon ve Helyuma Oksijen ve Karbondioksit İlavesi

Saf argon ve belli bir dereceye kadar helyum demir dışı malzemelerin kaynağında çok mükemmel sonuçlar sağlar. Ancak bu koruyucu soy gazlar saf halde demir esaslı malzemelerin kaynağında başarılı çalışma özellikleri sağlamaz. Ark kararsız olma eğilimi gösterir. Helyumla korumada buna ilave olarak sıçrama meydana gelir. Saf argonla korumada yanma oluşu oluşma olasılığı büyük ölçüde artar[15]. Argona %1-5 O₂ veya %3-10 CO₂ ilavesi önemli ölçüde iyileşme sağlar. Saf gaza katılacak en uygun O₂ ve CO₂ miktarı kaynak edilecek parçanın yüzey durumu, bağlantı geometrisi, kaynak pozisyonu ve esas metalin birleşimine bağlıdır. Genellikle %3 O₂ veya %9 CO₂ bu değişkenlerin büyük bir aralıkta etkilerini göz önünde bulunduran oranlardır. Argona CO₂ ilavesi aynı zamanda dikiş profilinin şeklini de iyileştirir.

2.2.2.2. Karbondioksit

Saf karbondioksit alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında geniş ölçüde kullanılan bir aktif gazdır. Bu gazın yoğun olarak kullanılma nedenleri;

- a) Daha yüksek kaynak hızı
- b) Daha fazla bağlantı nüfuziyeti
- c) Daha düşük maliyet sağlaması

CO₂ ile korumada metal iletimi ya kısa devre ya da iri damla tipidir. Eksenel spreyci iletimi argonla korumaya özgü bir özelliktir ve bunu CO₂ ile elde etmek mümkün değildir. İri damla iletimi ile elde edilen ark oldukça kararsızdır ve önemli miktarda sıçramaya neden olur. Sıçramayı en az düzeye indirmek için kaynak şartlarının çok kısa yani düşük gerilim değerine ayarlanması gerekir.

Tablo 7. Ana metale göre seçilen koruyucu gazın üstünlükleri

Ana Metal	Koruyucu Gaz	Üstünlükleri
Alüminyum ve alaşımları	Argon	25mm'den küçük kalınlıklarda en iyi damla iletimi ve en az sıçrama oluşturur
	%35 Ar + %65 He	25-75mm kalınlıklarda saf argona oranla daha fazla ısı girdisi elde edilir. 5XXX serisi Al-Mg alaşımlarında erime özelliğinde iyileşme sağlar
	%25Ar + %75He	75mm'den büyük kalınlıklarda en yüksek ısı girdisi, gözenek oluşumunun en düşük seviyede tutulmasına olanak sağlar.
Alaşımsız Çelikler	Argon + %1-5 O ₂	Arkın kararlılığını artırır, daha akışkan ve kontrol edilebilir bir kaynak banyosunu oluşturur, iyi bir birleşme ve dikiş profili sağlar, yanma oluşunu en az düzeye indirir, saf argona oranla daha yüksek kaynak hızına olanak sağlar
	Argon + %3-10 CO ₂	İyi bir dikiş profili oluşturur, sıçramayı en az düzeye indirir, soğuk kaynak olasılığını azaltır, pozisyon kaynağına uygun değildir
Düşük Alaşımlı Çelikler	Argon + %2 O ₂	Yanma oluşunu en az düzeye indirir, iyi bir tokluk sağlar
Paslanmaz Çelikler	Argon + %1 O ₂	Arkın kararlılığını artırır, daha akışkan ve kontrol edilebilir bir kaynak banyosu oluşturur, kalın paslanmaz çeliklerde yanma oluşunu en az düzeye indirir
	Argon + %2 O ₂	İnce paslanmaz çeliklerde %1 O ₂ 'li karışıma oranla daha iyi bir ark kararlılığı ve birleşme sağlar
Bakır, Nikel ve Alaşımları	Argon	İyi bir ısılanma sağlar, 3mmkalınlıklara kadar kaynak metalinin akışkanlığını artırır
	Argon + Helyum	%50-75 He karışımı kalın parçalardaki ısı kaybını karşılayacak derecede yüksek ısı girdisi sağlar

Argonca zengin koruyucu gazla genel olarak kıyaslandığında CO₂ korumalı ark daha kaba bir yüzey profiliyle birlikte mükemmel nüfuziyete sahip bir kaynak dikişi oluşturur. Çok güvenilir kaynak dikişleri elde edilmekle birlikte, arkın oksitleyici karakteri nedeniyle dikişin mekanik özellikleri kötü yönde etkilenebilir.

2.3. MAG Kaynağında Ark Oluşumu ve Çeşitleri

2.3.1. Ayar Mekanizmaları

Ark kaynağı ayarlama usullerinde ayar mekanizması, iç ayar ve dış ayar mekanizması olmak üzere 2 çeşittir;

İç ayar mekanizması;

Bu mekanizmada ark, kaynak akımının değiştirilmesi yardımıyla sabit uzunlukta tutulmaktadır. Bunun ön koşulu, sabit bir tel sürme hızı ayarlamayı mümkün kılan bir tel sürme motorunun bulunmasıdır. MAG kaynağı yöntemindeki tel sürme hızı, çalışma koşullarına, tel çapına ve ortalama akım şiddetine göre 2 ile 12m/dk arasında bir değerdedir. Bu ayar mekanizması için yatay karakteristik çizgiye sahip bir akım üretici gereklidir.

Doğru ayarlanmış bir MAG arkı, parça yüzeyindeki bir bozukluktan dolayı uzadığında gerilim artacaktır. Fakat akım üretici bu yüksek gerilime bağlı olarak daha düşük bir akım şiddeti sağlayacak ve birim zamanda daha az tel ergimesine yol açacaktır. Tel sürme hızı, ortalama kaynak akım şiddetine göre sabit bir değere ayarlandığı için, akım şiddetinin azalmasından dolayı kısa bir süre için telin erime hızı tel sürme hızından daha düşük olacak ve dolayısıyla serbest tel ucu uzayacaktır. Sonuçta, ark tekrar kısılacaktır. Bu ayarlama mekanizması için önemli olan ufak bir gerilim değişikliği olduğunda akım üreticinin akım şiddetinde büyük bir değişiklik sağlamasıdır.

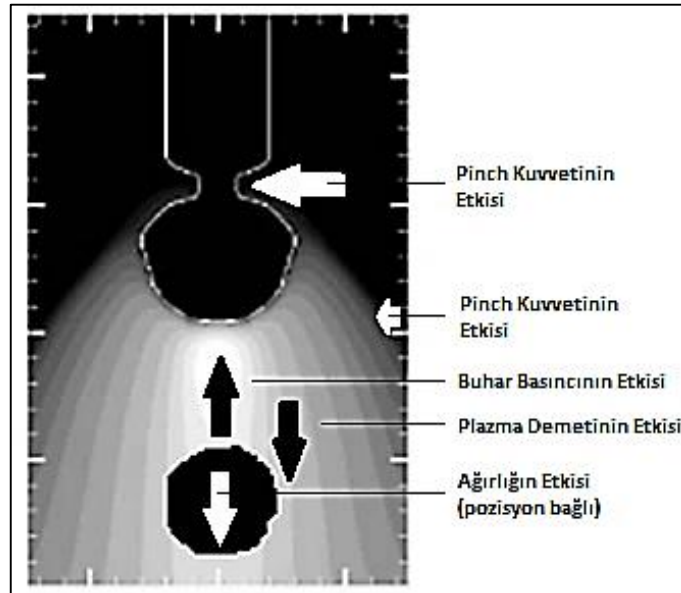
Dış ayar mekanizması;

Ark uzunluğu, ark gerilimi üzerinden ayarlanmaktadır. Ark uzadığında, gerilim artmakta ve tel sürme motoru daha yüksek bir hıza ulaşmaktadır. Ark kısaldığında ise

gerilim düşerek devir sayısının da düşmesini sağlamaktadır. Bunu sağlamanın ön koşulu yaklaşık sabit bir kaynak akım şiddeti altında yanan bir arktır. Yani, düşey karakteristik çizgili bir kaynak akım üreticidir. Bu ayar mekanizması, nispeten yavaştır. Dış ayar mekanizması sadece düşük tel sürme hızlarında yaklaşık 4m/dk'nın altında kullanılır. Bu alanda normal tozaltı kaynağı yöntemi işler. MAG kaynak yöntemi bir ark kaynak yöntemidir ve bu kaynak yönteminin ayar mekanizması da iç ayar mekanizmasıdır.

2.3.2. Ark Oluşumu ve Malzeme Geçişi

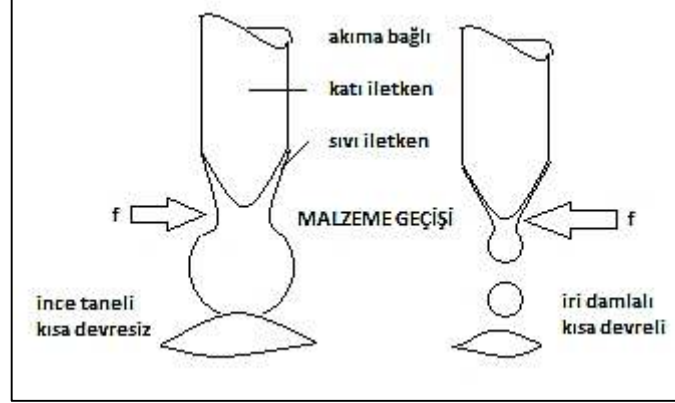
Tel elektrotun ucunda arkın çıkış noktasına değişik kuvvetler etki ederler ve tel elektrottan kaynak banyosuna malzeme geçişini etkileyebilirler. Şekil 23'de bu kuvvetler şematik olarak gösterilmiştir;



Şekil 23. Damla geçişi sırasında oluşan kuvvetler

Elektromanyetik pinç kuvvetinin kaynak sırasında oluşan metal transferine etkisi çok büyüktür. Bu pinç kuvveti elektrot ya da kaynak telinde akım debisi ile oluşur. Gazaltı kaynak teli ergime noktasına yakın sıcaklıklara ısıtıldığında elektromanyetik pinç kuvveti metalin damlalarını sıkıştırır ve kaynak telinden kaynak havuzuna damlaların geçişini sağlar[31].

Buna ek olarak telin ucundaki sıcaklık ve sıcaklık dağılımı damlanın kopmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Pinç etkisi bir manyetik kuvvettir ve Pomaska'ya göre akım şiddetinin karesiyle doğru orantılıdır[16]. Bu kuvvet büyük bir kuvvet değildir ve ancak telin ucu hamurumsu veya sıvı halde ise etkilidir. Bu durum şekil 24'de iki farklı akım şiddetinde ve ısınma durumunda gösterilmiştir.



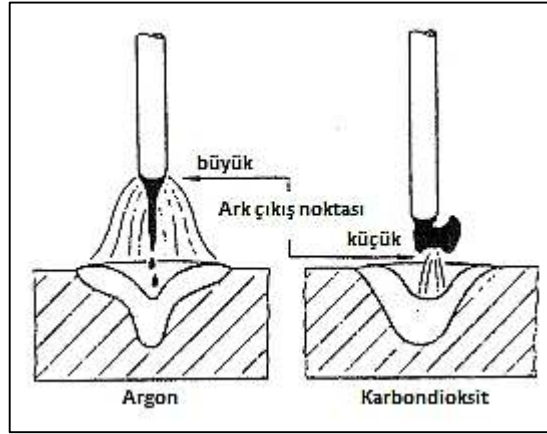
Şekil 24. Farklı akım şiddetine ve ısınma durumuna göre pinç kuvveti

Düşük akım şiddetinde pinç etkisi koyu haldeki damlayı deforme etmeye yetmez. Damla sadece biraz bükülür. Kaynak banyosuna iri damlalar geçer. Yüksek akım şiddetinde kritik akım şiddetinin üzerine çıkılır ve pinç etkisi telin ucundaki akışkan damlayı kolayca deforme edebilir ve çok küçük damlaları koparabilir[16].

Çok ısınan telin ucundaki damlanın kopmasını önemli ölçüde etkileyen diğer bir faktör de yüzey gerilimidir. Metalik tel yüzeyleri, asal koruyucu gazlarda olduğu gibi yüksek yüzey gerilimine sahiptir. Böyle durumlarda büyük damla oluşma eğilimi vardır. Koruyucu gaza biraz oksijen veya karbondioksit katıldığında, eriyen damlanın üzerinde oksit lekeleri oluşur. Bunlar yüzey gerilimini düşürürler. Daha az sayıda büyük damlalar yerine daha çok sayıda küçük damlalar kaynak banyosuna geçer. Diğer önemli bir kuvvet de aşırı derecede ısınmış olan kaynak banyosunun üzerinde meydana gelen ve damlanın kopmasına ters yönde etki eden buhar basıncıdır. Elektromanyetik pinç kuvveti ve plazma demeti kuvveti kaynak banyosuna doğru etki eder. Ağırlığın etki yönü ise kaynak pozisyonuna bağlıdır.

Arktaki kuvvetlere ek olarak koruyucu gaz bileşiminin de damlanın kopmasında belirleyici bir etkisi vardır. Arkın çıkış noktasında ve arkın içinde sıcaklıklar farklıdır ve koruyucu gazların yüksek sıcaklıklardaki iletkenlikleri farklıdır. Burada önemli bir sıcaklık da malzemenin buharlaşma sıcaklığıdır. Argon yüksek sıcaklıklarda diğer gazlara göre daha kötü bir iletkenidir. İyonlaştırılmış gazların ısı iletkenliği elektriksel iletkenliğiyle doğru orantılı olduğu için, argonun 3000°C 'nin üzerinde kötü bir iletken olduğu söylenebilir. Daha düşük sıcaklıklarda argon ısı iletkeni olarak iyonlaşmadığı için bir yalıtkandır. Kaynak akımı iş parçasından elektrota sadece sıcak argon gazının olduğu bölgede aktarılabilir.

Çapı 0.8 ile 1.2 mm olan tel elektrotların ucundaki alın tarafında sadece küçük bir yüzey ark çıkış noktası olarak kullanılır. Bu sıcaklıkta argonun elektriksel ve ısı iletkenliği bütün akımı telin ucu tarafından aktarmaya yeterli gelmez. Bunun sonucunda ark yukarı yükselir. Arkın yükselmesi argon ve argonca zengin gazlarda malzeme geçişini belirler (şekil 25).



Şekil 25. Damlacıkların geçişinde koruyucu gazların etkisi[16]

Telin ucu arkın çıktığı nokta sayesinde sadece alın tarafından değil, içten ve dıştan da ısınır. Telin ucunda daha uzun aşırı ısınmış bir bölge oluşur. Pinch kuvveti etkili olabilir ve sıvı tel ucunu büzerek, sıcaklığa ve akım şiddetine bağlı olarak küçük veya çok küçük damlaların kaynak banyosuna geçmesini sağlayabilir.

Bu durum %100 CO_2 ve %25'ten fazla CO_2 içeren karışık gazlarda başkadır. Karbondiyoksit gazı 3000°C civarında ayrışır. Buradaki ısı ve elektriksel iletkenlik çok iyidir. Kaynak akımını aktarmak için telin ucunda küçük bir ark çıkış noktası yeterlidir. Isı

sadece bu çıkış noktasından tel elektrotla iletilir. Tel elektrotun ucu örneğin 2 mm gerideki bir noktadan daima daha sıcaktır. Düşük sıcaklık nedeniyle pinç kuvveti etkili olamaz. Daha uzun arkta telin ucunda arktaki kuvvetlerin etkisiyle hareket eden bir damla meydana gelir. Damlanın kontrollu olarak koparılması mümkün değildir. Damlalar çoğunlukla kısa devre yaparak geçer ve kısa devre sırasında çok miktarda sıçrantılar meydana gelebilir[16].

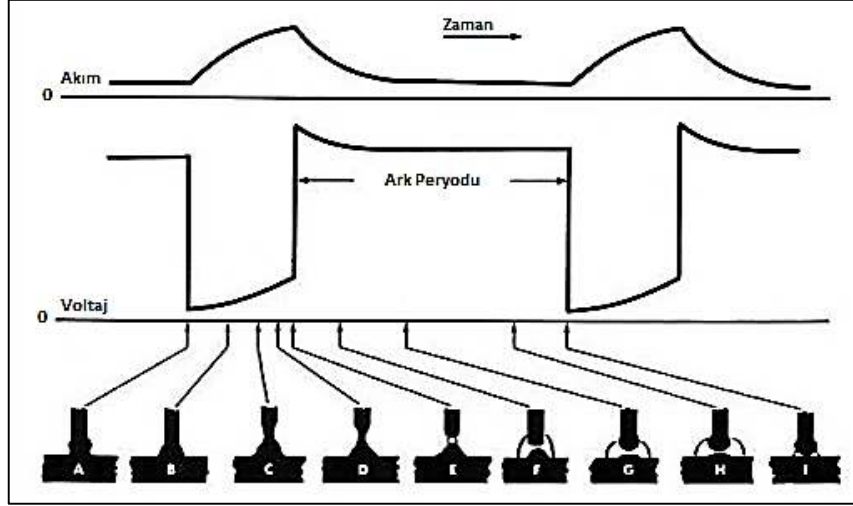
2.3.3. Ark Çeşitleri

2.3.3.1. Kısa Ark

Kısa ark kaynağı 0.76mm ile 1.1mm çapına sahip küçük çaptaki tellerde kullanılır ve kısa ark operasyonu düşük ark uzunluğu (düşük voltaj) ve düşük kaynak akım değerlerinde gerçekleşir. Bu kaynak tekniği özellikle ince malzemelerin herhangi bir kaynak pozisyonunda, kalın malzemelerin dikey ve tavan-korniş pozisyonlarında ve büyük boşluklu kaynak ağızlarının doldurulmasında kullanılır. Ayrıca kısa ark kaynak yöntemi iş parçasında minimum çarpılma istenen durumlarda kullanılmalıdır[32].

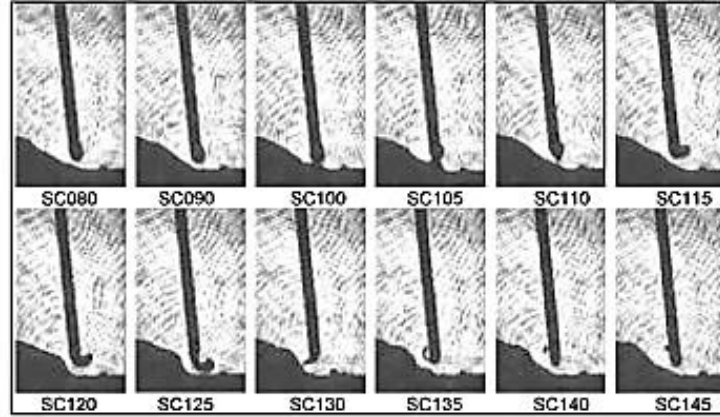
Çünkü ark düzenli olarak kısa devrelerle kesilmektedir. Ark fazında yani ark yanarken tel elektrot ısınır. Sıvı malzeme kısa devre sırasında kaynak banyosuna geçer. Kısa arkta akım şiddeti düşüktür, telin ucundaki damla ve kaynak banyosu küçüktür. Bu nedenle pinç kuvveti etkili olamaz[16].

Kısa arkı tanımlayacak olursak; belli bir anda tel elektrotla iş parçası arasında ark yanar. Tel düzenli olarak kaynak banyosuna doğru itildikçe arkın boyu kısalmır. Bu sırada eriyen telin ucunda küre şeklinde bir damla oluşur. Ark kısa bir süre yandıktan sonra bu sıvı damla kaynak banyosuna değerek kısa devre meydana getirir. Kısa devre fazı sırasında sıvı tel ucunun büyük bir kısmı kaynak banyosuna geçer. Kısa devre sırasında yeni tel malzemesi erimediği ve sadece telin ucu direnç nedeniyle ısındığı için kısa devreyi oluşturan köprü sürekli inceler ve ısınır. Ek olarak akım şiddeti kısa devre nedeniyle artar, bunun sonucu olarak pinç kuvveti etkili olur ve kısa devre köprüsü incelerek kopar. Ark yeniden tutuşur ve bütün bu süreç parametrelerin ayarına göre saniyede 20 ile 200 defa arasında tekrarlanır[33]. Şekil 26’da bu durum gösterilmiştir;



Şekil 26. Kısa arkta damla geçişi sırasında parametre değişimleri

Şu anda özellikle düşük ark gücü bölgesinde kısa arkın yerini tutan başka bir yöntem yoktur. Kısa devre köprüsü koparken sıçrantılar olur, ancak iyi makinalarda düşük akım şiddetli bölgesinde çok küçük sıçrantılar oluşur ve bunlar kaynaklanan parçaya yapışmaz. Şekil 27’de kısa ark kaynak yöntemi ile kaynak metalinin kaynak havuzuna geçişi gösterilmektedir;

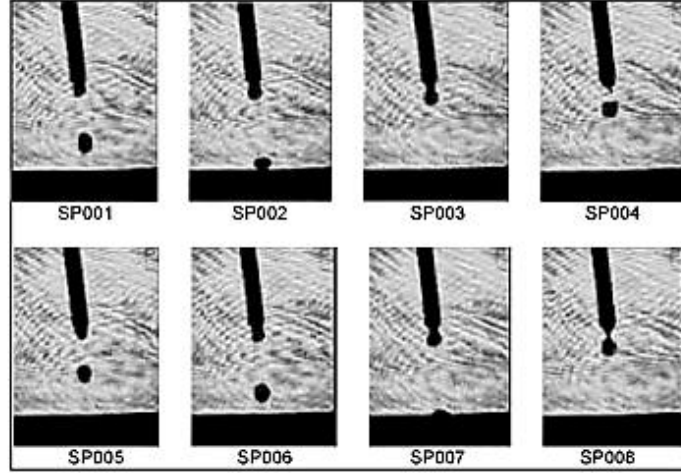


Şekil 27. Kısa ark yönteminde kaynak metalinin kaynak havuzuna geçişi[34]

2.3.3.2. Sprey Ark

Kaynak akımı ve geriliminin artmasıyla metal transfer şekli sprej ark kaynağına geçecektir[35]. MAG kaynağında kritik akım şiddetinin üzerine çıktığında argonca

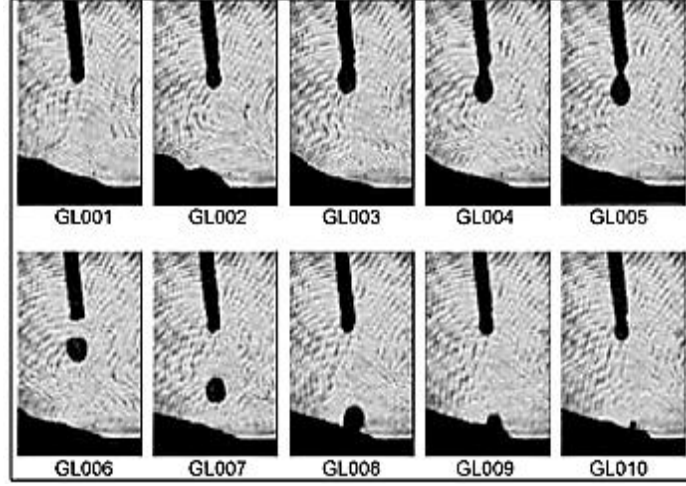
zengin karışık gazlarda telin ucu çok ısınır, akışkanlaşır ve pinç kuvveti etkili olabilir. Kritik akım şiddeti tel çapına ve koruyucu gaz bileşimine bağlıdır. Eriyen tel ucu küçük damlalar halinde kaynak banyosuna geçer. Bu sırada oluşan sıçrantılar o kadar küçüktür ki parçaya yapışmazlar. Malzeme geçişi şekil 28’de gösterilmiştir;



Şekil 28. Sprey ark yönteminde kaynak metalinin kaynak havuzuna geçişi[34]

2.3.3.3. Geçiş Arkı

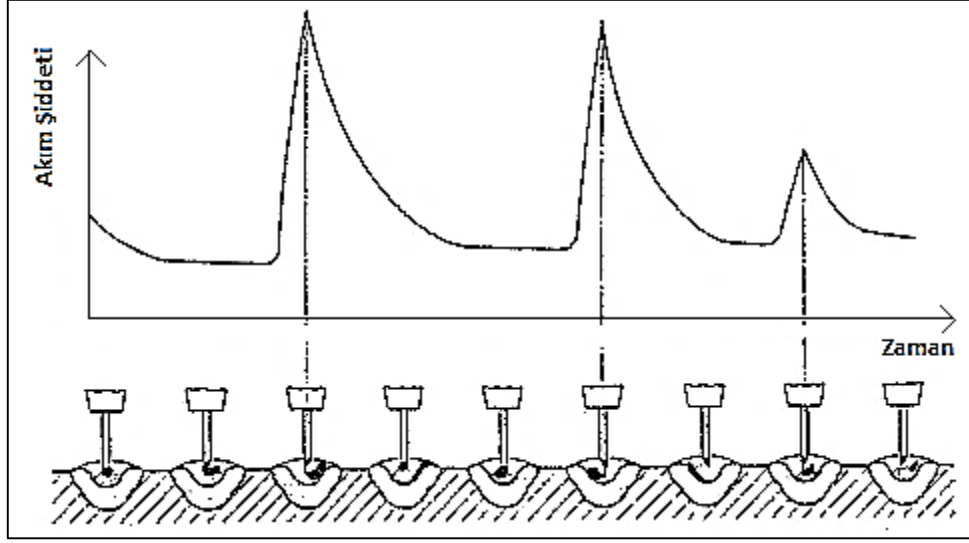
Bu ark kısa arkla sprey ark arasındaki sınır bölgede meydana gelir ve bazı uzmanlar tarafından kısa ark bölgesine dahil edilir. Geçiş arkında eriyen tel malzemesinin bir kısmı kısa devre yapmadan ancak düşük akım şiddeti nedeniyle iri damlalar halinde geçer. Ark nispeten kısa olduğu için damlalar koparken kısa devreler meydana gelebilir. Kısa arka göre daha yüksek akım şiddetlerinde meydana gelen bu kısa devreler iş parçasına yapışan çok miktarda sıçrantıya sebep olabilir. Geçiş arkı kullanılmamalıdır, ancak özellikle yukarıdan aşağı pozisyonlarda her zaman önlenemez. Darbeli ark, geçiş arkı bölgesini çok az sıçrantılar oluşturarak kapsar.



Şekil 29. Geçiş ark yönteminde kaynak metalinin kaynak havuzuna geçişi[34]

2.3.3.4. Uzun Ark

Uzun ark %100 karbondioksit veya %25 ten fazla karbondioksit içeren karışık gaz atmosferi altında orta ve yüksek akım bölgesinde oluşur. Bu gazların iletkenliğinin iyi olması telin ucunda nokta şeklinde ark çıkış noktası meydana getirir ve telin ucundaki arkın yukarıya doğru yükselmesini önler. Arkın çıkış noktasından birkaç mm uzak olan tel ucu soğuk olduğu için Pinch kuvvetinden etkilenmez. Telden kopup kaynak banyosuna geçen damlalar çok iridir. Damlalar düzensiz olarak çoğunlukla da kısa devre yaparak kaynak banyosuna geçer. Bunun sonucunda meydana gelen sıçrantılar optimum ayarlarda ve iyi akım üreteçlerinde bile argonca zengin gazlara göre bariz bir şekilde daha fazladır. Akımın zamana bağlı olarak değişimi ve malzeme geçişi şekil 30’da gösterilmiştir;



Şekil 30. Uzun ark geçişi sırasında parametre değişimleri[16]

2.3.3.5. Darbeli Ark

Darbeli arkta normal doğru akım yerine darbeli doğru akım kullanılır. İdeal durumda her darbeye telin ucundan bir damla kopar ve darbenin sonunda kısa devre yapmadan ve sıçranta meydana getirmeden kaynak banyosuna geçer.

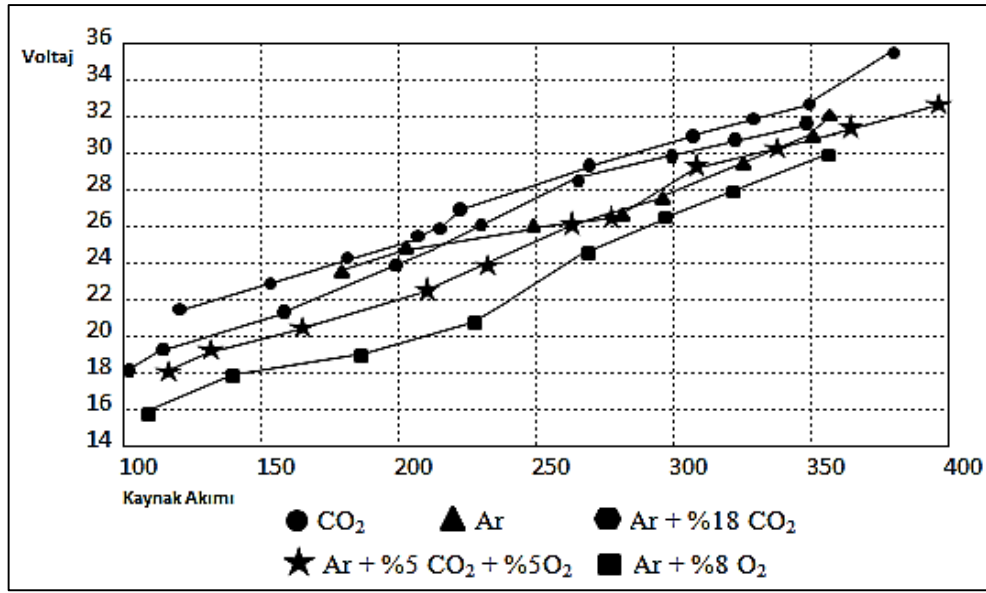
Bu düşünceler doğrultusunda daha 1995’lerde 25, 33, 1/3, 50 ve 100 Hz gibi darbe frekansları sabit olan tristör kontrollü akım üreteçleri imal edilmiştir. Bu üreteçler alüminyum esaslı malzemeler ve Cr-Ni çelikleri için uygundu. Alüminyum malzemelerde kalın elektrotla (1.2 ve 1.6mm) ince plakaların kaynağı yapılabilirdi. Normalde 0,8mm’lik teller kullanılması gerekiyordu ve bunlar çok ciddi tel sürme problemleri yaratıyordu. Bu donanımlardaki problem, tristörlü faz kesitlerine bağlı olan darbe şekliydi. Dar darbelerin akım şiddeti düşük, geniş darbelerin akım şiddeti yüksekti. Geniş darbeler gerektiren alüminyum esaslı malzemelerde ve dar darbenin çok önemli olmadığı CrNi çeliklerde iyi sonuçlar elde edilebiliyordu. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler üreticiler tarafından sürekli denenmesine rağmen bu makinalarla kaynaklanamıyordu.

Güç elektroniğinin gelişmesiyle 80’li yıllarınbaşında ilk transistörlü akım üreteçleri pazara girdi. Darbe frekansı değişken, darbe genişliği ve yüksekliği ayarlanabilir olan bu akım üreteçleriyle, çelikler için gerekli olan yüksek ve dar darbeler düşük temel akımla ayarlanabiliyordu. Bu transistörlü akım üreteçlerinin gelişimi MAG kaynağı için çok az sıçrıntılı kaynak yapabiliyordu.

2.4. MAG Kaynak Makinalarının Ayarlanması

2.4.1. Konvansiyonel Ark

Bazı akım üreteçleri arkı ayarlamak için iki düğmeye sahiptir; gerilim ayarı ve tel sürme hızı. Daha pahalı olan cihazlarda endüktans ayarı da vardır. Gerilimle tel sürme hızı arasında sabit bir oran yoktur, bu oran malzeme geçişine göre değişir. Ancak tel hızı arttıkça daima gerilim de artmaktadır. Bu ilişki şekil 31’de değişik koruyucu gazlarda 1,2mm’lik tel için gösterilmiştir. Karbondioksit ve yüksek karbondioksit içerikli karbonca zengin karışık gazlar, saf argona ve %20’den az karbondioksit içeren argonca zengin gazlara göre daha fazla gerilim gerektirirler.



Şekil 31. Tel hızı artışının kaynak gerilimine olan etkisi[16]

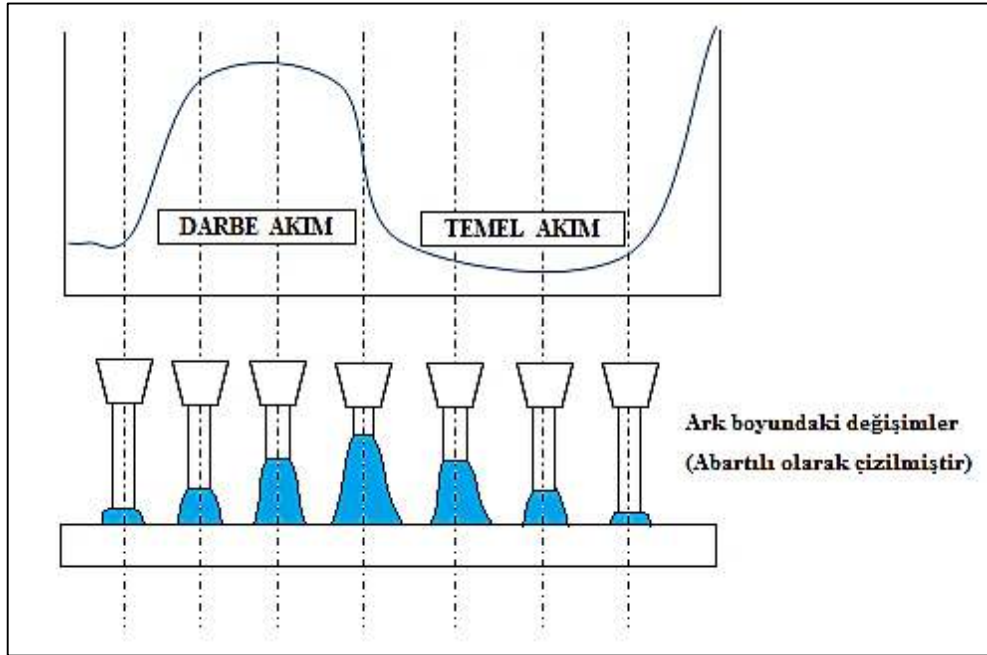
Kural olarak kaynakçının ark ayarını yapabileceği bir ölçme cihazı yoktur. Ölçme cihazı olsa bile, örneğin farklı hortum uzunluğu ve iş parçası kablosu uzunluğu kullanılıyorsa, bir cihazdan alınan sonuçların bir diğerine uygulanması problemlili olabilir. İyi eğitilmiş bir kaynakçı işitme duyusuna ve gördüklerine göre ayarlar. Malzeme geçişi doğru olmalı ve ark doğru uzunlukta olmalıdır. Kaynakçı kısa arkla kaynak yaparken düşük ark gücü bölgesinde, akım şiddetine ve kaynaklı işin türüne göre 20 ile 120 Hz arasında değişen ve kısa devre frekansı homojen olan bir değere ayarlar.

Çok yüksek bir gerilim ayarı veya çok düşük bir tel hızı kısa devre frekansı düşük, damlaları iri olan ve sıçrantılar yaratan uzun arka sebep olur[16].

Sprey arkta ayarlama parametreleri aynıdır. Çok yüksek voltajda arkın boyu uzun olur ve içinden kısa devre yapmadan arkın geçen damlalar uzun süre oksitleyici atmosferde kalırlar ve alaşım elementlerini kaybedebilirler. Arkın sesi tıslar şekilde olmamalı, net bir şekilde çıtırtılı olmalıdır. Eğer arkta çok duman çıkıyorsa bu da uzun arka bir işarettir. Çok kısa arklarda kısa devre ve sıçrantı olabilir.

2.4.2. Darbeli Ark

Darbeli arkta malzeme geçişini doğru ayarlamak için 5 parametrenin ayarlanması gerekir. Bunlar; tel hızı, darbe frekansı, darbe genişliği, darbe yüksekliği ve temel akım şiddetidir. Şekil 32’de bu parametreler gösterilmiştir;



Şekil 32. Darbeli ark yönteminde parametrelerin değişimi

Darbeli arkta her darbeye bir damla telden kopmalı ve kısa devre yapmadan kaynak banyosuna geçmelidir.

Telin ucuyla kaynak banyosu arasında 30-40 A’lık temel akım şiddetiyle ark yanar. Bu akım şiddetinde telin ucu hemen hemen hiç erimez, ancak darbeler arasındaki sürede

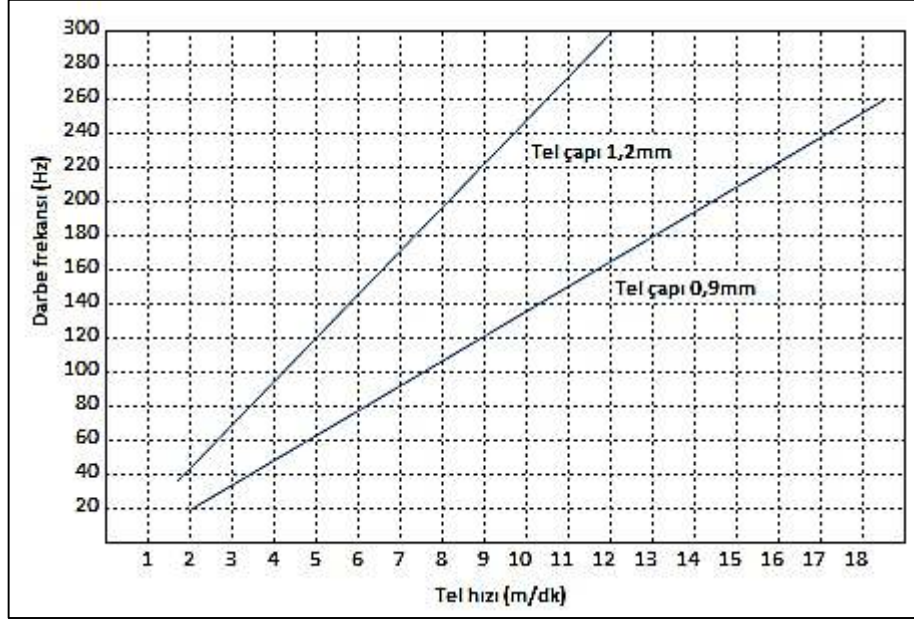
ark yanar halde tutulur. Birkaç milisaniyelik temel akımdan sonra kullanılan telin kritik akım şiddetinin (1.2mm'lik tel çapında ortalama 480-550A) üzerine kadar çok ani (yaklaşık 800-1000A/ms) bir akım artışı olur. Bu yüksek akım şiddetlerinde çelik için ortalama 2 saniyede Pinch etkisinin büzebileceği kadar tel erir.

Damla tamamen kopmadan önce akım şiddeti tekrar düşmelidir. Büzülerek koparılan damla kaynak banyosuna geçer ve tel elektrot temel akımla ısıtılmaya devam eder. Telin erime hızına göre saniyede 40-250 darbe ayarlanır. Çelikte kullanılan darbeler çok kısa (1.8-2.2ms) fakat çok yüksek olmalıdır. CrNi çeliklerinde darbeler daha da kısadır (1.6-2.9ms), fakat damla geçişinin biraz kötüleşmesi halinde daha geniş ayarlanabilir. Al malzemelerde sıvı metali çok ısıtmamak için daha geniş ve yüksekliği az olan darbeler seçilir. Alüminyumda temel akım plaka kalınlığına bağlı olarak kaynaklanan parçaya yeterli ısı girdisini sağlamak için çelikten daha yüksek olmalıdır. Bu durum maliyet nedeniyle her darbede bir damla geçişiyle yapılır[16].

Pomaska ve Schellhase'a göre Pinç kuvveti kaynak akımının, telin çapının ve ark sütunun çapının fonksiyonudur. Basitleştirilmiş haliyle sadece akımın karesi alındığında yukarıdaki değerleri elde ederiz.

Münih Kaynak Enstitüsü'nde yapılan kapsamlı araştırmalar, telin ucundan en kolay kopan damla büyüklüğünün tamamen tel çapından ve tel hızından bağımsız olduğunu göstermiştir. Bu ideal damla büyüklüğüne malzemenin türü ve küçük ölçüde de koruyucu gaz bileşimi ve temel akım şiddeti etki eder.

Bu ilişkilerden şu sonucu çıkartabiliriz; bir kez bulunan ideal darbe şekli değişik erime hızlarında da kullanılabilir. Bu durumda sadece tel hızı ve darbe frekansının belli bir oranda arttırılması gerekir. Şekil 33'de bu oran 0.9 ve 1.2mm'lik SG2 ve SG 3 telleri için verilmiştir;



Şekil 33. SG2, SG3 kaynak telleri için tel hızı ve darbe frekansları oranları[16]

Eğer tel sürme çok iyi ise darbeleri arkta kural olarak sıçrantı oluşmaz. Temas borusunun ucundan düzensiz çıkan tel ile en iyi transistörlü akım üreticiyle bile kısa devresiz sıçrantısız ark elde edilemez. Kaynak hızı ne kadar büyükse o kadar kısa bir ark ayarlanmalıdır, aksi takdirde yanma çentikleri oluşabilir.

2.4.3. Ayar Parametrelerinin Dikiş Formuna Etkisi

2.4.3.1. Ark Geriliminin Etkisi

Ark gerilimi arkın uzunluğunu ve dikişin genişliğini belirler. Ark gerilimi yüksekse, dikiş yassı ve geniş olur, yanma çentikleri ve manyetik üfleme etkisi meydana gelebilir. Çok uzun ark boyunda alaşım elementleri arkta daha çok yanar ve duman çıkabilir. Çok düşük gerilim dar, aşırı dışbükey dikişlere sebep olur ve kısa devre tehlikesi yaratabilir.

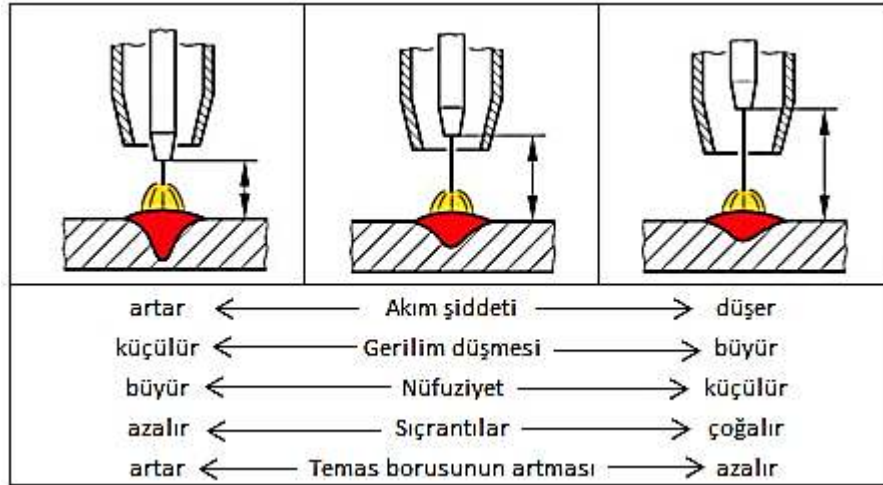
2.4.3.2. Tel Hızının Etkisi

Tel hızı erime hızıyla doğru orantılıdır ve kaynak akımıyla tel hızı arasında hemen hemen sabit bir oran vardır. Tel hızı arttıkça akım şiddeti ve nüfuziyet derinliği de artar.

Dikiş genişliği normal çalışma aralığında fazla etkilenmez. Eğer kaynak hızı ve gerilim gibi diğer parametreler arttırılmazsa, tel erime hızı arttığı için düğüş dışbükeyliği artar.

2.4.3.3. Temas Borusu Mesafesi

Temas borusu mesafesi olarak temas borusunun ucuyla iş parçası yüzeyi arasındaki mesafe tarif edilmiştir. Bu mesafe hassas değildir, çünkü kaynak banyosunun yüksekliği ve arkın boyu hassas olarak ölçülemez. Pratikte gaz nozulunu ve temas borusunu ısıtım etkisinden korumak için düşük akım bölgesinde küçük ve yüksek akım bölgesinde daha büyük temas borusu mesafeleri ayarlanır. Şekil 34’de temas borusu mesafesinin akım şiddetine ve nüfuziyet derinliğine olan etkisi gösterilmiştir;



Şekil 34. Temas borusu mesafesinin dikiş geometrisi ve akım şiddetine etkisi[16]

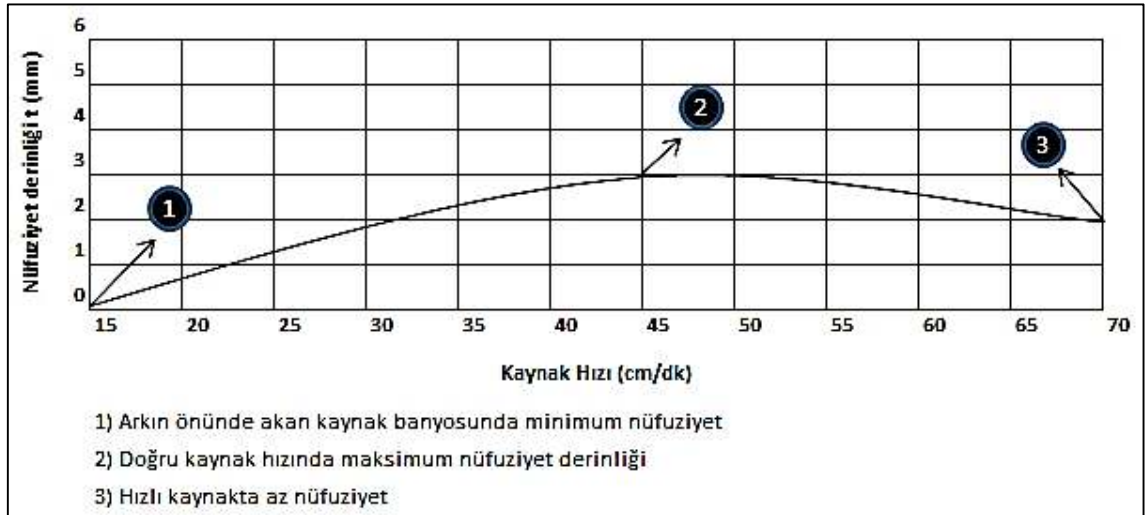
Ark çeşidine bağlı olarak temas borusu mesafesi değişkenlik göstermektedir. Ark çeşidine bağlı olarak temas borusu mesafeleri tablo 8’de gösterilmiştir;

Tablo 8. Ark çeşidine bağlı olarak temas borusu mesafesi

Ark Çeşidi	Temas borusu mesafesi k (mm)	Geri çekme s (mm)
Kısa Ark	Ortalama 10* tel çapı	0-3
Uzun Ark	Ortalama 8-12* tel çapı	2-5
Sprey Ark	Ortalama 12-16*tel çapı	5

2.4.3.4. Kaynak Hızı

Sabit kaynak parametrelerinde kaynak hızının artırılması dikişin kesitini küçültür. Daha yüksek kaynak hızında aynı dikiş geometrisini elde etmek için kaynak geriliminin ve tel hızının da artırılması gerekir. Kaynak hızı keyfi olarak seçilemez. Elle kaynakta 40 ile 60 cm/dk'lık kaynak hızları uygundur, daha yüksek hızlarda bir kaynakçı üfleci elle düzgün hareket ettiremez. Mekanize kaynaklarda hız artırılabilir. Kaynak hızı çok yüksekse kaynak dikişi çok dışbükey ve dar olur. 1 ile 1,5m/dk arasındaki kaynak hızları sınırlı kaynak dikiş kalitesi gerektiren seri üretimlerde kullanılır. 40 cm/dk'lık bir hızın altına inildiğinde arkın önünde akan kaynak banyosu nüfuziyeti önemli ölçüde azaltabilir ve birleşme hatalarına sebep olabilir (şekil 35).



Şekil 35. Kaynak hızının nüfuziyet derinliğine etkisi[16]

2.5. MAG Kaynağında Parametre Seçimi

Kaynak parametreleriyle ilgili değerler sadece klavuz değerler olabilir, başka yapı elemanlarında kullanılmaz.

Parametre seçiminde kaynaklanacak malzemenin yapısı, kaynak ağızları, kaynak birleştirme tipi ve kaynak pozisyonları, koruyucu gaz ve sarf malzeme gibi etkenler de dikkate alınıp ideal birleştirme tipi için ideal kaynak parametre değerleri belirlenir. Parametre seçimi belli standartların atıfta bulundukları standartlar dahilinde gerçekleştirilen test ve sonuçların olumlu çıkması durumunda belirlenir. Metalik malzemeler için kaynak parametrelerinin belirlenmesinde EN ISO 15614 metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması standardı ve standart gereklilikleri yerine getirilerek kaynak parametreleri belirlenir. Köşe kaynağı ve alın kaynaklarının parametrelerinin belirlenmesi aşamasında köşe ve alın kaynaklarının tabi tutulduğu testler alttaki tablolarda verilmiştir;

Tablo 9. EN ISO 15614'e göre kaynak test parçalarının tabi tutulduğu testler

Deney parçası	Muayene/deney tipi	Muayene/deney kapsamı
Tam nüfuziyetli alın kaynağı	Gözle	100%
	Radyografik veya ultrasonik	100%
	Yüzey çatlağı bulma	100%
	Enine çekme deneyi	2 numune
	Enine eğme deneyi	4 numune
	Vurma deneyi	2 takım
	Sertlik deneyi	Gerekli
	Makroskopik muayene	1 numune
Tam nüfuziyetli T-birleştirme	Gözle	100%
	Yüzey çatlağı bulma	100%
	Radyografik veya ultrasonik	100%
	Sertlik deneyi	Gerekli
	Makroskopik muayene	2 numune
İç köşe kaynağı	Gözle	100%
	Yüzey çatlağı bulma	100%
	Sertlik deneyi	Gerekli
	Makroskopik muayene	2 numune

Kaynak tipinin belirlenmesi sonucu kaynak tipine göre tabloda verilen testler EN ISO 15614 standardına uygun olarak numunelere uygulanır, test sonuçlarının olumlu çıkması sonucunda da kaynak parametreleri belirlenmiş kaynak birleşimi için onaylanmış olur.

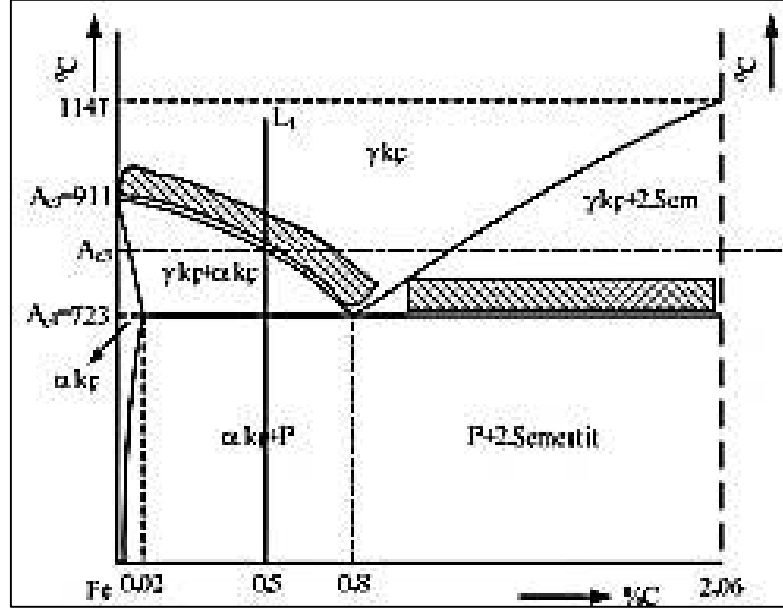
Kaynak parametreleri olarak, akım, voltaj, tel sürme hızı ve ilerleme hızı değerlerinin yanında kaynak öncesi ön tav, pasolararası maksimum sıcaklık ve kaynak sonrası tavlama sıcaklık değerleri de kaynak parametrelerini içeren parametrelerdir. Ana malzeme, sarf malzeme vb. etkenler sonucu kaynaklı birleştirmelerin bazı özel durumlarda ısıtılma işlemlere tabi tutulması gerekebilmektedir.

2.6. Temperlenmiş Martenzit ve Termomekanik Haddelenmiş Çeliklerin Özellikleri

Temperleniş martenzit çelikler, belirli alaşım elementi ihtiva eden çeliklere önce su verme ve ardından uygulanan temperleme işlemleri ile çeliğin önce sertleşmesi daha sonra uygulanan ısıtılma işlemleriyle çeliğe istenen tokluk ve süneklik değerlerinin kazandırılmasıyla üretilen çeliklerdir.

Ötektoid altı çelikler A3, ötektoid üstü çelikler A1 sıcaklığının 30-50°C üzerine ısıtıldıktan sonra hızla soğutularak yapıda bulunan östenitin perlit yerine martenzite dönüştürülmesiyle su verme işlemi gerçekleştirilir. Amaç su verme işlemiyle martenzit yapı elde etmektir. Burada çeliğin sertleşmesindeki temel prensip hızlı soğumadan dolayı karbonun difüzyonun engellenmesidir[36].

Sertleştirme işlemi temperleniş martenzit çeliklerin üretilmesi için kritik bir süreçtir. Östenitlenmiş yapının su verme işleminden sonra tamamen yani çekirdeğe kadar martenzit yapıya dönüşmesi gerekir. Östenitleme sıcaklıkları ötektoid altı ve ötektoid üstü çelikler için alttaki şekilde gösterilmiştir;



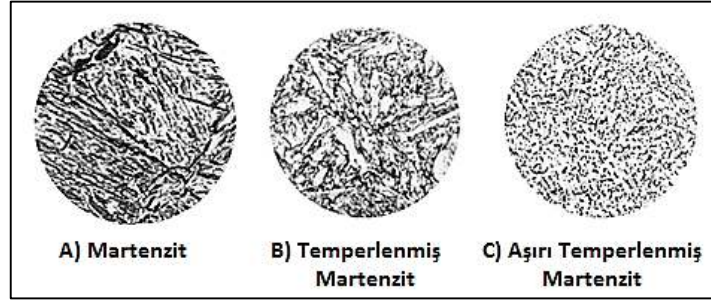
Şekil 36. Ötektoid altı ve ötektoid üstü çelikler için östenitleme sıcaklıkları

Alaşımsız karbon çeliklerindeki martenzit, hacim merkezli kübik veya hacim merkezli tetragonal demir içinde karbonun aşırı doymuş arayer katı çözeltisi oluşturduğu yarı kararlı bir fazdır. Yüksek kafes çarpılmalarından dolayı martenzit yapı yüksek artık gerilmelerine sahiptir. Bu yüksek kafes distorsiyonları martenzit yapıda yüksek sertlik ve yüksek dayanıma yol açar[37].

Faz diagramları çok yavaş soğuma koşullarında oluşturulduğundan soğuma hızları değişik olan malzemelerin iç yapıları da bu durumda değişkenlik göstermektedir. Bu durumda faz diagramları nihai yapı hakkında bize bilgi vermede biraz sığ kalmaktadır. Zaman sıcaklık dönüşüm diagramları bu durumda bize soğumaya bağlı olarak nihai ürün iç yapısı hakkında bilgiler sunabilmektedir. Süreçlerin hepsi gibi östenit yapının soğuma hızı da martenzitik yapı oluşumu için çok kritik bir süreçtir. Soğuma ortamı, soğuma koşulları ve soğuma hızı dönüşüm sonrası yapıyı belirleyecek en önemli faktörlerdendir.

Alaşımsız karbon çeliklerinde martenzitlerin yapısı çeliğin karbon miktarına bağlıdır. Karbon miktarı %0.6'dan az ise, martenzit farklı fakat sınırlı yönelimdeki çıtaların bulunduğu bölgelerden oluşmuştur. Pratik olarak %0.2'den az karbon elementi içeren çeliklere su verilemez. Zira karbon miktarı %0.2'den az olan çelikler kaynaklanabilirliği iyi olan yani önısıtma ya da kaynak sonrası tavlama ihtiyacı olmayan çeliklerdir.

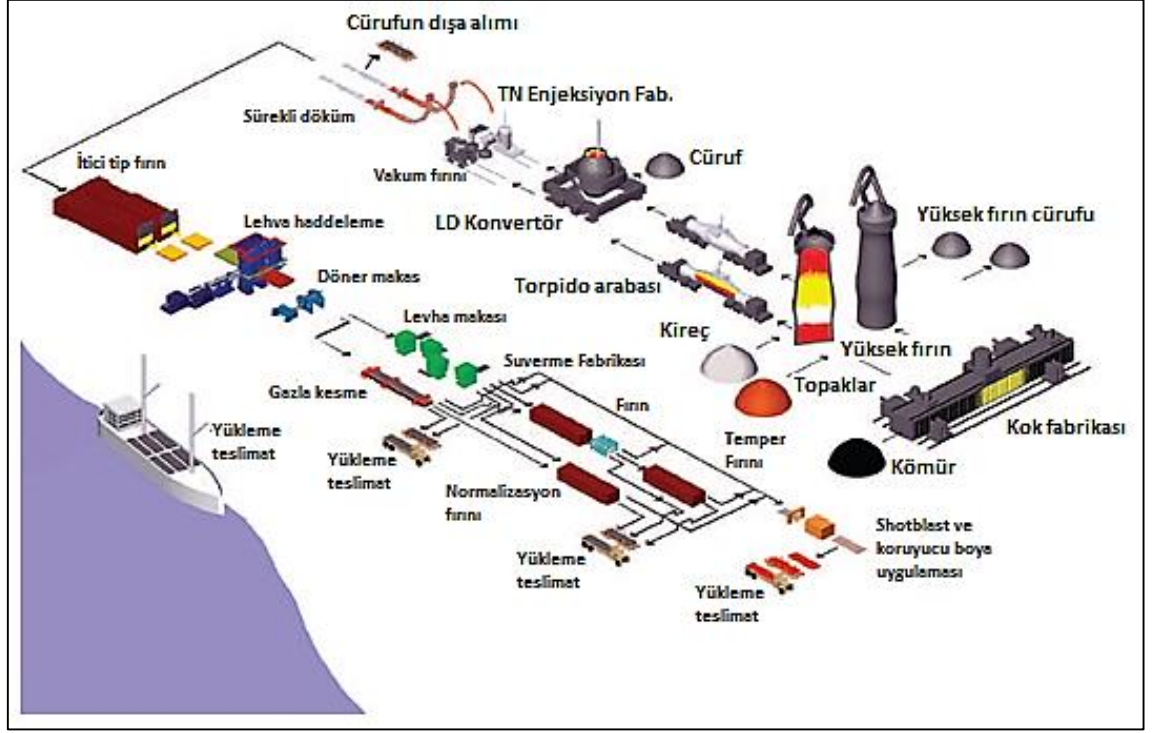
Temperleme işlemi ise su verme işleminden hemen sonra, 100-650°C sıcaklıklar arasında uygulanan ısıl işlemdir. Amaç parçaya su verme işlemi ile kazandırılan aşırı sert yapı yanında temperleme işleminin uygulanmasıyla parçaya süneklik ve tokluk özellikleri de kazandırılmasıdır. Temperleme işlemi sıcaklık ve süre gibi parametrelere bağlıdır. Temper basamakları yani ısıl işlem prosesinde uygulanacak olan sıcaklık ve süre parametreleri parçanın nihai durumundaki yapısını ortaya koyan kritik bir süreçtir. Üretilen parçadan beklenen sertlik ve sünekliğe göre temper parametreleri belirlenir. Altındaki şekilde kimyasal kompozisyonu ve su verme prosesi aynı, temperleme parametreleri farklı olan 3 adet numunede elde edilen temper yapısı gösterilmektedir;



Şekil 37. Farklı temperleme parametrelerine sahip numunelerin iç yapısı

2.6.1. Hardox450 Çeliklerinin Özellikleri

Hardox450 çeliği Hardox sınıfına dâhil olmakla birlikte su verilmiş ve temperlenmiş olarak üretilen çelik sınıfındadır. Hardox çeliklerinin üretimini sembolize eden şematik resim altta verilmiştir;



Şekil 38. Hardox çeliği üretim akış şeması

Su verme ve temperleme işlemleri sayesinde Hardox çelikleri düşük alaşım element içeriğine sahip olmasına rağmen yüksek sertlik ve yüksek mukavemet değerlerine sahiptir. Alaşım elementlerinin düşük olması sayesinde Hardox çelikleri kolay işlenebilir ve kaynak edilebilir özelliklere sahiptir. Su verme ve temperleme basamaklarına göre Hardox çelikleri; Hardox400, Hardox450, Hardox500, Hardox550 ve Hardox600 olarak farklı mukavemet değerlerinde üretilmektedir. Artan mukavemet değerleri ile birlikte kademesine göre içerdiği alaşım element yüzdesi ve C eşdeğeri de artış göstermektedir;

Tablo 11. Hardox çeliklerinin yüzdece alaşım elementleri[38]

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon								
	%C max	%Si max	%Mn max	%P max	%S max	%Cr max	%Ni max	%Mo max	%B max
Hardox400	0.15	0.7	1.6	0.025	0.01	0.5	2.0	0.6	0.004
Hardox450	0.26	0.7	1.6	0.025	0.01	1.4	1.5	0.6	0.005
Hardox500	0.3	0.7	1.6	0.02	0.01	1.5	1.5	0.6	0.005
Hardox550	0.37	0.5	1.3	0.02	0.01	1.4	1.4	0.6	0.004
Hardox600	0.47	0.7	1	0.015	0.01	1.2	2.5	0.7	0.005

Artan kimyasal element yüzdesi ile birlikte mukavemet ve sertlik değerlerinde de artış görülmektedir;

Tablo 12. Hardox çelikleri mekanik özellikleri ve karbon eşdeğerleri[38]

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon					
	Sertlik HBW (min-max)	Darbe Enerjisi -40°C (J)	Akma Mukavemeti RP _{0.2} (MPa)	Çekme Mukavemeti R _m (MPa)	Karbon Eşdeğeri	
					CEV (%)	CET (%)
Hardox400	370–430	45	1000	1250	0.37	0.27
Hardox450	425–475	40	1200	1400	0.48	0.35
Hardox500	470–530	30	1300	1550	0.62	0.41
Hardox550	525–575	30	1400	1700	0.72	0.48
Hardox600	570–640	20	1650	2000	0.73	0.55

Hardox çelikleri bu beklentilerden öncelikle aşınma dayanımını sağlama amaçlı olarak üretilmeye başlanmıştır. Bilhassa darbeler sırasında darbelere karşı direnç özelliği sağlayabilmek adına Hardox çelikleri kamyon damperlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Kendi içinde farklı mukavemet değerlerinde üretilmesi sonucu müşteriye istenen mukavemet değerlerine göre Hardox sınıfı seçimi için olanak sağlamaktadır.

2.6.2. Optim700MC Çeliklerinin Özellikleri

Optim700MC çelikleri Hardox450 çelikerine benzer olarak kademeli üretilen termomekanik haddeme sonucu üretilen yüksek mukavemet düşük alaşımlı çeliklerdir. İşlem olarak termomekanik haddelenmiş işlem görmüş bu çelikler soğuk şekillendirilebilir özelliği taşıırken EN 10149-2 standardının gereksinimlerini karşılamaktadır. 5 kademede üretilen bu çelikler isimlerini akma mukavemet değerlerinden almaktadır.

Tablo 13. Optim çelikleri mekanik özellikleri ve karbon eşdeğerleri[39]

Malzeme	Mekanik Özellikler				
	Darbe Enerjisi -40°C (J)	Akma Mukavemeti RP _{0,2} (MPa)	Çekme Mukavemeti Rm (MPa)	Karbon Eşdeğeri	
				CE (%) ort	CET (%) ort
Optim500MC	Min27	500	550-700	0.32	0.36
Optim550MC	Min27	550	600-760	0.33	0.38
Optim600MC	Min27	600	650-820	0.34	0.41
Optim650MC	Min27	650	700-880	0.35	0.41
Optim700MC	Min27	700	750-950	0.37	0.41

Kademelerine göre termomekanik haddelenmiş olan bu çeliklerin kimyasal analiz ve karbon eşdeğerleri altta verilmiştir;

Tablo 14. Optim çelikleri kimyasal özellikleri[39]

Malzeme	Kimyasal Analiz					
	%C max	%Si max	%Mn max	%P max	%S max	%Al max
Optim500MC	0.1	0.2	1.5	0.02	0.01	0.015
Optim550MC	0.1	0.2	1.7	0.02	0.01	0.015
Optim600MC	0.1	0.2	1.9	0.02	0.01	0.015
Optim650MC	0.1	0.2	2	0.02	0.01	0.015
Optim700MC	0.1	0.2	2.1	0.02	0.01	0.015

Optim700MC malzemenin karbon içeriği düşük olmasına rağmen karbon eşdeğeri diğer alaşım elementleri sebebiyle kısmen yüksek değerlere çıkmaktadır. Bu değerler kaynak prosesi için kısmen yüksek sayılabilmektedir.

2.7. Temperlenmiş Martenzit-Termomekanik Haddelenmiş Çeliklerin Kaynaklanabilirliği

Bu bölümde temperlenmiş martenzit-termomekanik haddelenmiş çeliklerin kaynaklanabilirliği Hardox450 ve Optim700MC çelikleri üzerinden değerlendirilecektir.

Damper üretici firmaların büyük oranda damper gövdesinde Hardox ve Optim malzeme kullanması sonucu çalışmada Hardox450-Optim700MC kaynaklı bağlantısının farklı parametrelerde kaynak kabiliyetinin araştırılması ve kaynak sonrası uygulanan tavlamanın kaynak bölgesine olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Her ne kadar temperlenmiş martenzit çelikleri kendi içlerinde mukavemet değerlerine göre kategorilendirilse de bu çeliklerin belli karbon eşdeğerleri sonrası için kaynak öncesi ve kaynak sonrası tavlama gerekliliği ortaya çıkabilmektedir;

Tablo 15. Et kalınlığı ve malzeme türüne göre temperleme ve pasolararası sıcaklıklar[40]

	3	10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	130
Hardox HiTuf						100°C			125°C			
Hardox 400				75°C		100°C	175°C			200°C		
Hardox 450			125°C			150°C						
Hardox 500			175°C			200°C						
Hardox 550	125°C		175°C		200°C							
Hardox 600	150°C		175°C									

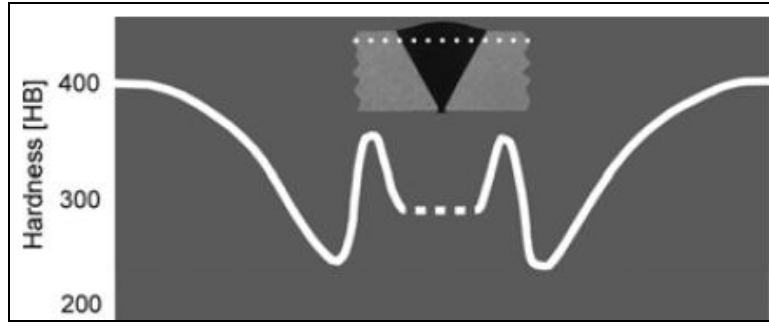
Üretici firma tavsiye tablosuna bakıldığında; 8mm et kalınlığına sahip Hardox450 çeliği için ön ısıtma olarak sadece oda sıcaklığını tavsiye etmiştir. 8mm Hardox450 için oda sıcaklığı üzerinde ne ön tav ne de kaynak sonrası tavlama tavsiye edilmemiştir. Üretici firmanın Hardox çelikleri için vermiş olduğu kimyasal analiz tablosuna bakıldığında Hardox450 malzemenin karbon eşdeğeri 0.44 (maksimum) değerlerine çıkmaktadır.

Tablo 16. Hardox450 Çeliği Kimyasal Analiz Tablosu[41]

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon								
	%C max	%Si max	%Mn max	%P max	%S max	%Cr max	%Ni max	%Mo max	%B max
Hardox450	0.26	0.7	1.6	0.025	0.01	1.4	1.5	0.6	0.005

Bu değer kaynaklanabilirlik için yüksek sayılabilecek bir değerdir. Uluslararası kaynak cemiyeti kaynak bölgesinde çatlama oluşmaması için izin verilebilecek maksimum sertlik değerini 350 HV olarak belirlemiştir[42].

Alttaki grafikte Hardox400 çeliği ile yapılmış kaynak testi sertlik sonuçları mevcuttur;



Şekil 39. Hardox400 kaynaklı parça sertlik testi sonuçları[42]

Çalışmadaki Hardox400 kaynaklı numune enine kesit üzerinden alınan sertlik sonuçlarına bakıldığında; sertlik değerlerinin kaynak metalinde yaklaşık 300 HB civarında olduğu, ısı tesiri altındaki bölgeden uzaklaştıkça 400 HB değerlerine yani Hardox400 malzeme sertlik aralığındaki (370-430HB) değere ulaştığını görmekteyiz[43].

Fakat kaynak metal-ana metal erime çizgisinden ana metal tarafına doğru geçtiğimiz bölgede ani bir sertlik artışı görülmektedir. ITAB bölgesindeki grafik sehimine baktığımızda grafik önce pik yapmakta, daha sonra kaynak metal sertliğinin de altına düşmekte ve ITAB bölgesinden uzaklaştıkça malzeme sertliğine ulaşmaktadır. Sertlik değerinin pik yaptığı bu bölgelerde sertlik değeri yaklaşık 350 HB civarındadır. Bu sertlik değerini vickers cinsinden düşündüğümüzde sertlik 370–380 vickers değerlerine ulaşıyor ki bu değer Uluslararası kaynak cemiyeti tarafından kritik dönüşüm değeri olarak görülmektedir.

Optim700MC eliği de Hardox eliği gibi kategorilere ayrılrsa da bu çeliklerin belirli karbon eşdeğerleri sonrası kaynak öncesi ve/veya kaynak sonrası tavlama işlemine tabi tutulması ihtimalini ortaya çıkarabilmektedir.

Zira Hardox450 eliğinde olduğu gibi Optim700MC eliği de karbon eşdeğeri bakımından değerlendiğinde kaynaklanabilirlik açısından Optim700MC'nin sahip olduğu karbon eşdeğerinin kısmen yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Materyal ve Amaç

Hardox450 ve Optim700MC çelikleri otomotiv sektöründe bilhassa damper tipi araçların damper, şasi ve taşıyıcı kısımlarında, semi-treyler, treyler tipi araçların şasi, kingpin ve alt taşıyıcı kısımlarında sıklıkla kullanılmakta olan çeliklerdir. Kimi zaman araç gövdesini oluşturan alt gövdeler komple aynı malzemeden, kimi zamanda bu iki malzemenin bir arada kullanılmasıyla oluşturulmaktadır.

Hardox450-Optim700MC kaynaklı birleştirmesi malzemelerin karbon eşdeğeri bakımından kısmen yüksek karbon eşdeğerlerine sahip olmasından dolayı bu çalışma için Hardox450-Optim700MC kaynaklı birleştirmesi seçilmiştir. Çalışmada odaklanılan asıl konu ise kaynak sonrası oluşması kuvvetle ihtimal olan sertlik artışının kaynak sonrası ısıtılımlarla yumuşatılabilmesi ve yumuşatmanın yeterli olup olmadığının değerlendirilmesidir.

3.2. Deney Malzemelerinin Kaynak Öncesi Değerlerinin Analizi

Deneyde kullanılacak olan malzemeler kaynak operasyonu başlamadan önce malzemelerin doğrulanması için birtakım testlere tabi tutulmuştur. Kimyasal analiz test sonuçları her iki malzeme türü için alttaki tabloda verilmiştir;

Tablo 17. Hardox450 ve Optim700MC kimyasal özellikleri

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon								Karbon Eşdeğeri (CE _{IIW})
	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	
Hardox450	0.20	0.21	1.05	0.08	0.001	0.40	0.04	0.013	0.46
Optim700MC	0.064	0.25	1.84	0.015	0.018	0.22	0.25	0.0001	0.41

Görüldüğü üzere Optim700MC malzemenin karbon değeri çok düşük olmasına rağmen diğer alaşım elementlerinin fazla olması sebebiyle karbon eşdeğerleri Optim700MC ve Hardox450 malzemenin birbirine yakın çıkmaktadır.

Numuneler daha sonra EN 6507–1 standardına uygun olarak sertlik testine tabi tutulmuştur. Sertlik testi için Vickers yöntemi 1kg yük ile kullanılmıştır. Her iki malzemeden de üçer adet sertlik değeri alınmıştır. Sertlik değerleri her bir malzeme için altta verilmiştir;

Tablo 18. Hardox450 ve Optim700MC numune sertlik sonuçları

Malzeme	Sertlik Testi Sonuçları (HV1)			
	No1	No2	No3	Ort.
Hardox450	499	487	510	498
Optim700MC	326	309	338	324

Standartlara uygun olarak ve üretici firma tavsiyeleri göz önünde bulundurularak kaynak teli ve koruyucu gaz seçimi yapılmıştır. Kaynak teli ve koruyucu gaz bileşimleri alttaki tablolarda verilmiştir;

Tablo 19. Dolgu metali kimyasal kompozisyonu

Kaynak Teli	Kimyasal Kompozisyon		
	%C	%Si	%Mn
G46 4 C 1 G 4 Si 1	0.08	0.9	1.65

Tablo 20. Dolgu metali mekanik özellikleri

Kaynak Teli	Mekanik Özellikler		
	Darbe Enerjisi - 40°C (J)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)
G46 4 C 1 G 4 Si 1	55	470	540

Tablo 21. Koruyucu gaz bileşeni

Koruyucu Gaz	Gaz Bileşimi		
	CO ₂	O ₂	Ar
M24 karışım gazı	$5 < \text{CO}_2 \leq 25$	$3 < \text{O}_2 \leq 8$	Balance

3.3. Deney Malzemelerinin Kaynak İşlemleri

Kaynak parametre seçimi genellikle kaynağı yapılacak olan malzemenin türü, et kalınlığı, malzeme özelliği vb. etkenlerin göz önünde bulundurularak ön analizlerin yapılması ve sonucunda nihailendirilmesi esasına dayanır. Bir WPS onay süreci bu aşamalardan oluşmaktadır. Kaynağı yapılacak olan malzemenin malzeme türü, et kalınlığı, kaynak pozisyonu, kaynak teli, koruyucu gaz bileşimi belirlendikten sonra parçalar üzerinde parametre çalışması yapılır. Kaynağı tamamlanan numuneler tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere birtakım testlere tabi tutulduktan sonra en ideal değerleri veren parametreler bu malzeme kaynağı için nihailendirilir.

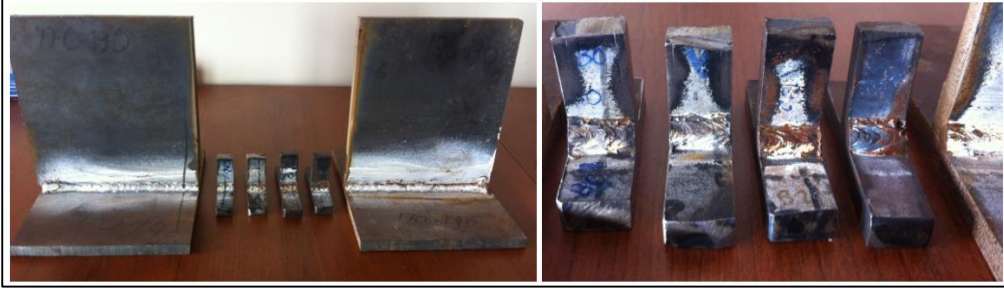
Bu çalışmada kaynak parametrelerinin sertlik değerlerine olan etkilerini görebilmek için 2 farklı parametre seçimi yapılmıştır. Seçilen parametre değerleri alttaki tabloda verilmiştir;

Tablo 22. Kaynaklı numune parametre değerleri

Numune	Paso	Kaynak Prosesi	Akım (A)	Voltaj (V)	Akım türü ve kutuplama	Tel sürme hızı (m/dk)	İlerleme hızı (mm/sn)	Isı girdisi (kjmm/sn)	Kaynak öncesi tavlama
Numune A	1	135	170–190	22-24	DC (+)	12	4.48	0.83–1.01	X
Numune B	1	135	190–210	24-26	DC (+)	13,5	5.8	0.78–0.94	X

3.4. Deney Malzemelerinin Kaynak Sonrası Isıl İşlemleri

Kaynaklanmış parçalardan sertlik testi yapabilmek için 4 adet numune önce su jeti ile kesilerek daha sonra freze ile yüzeyleri işlenerek test için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 40. Isıl işlem ve sertlik testi numuneleri

Numunelerin çıkartılması sırasında numuneler herhangi bir ısı etkiye maruz kalmamaları için önce su jetinde kesilmiş daha sonra yüzeylerinin paralel hale getirilmesi için freze tezgâhında yüzeyleri işlenmiştir. Kesim işlemleri biten numuneler ısı işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem sıcaklık ve süreleri alttaki tabloda verilmiştir;

Tablo 23. Numunelere uygulanan ısı işlem değerleri

Numune	Isıl İşlem Numuneleri	Kaynak Sonrası Isıl İşlem Parametreleri	
		Sıcaklık (°C)	Süre (saat)
Numune A	Numune A0	Isıl İşlem Yok	
	Numune A1	150	2
	Numune A2	300	
	Numune A3	450	
Numune B	Numune B0	Isıl İşlem Yok	
	Numune B1	150	2
	Numune B2	300	
	Numune B3	450	

A ve B numunesi üstteki tabloda verilen farklı kaynak parametreleri ile kaynakları yapılmış olan numunelerdir. A ve B numunesinden alınan numuneler ayrı ayrı 150°C, 300°C ve 450°C sıcaklıkta 2 saat boyunca ısı işleme tabi tutulmuştur.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Deney Numunelerinden Elde Edilen Sonuçlar

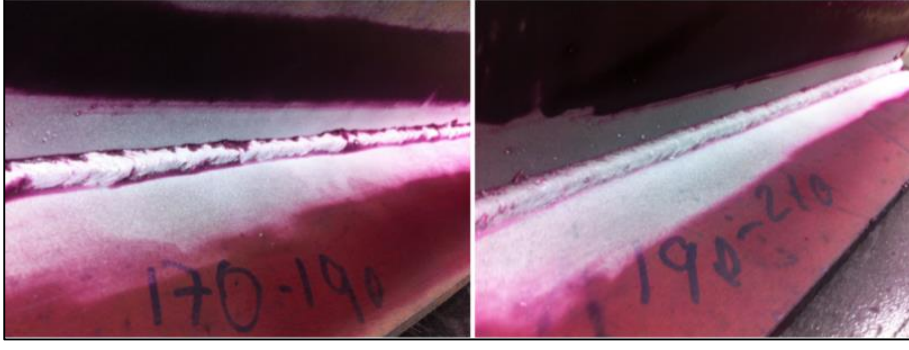
Kaynak işlemi tamamlanmış kaynaklı parçalar öncelikle tahribatsız muayene yöntemlerine tabi tutulmuştur. Görsel muayene, manyetik muayene ve penetrant muayene numunelere ilgili standartlar dâhilinde uygulanmıştır. EN15614–1 standardını referans aldığımız vakit köşe kaynaklarının tahribatsız muayeneleri için manyetik ya da penetrant muayeneyi önerdiğini görmekteyiz. Bu 3 yöntem de yüzeye açık herhangi bir kaynak kusurunun tespiti için parçalara ayrı ayrı uygulanmıştır. Tahribatsız muayene testleri sonuçları alttaki tabloda ve resimlerde verilmiştir;

Tablo 24. Numunelerin tahribatsız muayene sonuçları

Numune	Tahribatsız Muayene Test Sonuçları		
	Görsel Muayene	Penetrant Muayene	Manyetik Muayene
Numune A	Ok	Ok	Ok
Numune B	Ok	Ok	Ok



Şekil 41. Numunelerin görsel muayene sonuçları



Şekil 42. Numunelerin penetrant muayene sonuçları



Şekil 43. Numunelerin manyetik muayene sonuçları

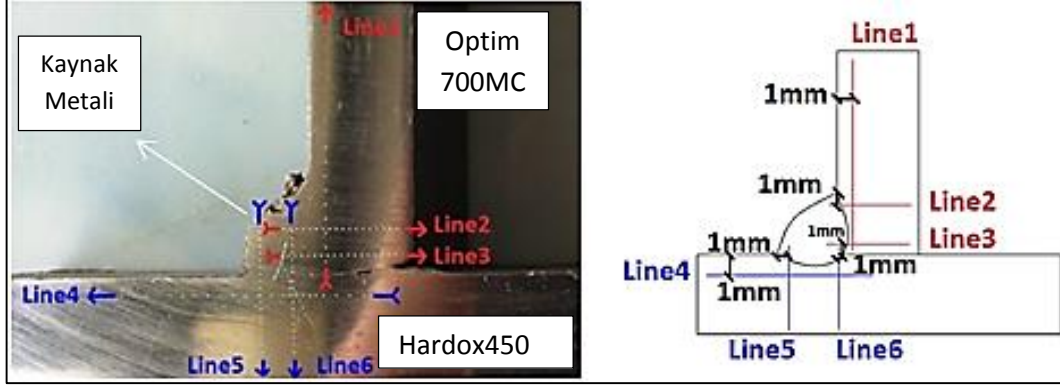
Görsel muayene, penetrant muayene ve manyetik muayene sırasıyla ilgili standartlar olan EN ISO 17637, EN ISO 3452 ve EN ISO 17638'e göre parçalara uygulanmış olup, parçalar daha sonra EN 5817 kaynak hataları değerlendirme standardına göre değerlendirilmiştir.

Kaynak işleminde kullanılan koruyucu gaz ve kaynak teli bileşenlerinin kaynak prosesi için doğruluğunun onaylanması bakımından kaynak işlemi tamamlanan parçalar öncelikle tahribatsız muayene testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan tahribatsız muayene testleri sonrası malzeme, koruyucu gaz ve kaynak teli uyumsuzluğu problemi olmadığı tespit edilmiştir.

Numunelerden alınan 8 adet enine kesit parça sertlik testi için uygun hale getirilmiştir. Yüzeylerin paralelliğinin sağlanabilmesi için numunelerin her iki yüzeyleri de paralellik sağlanıncaya dek freze tezgâhında işlenmiştir. Daha sonra yapılacak olan mikro sertlik testi için numunelerin yüzeyi 1200 zımparaya kadar otomatik zımparalama tezgâhında zımparalanmıştır.

Sertlik testi, EN1043–1 standardına uygun olarak sertlik taraması şeklinde yapılmıştır. EN1043–1 sertlik testi için ya bölgelerden alınan üçer adet sertlik değeri ya da bölgelere denk gelen sertlik tarama hatları şeklindeki sertlik almalara müsaade etmektedir.

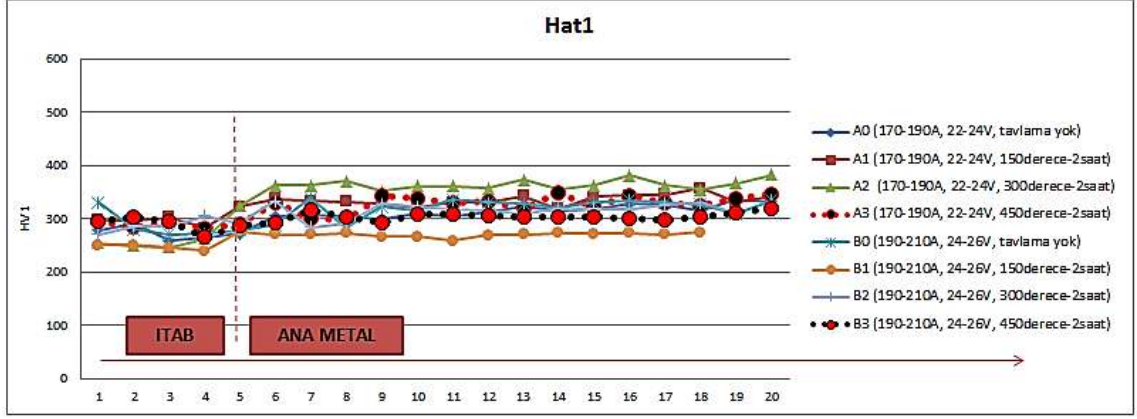
Kaynak sonrası uygulanan ısıtıl işlem etkilerinin çok daha net görülebilmesi için 8 adet numune altta örnek kesit resmi verilen şekilde sertlik taramasına tabi tutulmuştur. Her bir numuneden yaklaşık 120 adet sertlik değeri alınmıştır.



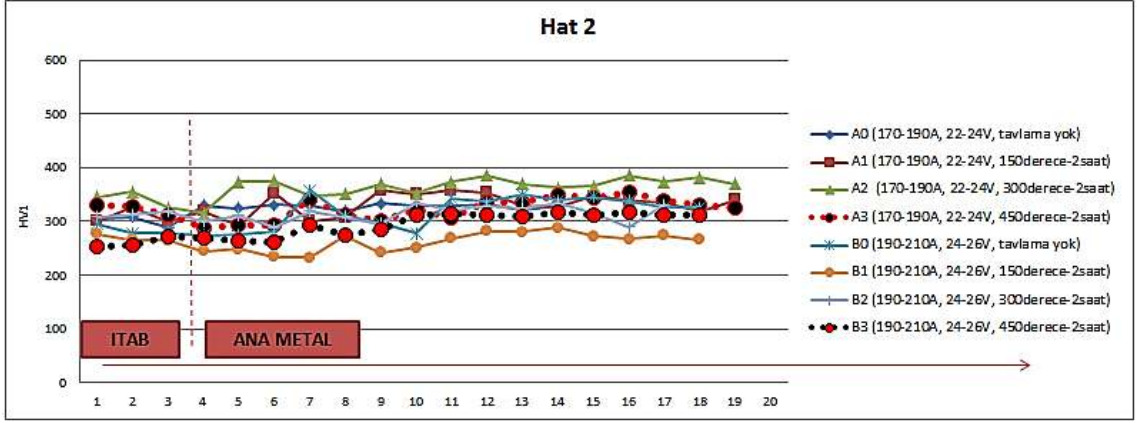
Şekil 44. Numunelerden alınan sertliklerin numune üzerindeki konumları

Şekilde görüleceği üzere hat1 ve hat4 ana metal ITAB'ından ana metale doğru, hat2, hat3, hat5 ve hat6 ise kaynak metalinden ana metale doğru alınan sertlik hatlarıdır. Sertlik hatlarının parça üzerindeki konumları üstte verilen şekilde resmedilmiştir. Hat1 ve hat4 üst yüzeyin hemen 1 mm altından, hat2 ve hat5 kaynak kepinin hemen 1mm altından, hat3 ve hat6 ise kaynak kökünün hemen 1 mm üzerinden alınmıştır.

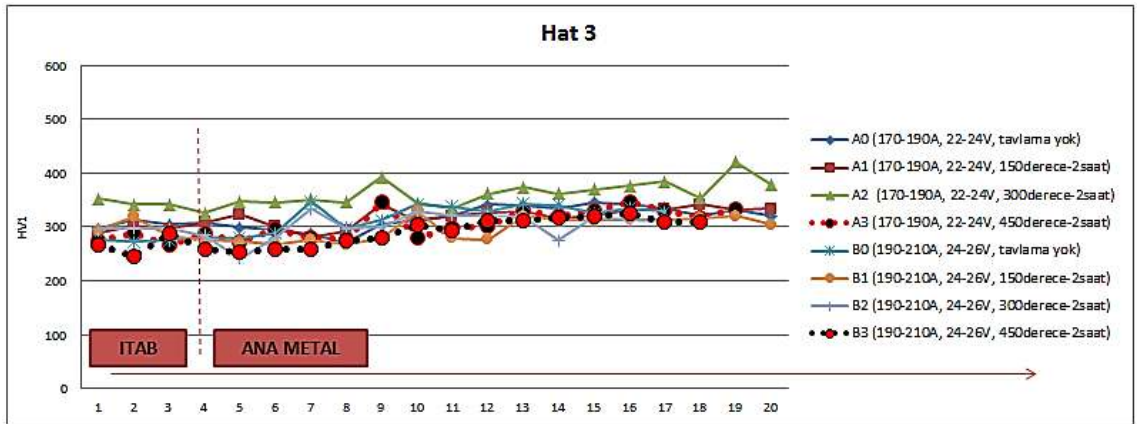
Sertlik değerleri tablolarda her bir numuneye göre olmayıp daha kolay mukayese edilebilmesi için sertlik hatlarına göre verilmiştir. Sertlik değerleri alttaki grafiklerde verilmiştir;



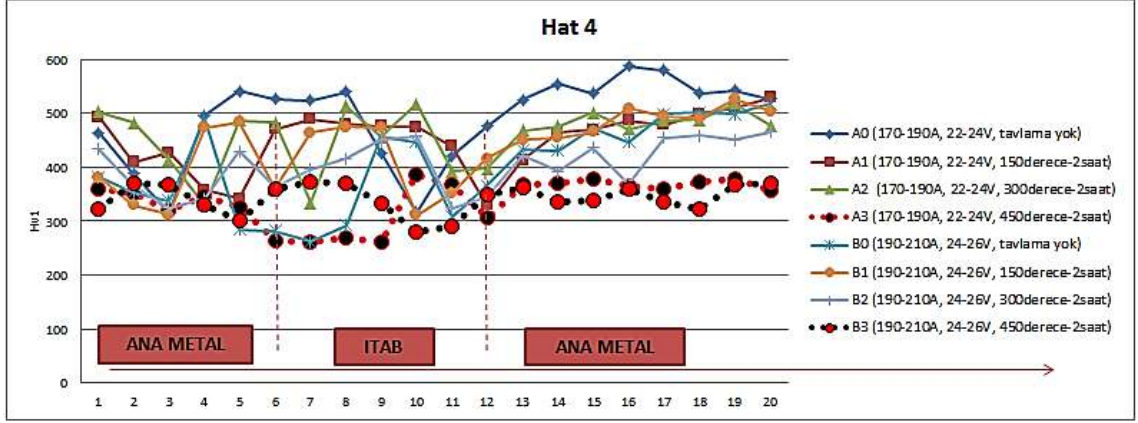
Şekil 45. Tüm numunelerin Hat1'e göre sertlik sonuçları



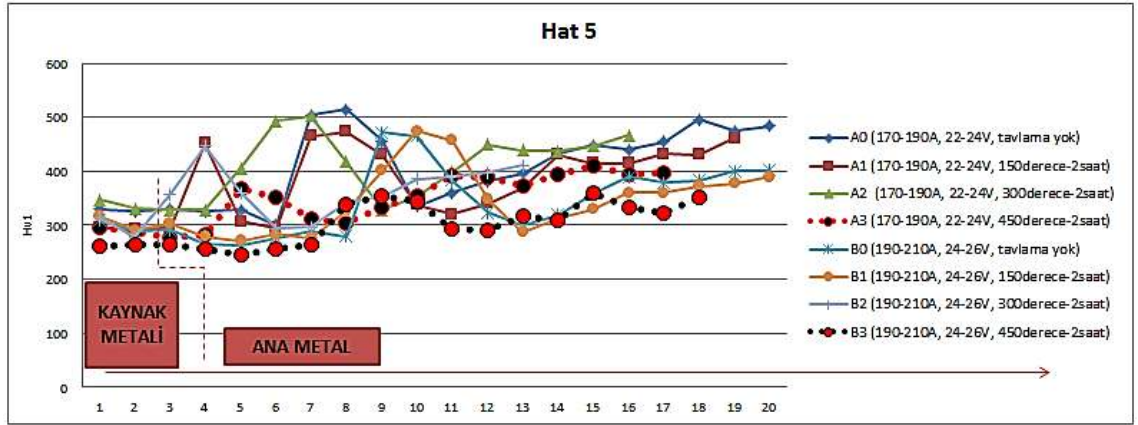
Şekil 46. Tüm numunelerin Hat2'ye göre sertlik sonuçları



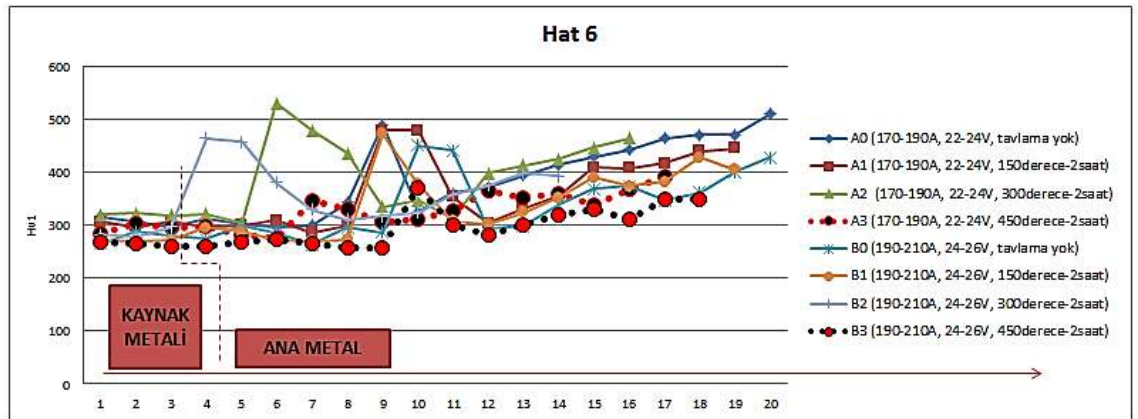
Şekil 47. Tüm numunelerin Hat3'e göre sertlik sonuçları



Şekil 48. Tüm numunelerin Hat4'e göre sertlik sonuçları



Şekil 49. Tüm numunelerin Hat5'e göre sertlik sonuçları

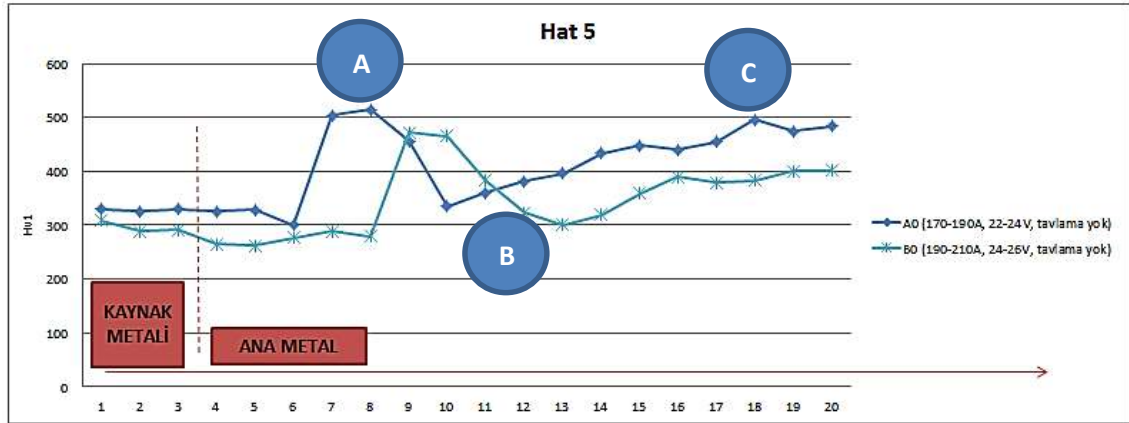


Şekil 50. Tüm numunelerin Hat6'ya göre sertlik sonuçları

Sertlik sonuçları hatlara göre değerlendirildiğinde bazı sonuçlar çok daha net ortaya çıkmaktadır.

Sertlik sonuçlarını değerlendirdiğimizde;

- Optim 700 MC malzeme tarafında; kaynak sonrası ısı tesiri altındaki bölgede sertleşen bir bölge olmadığı tespit edilmiştir.
- Optim 700 MC malzeme tarafında; kaynak sonrası uygulanan ısı işlemlerin (150°C , 300°C ve 450°C) sertlik değerlerinde aşırı düşüşe ya da farklı bir dalgalanmaya sebebiyet vermediği tespit edilmiştir.
- Optim 700 MC malzeme tarafında; kaynak parametreleri değişiminin sertlik değerleri üzerinde aşırı bir fark yaramadığı tespit edilmiştir.
- Kaynak metalinde; kaynak parametrelerinin ve farklı değerlerdeki ısı işlem değerlerinin kaynak metalinde aşırı sertlik değişimine yol açmadığı tespit edilmiştir.
- Hardox450 malzeme tarafında; kaynak sonrası ısı tesiri altındaki bölgede sertleşen bölge olduğu tespit edilmiştir;

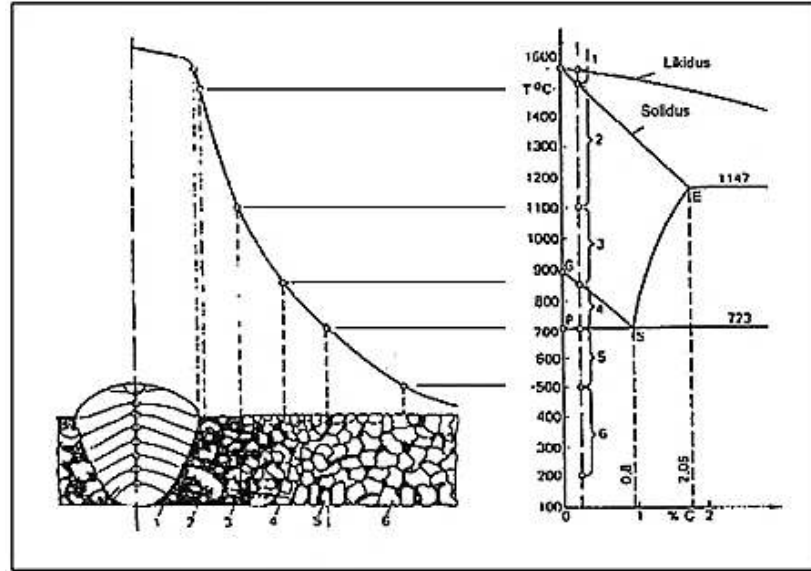


Şekil 51. A0 ve B0 numunelerinin sertlik sonuçları

Hardox450 malzeme ITAB bölgesindeki sertleşmenin daha iyi görülebilmesi için hat5-hat6 sertlik hatlarından hat5 yukarıdaki şekilde detaylı olarak incelenmiştir. A0 ve B0 numunesi ısı işleme tabi tutulmamış numunelerdir. Bu numunelerin sertlik değerlerine baktığımızda;

Kaynak metalindeki sertlik değerlerinin normal aralık değerlerinde olduğu, kaynak erime çizginin geçilmesiyle sertlik değerleri önce pik değerlere ulaşmakta (A) sonra ana malzeme sertlik değerleri altındaki değerlere yumuşama (B) ve son olarak kaynak bölgesinden yani ısı bölgesinden uzaklaştıkça sertlik değerlerinin ana metal değerlerine doğru yükselmeye (C) başladığı tespit edilmiştir.

Karbon elementi ve karbon eşdeğeri kaynaklanabilirlikte önem teşkil etmektedir. Artan karbon eşdeğeri ile birlikte malzemelerin kaynaklanabilirlikleri önemli ölçüde azalma göstermektedir. Kaynak sırasında kaynak metali ve ITAB bölgesinde sıcaklık dağılımını temsil eden grafik altta verilmiştir;

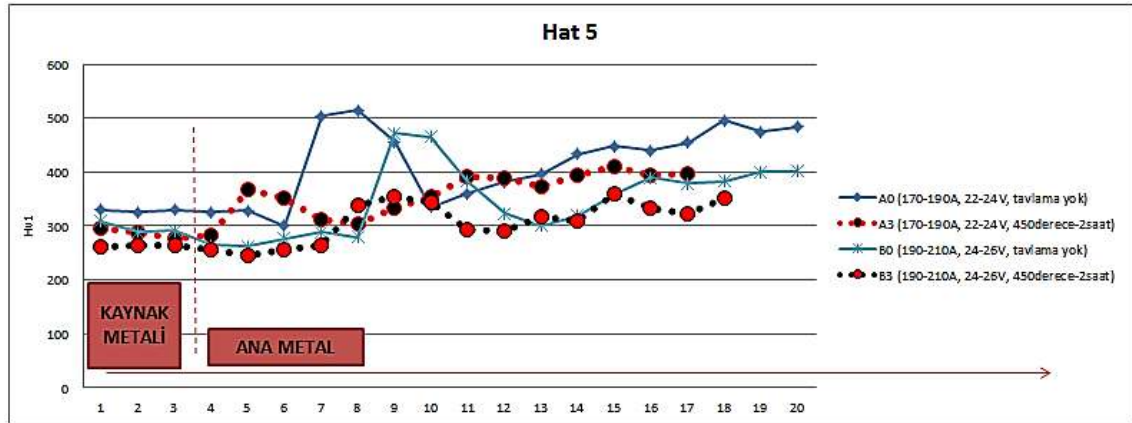


Şekil 52. Kaynak sırasında kaynak metali ve ITAB'daki sıcaklık dağılımı [16]

Görüleceği üzere kaynak sırasında ITAB bölgesi çok farklı sıcaklık değerlerine maruz kalmakta ve bu sıcaklık değerlerinin kaynaklı parçanın her bir bölgede farklı ısı işlem etkileri yarattığı görülmektedir. A0 ve B0 numunesinin B harfi ile gösterilen bölgelerindeki sertlik düşüşü yukarıdaki şekilde gösterilen 2 numaralı bölgeye tekabül etmektedir. Bölgedeki ısı değeri tane irileştirme tavı sıcaklığına denk geldiğinden bu bölgelerin sertlik değerlerinde yumuşama görülmektedir. A harfi ile gösterilen bölgedeki sertlik artışının sebebi ise 1 numaralı bölgenin kaynak metaline en yakın bölge olması ve bu bölgeye tekabül eden sıcaklık değerlerinin östenit dönüşüm sıcaklıklarının üzerinde olması sebebiyle yapının önce östenite dönüşmesi ardından soğuma hızının yeterli

olmayışı sebebiyle yapının ya martenzite ya da beynite dönüşmesidir. Soğuma hızının yeterli olamaması bu bölgedeki karbon atomlarının yeterli derecede difuze olabilmesine imkân sağlayamamaktadır. Bu sebepten ötürü bölgedeki karbon atomları kafes yapılarını bozarak yapının östenitten martenzite ya da beynite dönüşmesini sağlar. Bu sebepten ötürü yüksek karbon eşdeğerine sahip malzemelerin kaynak operasyonunda ön ısıtma ve/veya kaynak sonrası ısıtma işlemi hayati derecede önem teşkil etmektedir.

- Hardox 450 malzeme tarafında; kaynak sonrası uygulanan ısıtma işlemlerin (150°C - 300°C , 2 saat) ITAB bölgesinde tespit edilen sertlik artış değerlerini yumuşatmadığı tespit edilmiştir.
- Hardox 450 malzeme tarafında; kaynak sonrası uygulanan ısıtma işlemin (450°C , 2 saat) ITAB bölgesinde tespit edilen sertlik artış değerlerini yumuşattığı tespit edilmiştir.



Şekil 53. A0, B0, A3 ve B3 numunelerinin sertlik sonuçları

Isıl işlem görmemiş numunelerle 450°C – 2 saat ısıtma işlemi görmüş numunelerin sertlik değerleri mukayese edildiğinde ITAB bölgesinde kaynak sonrası oluşan yüksek sertlik değerlerinin yumuşadığı tespit edilmiştir.

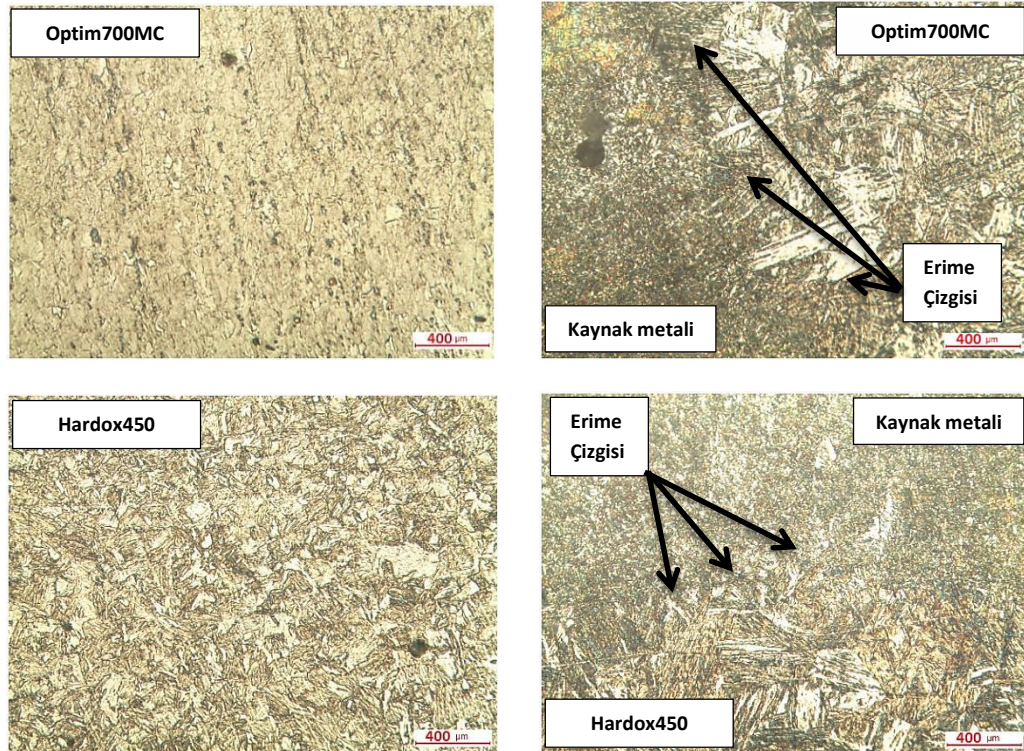
Sertlik testi sonrası A0, A1, A2 ve A3 numuneleri optik mikroskopta incelenmek üzere hazırlık işlemlerine tabi tutulmuştur. Parçalar önce kalıba alınmıştır. Daha sonra sıra ile zımpara işlemlerine tabi tutulmuştur. Zımpara işlemleri ardından parlatma işlemi ve son olarak %3 nital çözelti ile kaynak metali, ITAB bölgesi ve ana metal bölgeleri

dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Optik mikroskop altında inceleme 400 büyütme ile yapılmıştır.

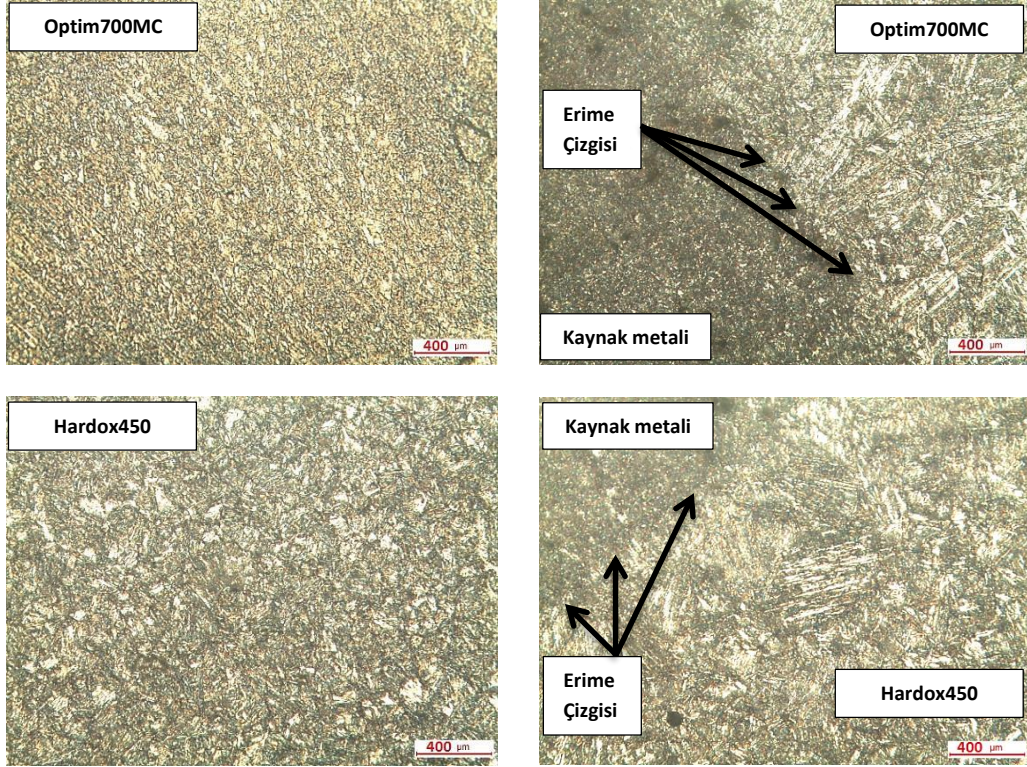
Mikro inceleme ile ilgili;

- Mikro incelemede öncelikli olarak kaynak sonrası oluşan aşırı sertlik bölgelerinin mikroskopta da tespit edilmesi amaçlanmıştır fakat bu sertlik artışı olan bölgeler mikroskopta tespit edilememiştir.
- Tane irileşmesi olan bölgeler her bir numunede tespit edilmiştir.
- Isıl işlem parametrelerinin ITAB, kaynak metal ve ana metale varsa etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Fakat ısıtım işlemsiz ve ısıtım işlemlili numuneler incelendiğinde ne kaynak metalinde ne ITAB’da ne de ana metalde farklılık yarattığı tespit edilmemiştir.

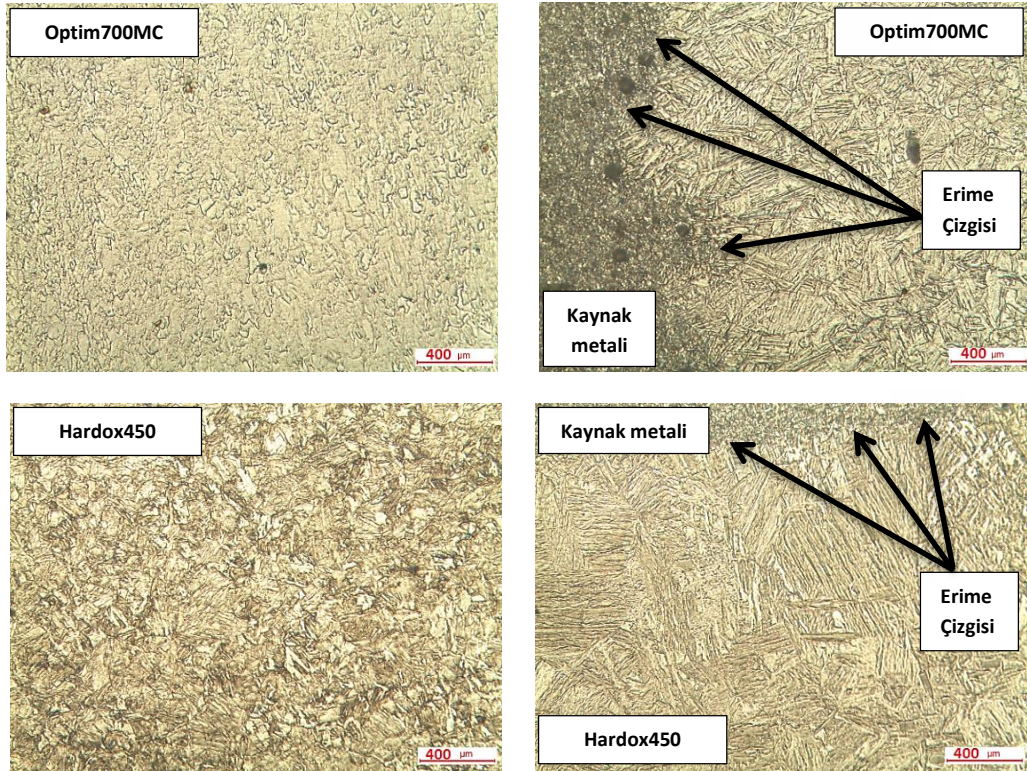
Numunelerin optik mikroskop görüntüleri altta verilmiştir;



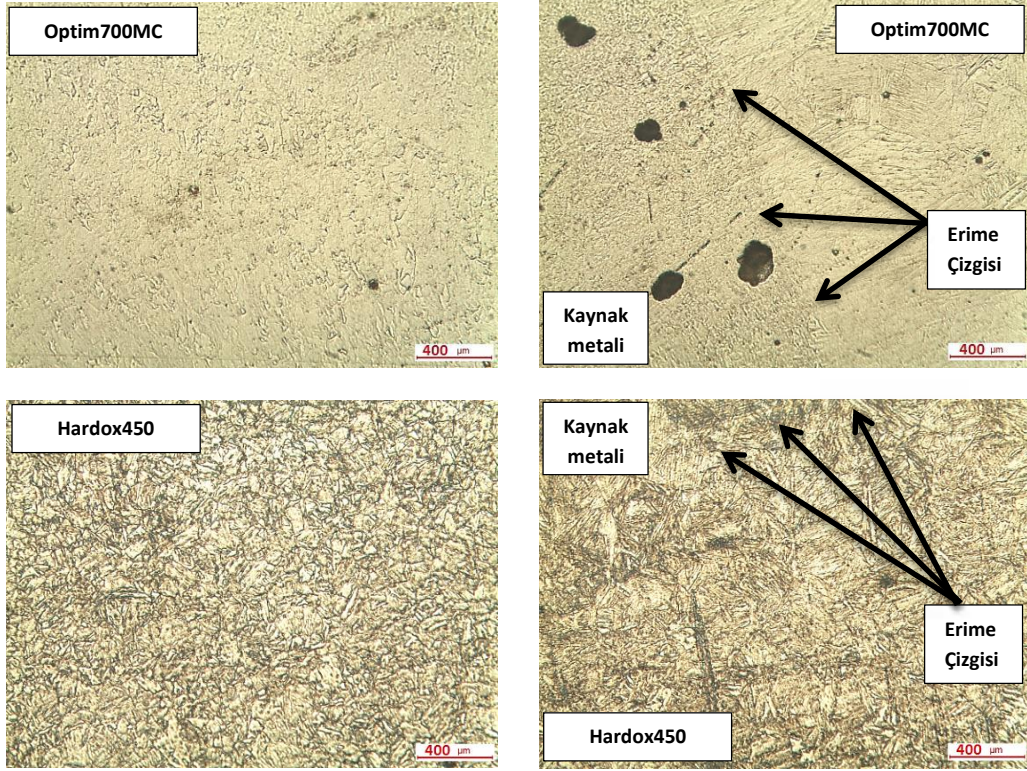
Şekil 54. A0 kaynaklı numune mikro yapı görüntüleri



Şekil 55. A1 kaynaklı numune mikro yapı görüntüleri



Şekil 56. A2 kaynaklı numune mikro yapı görüntüleri



Şekil 57. A3 kaynaklı numune mikro yapı görüntüleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çalışmada kaynak sonrası uygulanan ısıl işlemlerin kaynaklı parçaların ITAB bölgelerine olan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Treyler, semi-treyler, damper türü araçların şasi, alt taşıyıcı, üst taşıyıcı, gövde komple, vb. bölgelerinde sıklıkla kullanılmakta olan Hardox450 ve Optim700MC malzeme çifti bu çalışma için seçilmiştir. Kaynak sonrası numuneler ayrı ayrı ısıl işleme tabi tutulmuştur. Yapılan tahribatlı testler sonucu bazı bulgular elde edilmiştir;

1. Kaynak sonrası Optim700MC malzeme ITAB'ında sertlik artışı tespit edilmemiş olup Hardox450 malzeme ITAB'ında sertlik artışı tespit edilmiştir.
2. Farklı sıcaklıklarda uygulanan kaynak sonrası ısıl işlemlerin Optim700MC malzeme ITAB'ında (sertlik değerleri olarak) farklılık yaratmadığı tespit edilmiştir.
3. Kaynak sonrası uygulanan ısıl işlemlerden 150⁰C ve 300⁰C'de yapılan ısıl işlemlerin Hardox450 malzeme ısı tesiri altındaki bölgesinde yumuşatma yapmadığı, sadece 450⁰C'de uygulanan ısıl işlemin Hardox450 malzeme ısı tesiri altındaki bölgede oluşan yüksek sertlik değerlerini yumuşattığı tespit edilmiştir.
4. Kaynak metali sertlik değerlerinin ısıl işlemlerle değişim göstermediği tespit edilmiştir.
5. Kaynak sonrası ITAB'da oluşan tane irileşmesi mikro muayenede her bir numune için tespit edilmiştir.
6. Hardox450 malzeme ITAB'ında tespit edilen yüksek sertlik bölgeleri mikro muayenede tespit edilememiştir.

5.2. Öneriler

Temperlenmiş martenzit olan Hardox450 çeliğin kaynaklı konstrüksiyonlarda kullanımı söz konusu olduğunda tasarımın maruz kaldığı dinamik yüklere göre kaynaklı bölgelerinin kaynak sonrası ısıtılma işlemine tabi tutulması gerekebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Chatti, S., Production of profiles for lightweight structures, Institute of Forming Technology and Lightweight Construction University of Dortmund, 2004.
2. <http://www.baftrailer.com/tipper-trailer>. 5 Mart 2015.
3. <http://www.martinsa.co.za/lowbed-trailers/martin-sa-lowbed-trailers.asp>. 5 Mart 2015.
4. Degarmo E. Paul, J Black, T.Kohser, Ronald A., Materials and Processes in Manufacturing (9th ed.), Dokuzuncu baskı, 388, 2003.
5. Martinez A., Miguel V., Coello J., Navarro A., Calatayud A. ve Manjabacas M. C., Analysis of the influence of the multipass welding, welding preheat and welding post heat treatments on the behaviour of GMAW joints of HARDOX400 microalloyed steel, Revista de Metalurgia, 47,1 (2011) 61-75.
6. Ulewicz R., Szataniak P. ve Novy F., Fatigue properties of wear resistant martensitic steel, 23rd International Conference on Metallurgy and Materials, May 2014, 784-789.
7. Smith D.J. ve Garwood S.J., Influence of postweld heat treatment on the variation of residual stresses in 50 mm thick welded ferritic steel plates, Internal Journal of Pressure Vessels and Piping, 51,2 (1992) 241-256.
8. Olabi A.G., Hashmi M.S.J., The effect of post weld heat treatment on mechanical properties and residual stresses mapping in welded structural steel, Journal of Materials Processing Technology, 55,2 (1995) 117-122.
9. Olabi A.G., Hashmi M.S.J., The microstructure and mechanical properties of low carbon steel welded components after the application of PWHTs, Journal of Materials Processing Technology, 56,1 (1996) 88-97.
10. Dahil L., Dahil I., Karabulut A., Comparison of advanced cutting techniques on Hardox 500 steel material and the effect of structural properties of the material, Metalurgija, 53,3 (2014) 291-294.
11. 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, 2010.
12. Uluocak M.E., Hardox 450 çeliklerinin MAG kaynak bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.

13. http://www.linde-gas.com/en/processes/cutting_joining_and_heating/welding/index.html. 12 Mart 2015.
14. http://www.lindegas.com/en/processes/cutting_joining_and_heating/welding/metal_inert_gas_and_metal_active_gas_welding/index.html. 12 Mart 2015.
15. Prof.Dr.İ.Barlas Eryürek, Gazaltı Ark Kaynağı, Askaynak, 2007.
16. GSI SLV München, Kaynak Mühendisliği Ders Notları, 2003.
17. Prof.Dr.Kutsal Tülbentçi, Gazaltı MIG-MAG Kaynağı, Askaynak, 1993.
18. http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-16CC07BD-0CD1A18A/fronius_istanbul/6449_0102_al2300_3000_4000_aw2500_4000_5000_7000_gb.pdf. 12 Mart 2015.
19. http://binzel-abicor.com/uploads/Content/Germany/PDF-Files/PDF_Files_MIGMAG/English/migmag-katalog_pro_m277gb_2_0-v1_web.pdf. 19 Mart 2015.
20. http://binzel-abicor.com/uploads/Content/Germany/PDF-Files/PDF_Files_MIGMAG/English/migmag-katalog_pro_m277gb_2_0-v1_web.pdf. 19 Mart 2015.
21. [http://www09.abb.com/global/scot/scot352.nsf/veritydisplay/4d239e695ddff3c7c125766d003a2718/\\$file/505937-102.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot352.nsf/veritydisplay/4d239e695ddff3c7c125766d003a2718/$file/505937-102.pdf). 19 Mart 2015.
22. http://www.vegamak.com/torclar_yard_ekipmanlar/tel_surucu_unite.php. 24 Mart 2015.
23. http://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig3_1.htm. 24 Mart 2015.
24. http://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig3_2.htm. 24 Mart 2015.
25. http://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig3_3.htm. 24 Mart 2015.
26. http://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig3_6.htm. 24 Mart 2015.
27. http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/motorlu_aracilar/moduller/gazalti_kaynagi.pdf. 3 Nisan 2015.
28. http://www.oerlikon.com.tr/alasimsiz_celikler_mig_mag.html. 3 Nisan 2015.

29. http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library_10.pdf.
3 Nisan 2015.
30. http://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig4_1.htm.
9 Nisan 2015.
31. http://www.awssection.org/uploads/longisland/files/Praxair_Shielding_Gas_Manual.pdf 9 Nisan 2015.
32. http://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig1_4.htm.
9 Nisan 2015.
33. http://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig1_4.htm.
9 Nisan 2015.
34. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-58782003000300003&script=sci_arttext. 9 Nisan 2015.
35. http://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig1_7.htm.
9 Nisan 2015.
36. <http://academic.uprm.edu/pcaceres/Courses/MatEng/MSE8-2.pdf>.
15 Nisan 2015.
37. <http://academic.uprm.edu/pcaceres/Courses/MatEng/MSE8-2.pdf>.
15 Nisan 2015.
38. <http://www.winfa.sk/pdf/harpropproc.pdf>. 15 Nisan 2015.
39. <http://www.ajmarshall.com/PDF%20Files/Optim%20700%20MC.pdf>.
15 Nisan 2015.
40. http://www.hardox.com/Global/HARDOX/Datasheets/en/159_HARDOX_600_UK_Data%20Sheet.pdf. 15 Nisan 2015.
41. http://www.ssab.com/Global/HARDOX/Datasheets/en/168_HARDOX_450_UK_Data%20Sheet.pdf. 15 Nisan 2015.
42. <http://www.brunswicksteel.com/pdf/hardox/welding-hardox-and-weldox.pdf>.
15 Nisan 2015.
43. http://www.ssab.com/Global/HARDOX/Datasheets/en/151_HARDOX_400_UK_Data%20Sheet.pdf?epslanguage=en. 15 Nisan 2015.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Trabzon'da doğdu. Lise eğitimini Tefvik Serdar Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği'ni kazandı. 2008 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.

2010 yılında Bursa'da Hitit İnşaat Ltd. Şti. firmasında Kaynak Mühendisi olarak işe başladı. 2011 yılında Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş.'de zırhlı araç kaynak/kaynak kontrol mühendisi olarak görev yaptı. Alanında Uluslararası Kaynak Mühendisliği Diploması'na, radyografik muayene sertifikasına (seviye2), ultrasonik muayene sertifikasına (seviye1), manyetik muayene sertifikasına (seviye2) ve penetrant muayene sertifikasına (seviye2) sahip olan UZUNALİ 2014 yılında Abdullah Kanca Meslek Yüksekokuluna Öğretim Görevlisi olarak atandı. İyi derecede İngilizce bilen UZUNALİ halen Sürmene Abdullah Kanca Meslek Yüksekokulundaki görevine devam etmektedir.