T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARDOX 450 ÇELİKLERİNİN ÖZLÜ TEL İLE ROBOTİK MAG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rafet KAYBOLMA

Enstitü Anabilim Dalı	**:**	**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı	**:**	**Prof. Dr. Uğur ÖZSARAÇ**

Temmuz 2020

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARDOX 450 ÇELİKLERİNİN ÖZLÜ TEL İLE ROBOTİK MAG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rafet KAYBOLMA

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 21.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Uğur ÖZSARAÇ	Başarılı
Üye: Prof. Dr. Salim ASLANLAR	Başarılı
Üye: Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK	Başarılı

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Rafet Kaybolma
09/07/2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Uğur ÖZSARAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklı imalat işlemlerinin yapılmasında, Turgan Makina İnş. San. Ve Tic. Ltd. Şti. firmasının, değerli Mühendisleri Muhammed TURGAN ve Kemal DEMİRCİOĞLU Bey'lere desteklerinden dolayı ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Gedik Test Merkezi Bölüm Müdürü Yük. Müh. Uğur GÜROL'a ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Müh. Mustafa TOSUN 'a teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, yanımda olan, hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan değerli aileme ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen eşime en içten sevgilerimi sunar, teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN ..... **i**
TEŞEKKÜR ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
KISALTMALAR ..... **vi**
SİMGELER ..... **vii**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **viii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **ix**
ÖZET ..... **xi**
SUMMARY ..... **xiii**

BÖLÜM 1.
KAYNAKLI BİRLEŞTİRME **1**
1.1. Kaynaklı İmalat 1
1.2. Kaynaklı İmalat Yöntemleri 2
1.2.1. Elektrik ark kaynağı yöntemi 2
1.2.2. Gaz altı kaynağı yöntemi 8
1.2.3. TİG (Tungsten İndirgeyici Gaz) kaynak yöntemi 33
1.2.4. Oksi – asetilen kullanılarak kaynak yöntemi 36
1.2.5. Elektrik direnç kaynağı yöntemi 38
1.2.6. Elektron (enerji işın) kaynağı yöntemi 42
1.2.7. Katı hal kaynağı yöntemi 44
1.3. Kaynak Uygulamalarında Karşılaşılan Problem ve Hatalar 44
1.3.1. Kaynak uygulamalarında karşılaşılan problemler 45
1.3.2. Kaynak uygulaması sonrası karşılaşılan hatalar 47
1.4. Sistemsel Sorunların Giderilmesi 51

BÖLÜM 2.
ÖZLÜ KAYNAK TELLERİ **56**
2.1. Özlü Kaynak Telleri Hakkında 56
2.2. Özlü Kaynak Telleri Özellikleri 57
2.3. Özlü Kaynak Telleri İle Kaynak 57
2.4. Özlü Kaynak Telleri Çeşitleri 60

2.5. Özlü Kaynak Tellerinin Yöntem Değişkenleri 62

BÖLÜM 3.
HARDOX ÇELİKLERİ 65
3.1. Hardox Çelikleri Hakkında 65
3.2. Hardox Çelikleri Kullanım Alanları 66
3.3. Hardox Çelik Türleri 66
3.3.1. Hardox400 çeliği 68
3.3.2. Hardox450 çeliği 69
3.3.3. Hardox500 çeliği 70
3.3.4. Hardox550 çeliği 70
3.3.5. Hardox600 çeliği 71
3.3.6. Hardox HiTuf 71
3.3.7. Hardox Extreme 71
3.4. Hardox Malzemelerin Kaynağı 72
3.4.1. Koruyucu gaz 73
3.4.2. Ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklık 73
3.4.3. Isı girdisi 75
3.4.4. Kaynak ilave metalleri 76
3.4.5. Kaynak sırası ve aralık miktarı 79

BÖLÜM 4.
ROBOT SİSTEMLERİ 80
4.1. Robot Sistemleri Tarihçesi 80
4.2. Robotik Sistemlerin Kullanım Alanları 81
4.3. Dünya Çapında Robotların Kullanımı 82
4.4. Kaynak Sektöründe Robot Teknolojisi 86
4.4.1. Robot ile ark kaynağı uygulamaları 88
4.4.2. Robot sisteminin belirlenmesi 91
4.4.3. Robot kaynağı ile manuel tip kaynağın kıyaslanması 93

BÖLÜM 5.
DENEYSEL ÇALIŞMALAR 94
5.1. Deneyin Amacı 94
5.2. Numune Seçimi 94
5.3. Numunelerin Gruplandırılması 96
5.4. Talaşlı İşlem 96
5.5. Kaynaklı İşlem 97
5.6. Mekanik Testler 102
5.7. Makro ve Mikro Yapı Görüntüleri 104

BÖLÜM 6.
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA 107
6.1. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma 107
BÖLÜM 7.
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER 110
7.1. Genel Sonuçlar ve Öneriler 110

KAYNAKLAR 112

ÖZGEÇMİŞ 115

KISALTMALAR

AWS : American Welding Society
AC : Alternatif Akım
Ar-Ge : Araştırma Geliştirme
CEV, CET : Karbon Eşdeğerleri
DC : Doğru Akım
EIK, EBW : Elektron Işın Kaynağı
FCAW : Flux-Cored Arc Welding, Özlü Ark Kaynağı
GMAW : Gas Metal Active Welding
HAZ : Heat Affected Zone
IFR : Uluslararası Robot Federasyonu
ITAB : Isı Tesiri Altındaki Bölge
MAG : Metal Aktif Gaz
MİG : Metal İnert Gaz
MMA : Örtülü Elektrot Kaynağı
TİG : Tungsten İnert Gaz

SİMGELER

A : Akım
Ar : Argon
B : Bor
C : Karbon
Cm : Santimetre
CO_2 : Karbondioksit
Cr : Krom
H : Hidrojen
HBW : Brinell Cinsinden Sertlik Değeri
He : Helyum
HRC : Rockwell Cinsinden Sertlik Değeri
Hz : Hertz (Frekans)
J : Joule
k : Termal verimlilik
Km/s : Kilometre/Saat
Ml : Mililitre
Mm : Milimetre
Mn : Mangan
Mo : Molibden
MPa : Megapaskal
Ni : Nikel
O_2 : Oksijen
Q : Isı Girdisi
P : Fosfor
Si : Silisyum
V : Voltaj

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 : Farklı alaşımların kaynağında önerilen ilave metaller.....24
Tablo 1.2 : Sprey ark sağlanmasında kullanılan koruyucu gaz tipleri.....29
Tablo 1.3 : Kısa devre arkın sağlanmasında kullanılan koruyucu gaz tipleri.....30
Tablo 1.4 : Çelik malzemelerde gaz korumalı nokta kaynağı verileri.....31
Tablo 1.5 : Dar aralıklı kaynak yönteminde değişkenler.....33
Tablo 1.6 : Yapıda gözenek varlığı.....47
Tablo 1.7 : Kaynak metalinde oluşan çatlaklar.....48
Tablo 1.8 : ITAB da çatlak oluşumu.....48
Tablo 1.9 : Erime yetersizliği hatası.....49
Tablo 1.10 : Yanma olukları oluşumları.....49
Tablo 1.11 : Nüfuziyet azlığı sebebiyle meydana gelen hatalar.....50
Tablo 1.12 : Derin nüfuziyet sebebiyle meydana gelen hatalar.....50
Tablo 1.13 : Mekanik sistem ile alakalı sorunlar.....52
Tablo 1.13 (devam) : Mekanik sistem ile alakalı sorunlar.....53
Tablo 1.14 : Elektrik sistemi ile alakalı sorunlar.....54
Tablo 1.15 : İşletmenin oluşturduğu sorunlar.....55
Tablo 2.1 : Özlü kaynak tellerine ait kimyasal içerikler.....60
Tablo 2.2 : Özlü kaynak tellerine ait mekanik özellikler.....60
Tablo 2.3 : Kendiliğinden gaz korumalı özlü kaynak telleri değişkenleri (1).....63
Tablo 2.4 : Kendiliğinden gaz korumalı özlü kaynak telleri değişkenleri (2).....63
Tablo 2.5 : Kendiliğinden gaz korumalı özlü kaynak telleri değişkenleri (3).....64
Tablo 3.1 : Hardox çeliklerine ait mekanik dayanımlar.....67
Tablo 3.2 : Hardox çeliklerine ait darbe dayanım özellikleri.....67
Tablo 3.3 : Hardox çelikleri max % olarak kimyasal kompozisyonu.....67
Tablo 3.4 : Hardox çelikleri, önerilen ön ısıtma sıcaklıkları.....74
Tablo 3.5 : Hardox çeliklerinin pasolar arası tavsiye edilen geçiş sıcaklıkları.....75
Tablo 3.6 : Hardox çelikleri için tavsiye edilen maksimum ısı girdisi.....76
Tablo 3.7 : Kaynak dolgu malzemelerinin akma dayanımı (EN).....77
Tablo 3.8 : Kaynak dolgu malzemelerinin akma dayanımı (AWS).....77
Tablo 3.9 : Paslanmaz çelik kaynak dolgu malzemeleri (EN ve AWS).....78
Tablo 4.1 : Ülkeler arası her 10.000 kişi başına düşen robot sayıları (IFR).....83
Tablo 4.2 : Küresel robot piyasası.....85
Tablo 4.3 : Küresel çapta bazı robot üreticilerine ait Ar-Ge harcamaları (IFR).....85
Tablo 5.1 : Özlü kaynak telleri normları.....95
Tablo 5.2 : Özlü kaynak tellerine ait kimyasal veriler.....95
Tablo 5.3 : Özlü kaynak tellerine ait mekanik değerler.....95
Tablo 5.4 : Numunelere ait kaynak parametreleri.....99
Tablo 5.5 : Charpy darbe çentik testleri.....102
Tablo 5.6 : Sertlik (Vickers) testleri.....102
Tablo 5.7 : Çekme testleri.....103

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : C, Mn ve S, miktarlarının kaynak dikişinde çatlamaya tesiri….....5
Şekil 1.2 : Gaz altı ark kaynağı, genel uygulama prensibi….....10
Şekil 1.3 : Gaz altı ark kaynağı donanımı….....11
Şekil 1.4 : Gaz altı kaynağı ark boyu….....14
Şekil 1.5 : Gaz altı kaynağında kaynak hızının kaynak dikişine etkisi ….....14
Şekil 1.6 : İç köşe kaynakları için çalışma açısı…….....16
Şekil 1.7 : Tam otomatik kaynak makina şeması….....17
Şekil 1.8 : Kaynak torcunun temel elemanları….....18
Şekil 1.9 : Dört makaralı tel elektrot besleme ünitesi….....19
Şekil 1.10 : Ark uzunluğunun otomatik ayarı….....20
Şekil 1.11 : Big pack ve makara sarımlarında gaz altı kaynak telleri.....21
Şekil 1.12 : Koruyucu gaz farklılıkları kaynak dikiş formu ve nüfuziyete etkileri.....26
Şekil 1.13 : Karışım gazlarının, kaynak dikişi formuna ve nüfuziyete etkileri.....28
Şekil 1.14 : Gaz altı nokta kaynak yöntemi ile elektrik direnç nokta kaynak yöntemi arasındaki fark.....30
Şekil 1.15 : Dar aralık kaynağında kullanılan bağlantı şekli.....32
Şekil 1.16 : Dar aralık gaz altı kaynağında değişik elektrot besleme teknikleri.....32
Şekil 1.17 : TİG kaynak yöntemi ekipmanları 34
Şekil 1.18 : Su soğutmalı bir TİG kaynak ekipmanının temel elemanları.....35
Şekil 1.19 : TİG kaynak uygulaması.....35
Şekil 1.20 : Noktasal direnç kaynağı ile gaz altı noktasal kaynak yöntemleri farklılıkları.....39
Şekil 1.21 : Elektron ışın kaynağı, vakum hücresi ve elektron tabanca sistemleri.....43
Şekil 1.22 : Elektron ışın kaynağı tezgahı 44
Şekil 2.1 : Özlü kaynak tellerinin makara şeklinde sarımı.....57
Şekil 2.2 : Özlü tel elektrotların enine kesitleri 58
Şekil 2.3 : Özlü kaynak tellerinde serbest tel uzunluğu; (a) Dışarıdan gaz korumalı (b) Kendinden gaz korumalı.....59
Şekil 3.1 : Bükümlü bir Hardox400 çeliği saç.....68
Şekil 3.2 : Hardox400 çeliği ile üretilmiş bir kepçe kovası 69
Şekil 3.3 : Yüzeyi çinko astar kaplı Hardox çeliği malzeme 72
Şekil 3.4 : Tavsiye edilen kaynak bağlantı aralık mesafeleri(mm) 79
Şekil 4.1 : Çok amaçlı robot örneği..... 81
Şekil 4.2 : Otomotiv sektöründe kullanılan robot sistemleri 84
Şekil 4.3 : Ark kaynak robot sistemi 88
Şekil 5.1 : Hardox450 plakaların plazma kesim tezgahında boyutlandırılması 96
Şekil 5.2 : Hardox450 plakalara torna tezgahında kaynak ağzı açılması 97
Şekil 5.3 : Kaynak ağzı hazırlığı yapılmış Hardox450 plakalar.....97

Şekil 5.4 : Plakaların kaynak tezgahı üzerinde konumlandırılması.....98
Şekil 5.5 : Kaynak parametrelerinin sisteme girilmesi 98
Şekil 5.6 : Hardox450 parçaların robotik kaynağı 100
Şekil 5.7 : Kaynak işlemi sonrası H1 plakası 100
Şekil 5.8 : Kaynak işlemi sonrası H2 plakası 101
Şekil 5.9 : Kaynak işlemi sonrası H3 plakası 101
Şekil 5.10 : Numunelere ait makro yapı görüntüleri……..... 104
Şekil 5.11 : H1 numunesine ait ITAB mikro yapı görüntüleri ……...……105
Şekil 5.12 : H2 numunesine ait ITAB mikro yapı görüntüleri ……...……..105
Şekil 5.13 : H3 numunesine ait ITAB mikro yapı görüntüleri ……...……..105

HARDOX 450 ÇELİKLERİNİN ÖZLÜ TEL İLE ROBOTİK MAG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Hardox450 çeliği yüksek aşınma dayanımlı ve mekanik mukavemetli çelik alaşımlarının en çok kullanılanlarından biridir. Ana kullanım alanları aşınma ve yüksek mukavemet ürünleridir. Maden, çimento, geri dönüşüm, yol yapım sektörleri gibi ağır çalışma şartlarındaki, kepçeler, kepçe kovaları ve tırnakları, kırıcılar, konveyörler, taşıyıcılar, damperli kamyonlar, çöp kamyonu, mikserler, değirmenler vb. gibi birçok ağır sanayi iş makinaları parçaları kaynaklı birleştirme yöntemi ile Hardox450 çeliklerinden üretilmektedir. Hardox450 çeliğinin, bulunabilirlik, kaynak edilebilirlik, hafiflik ve maliyet gibi avantajları da tercih edilebilirliklerini arttırmaktadır.

Günümüz Endüstri 4.0 ile birlikte endüstriyel Robot sistemlerinin dünya genelinde kullanımı giderek artmaktadır. Ülkemizde de robot sistemleri, döküm yolu ile biçimlendirme, taşıma, kaynak, sıcak dövme, sprey boyama, paletleme, yükleme ve montaj alanlarında başarı ile kullanılmaktadır. Yine aynı gelişmeler ışığında, globalde en çok tercih edilen birleştirme yöntemlerinden olan kaynaklı üretim sistemlerinde de yeni kolaylıklar ve yeni yöntemler geliştirilmektedir. Bunlardan birisi olan, Elektrik Ark Kaynağı ile örtülü elektrot kullanımından, daha hızlı ve verimli bir yöntem olan Gaz Altı Kaynağı ile özlü tel elektrot kullanımına geçişin zamanla artışı oldu. Gaz altı kaynağı yönteminde olduğu gibi bobin sarıma sahip özlü tel elektrotlar, gaz koruması ihtiyacının en aza indirgenerek, daha yüksek mekanik dayanımlara sahip kaynaklı birleştirmelerin elde edilmesine sebep oldu.

Bu çalışmada, Robot Kaynağı yöntemi ile, ilave özlü tel elektrot ve koruyucu gaz koşulları modifiye edilerek Hardox450 çeliğinin, mekanik ve makro yapısal özellikleri incelenmiştir. Öncelikle, 6 adet 10x150x350mm boyutlarında, Hardox450 çelikleri, talaşlı işlem uygulanarak boy kısımlarından 45^{o} lik kaynak ağzı açıklığı verilmiştir. İkişerli gruplar haline getirilen parçalar, ilave rutil ve bazik esaslı özlü tel elektrotlar ile Saf CO_2 ve 212 karışım gazları korumasında, Robot kaynağı sistemlerinde çoklu paso ile kaynaklı birleştirilerek, plakalar H1, H2 ve H3 olarak adlandırılmıştır. Birleştirilen parçaların, çekme, çentik, sertlik değerleri yanı sıra mikro ve makro yapıları incelenmiştir. Sonuç olarak, Hardox450 çeliğinden beklendiği gibi, tüm parçalar kaynaklı kısımlarından kopmuştur. Mekanik dayanımları en iyi Saf CO_2 ve bazik özlü tel elektrot kullanılan H2 plakasında sağlanmıştır. 212 karışım koruyucu gazı kullanılan ve bazik esaslı özlü tel elektrot kullanılan H1 plakasında daha düşük mekanik değerler elde

edilmiştir. H3 plakası ise rutil özlü tel elektrot kullanılmış ve koruyucu gaz olarak Saf CO_2 tercih edilmiştir.

Ön ısıtma gerektirmeden yapılan kaynaklı işlemler ve parça testleri sonucunda, korucuyu gaz ve özlü tel tipinin mekanik değerlere doğrudan etkisi olduğu görüldü. Korucuyu gaz içeriğinde CO_2 oranı arttıkça mekanik dayanım değerleri arttığı görüldü. Bazik esaslı özlü tel elektrotların kullanıldığı parçalarda, rutil özlü tel elektrotların kullanıldığı parçalara göre daha yüksek mekanik dayanıma sahip olduğu görüldü. Robotik sinerjik kaynak sayesinde, masif tellere göre daha fazla sıçrantılı yanış gösteren özlü tel elektrotlar, daha az sıçrantılı hale getirilerek, makro testlerde çok net kaynak görüntüsü ve sonuçlar elde edilirken; ara kaynak pasolarından sonra özlü tel elektrot örtülerinin temizliğinin iyi yapılmadığından dolayı, bazı empürüte ve boşluklar olduğu görüldü. Genel olarak, ağırlıklı düşük dayanımından dolayı kopmaların kaynak bölgelerinden olduğu görüldü.

Anahtar Kelimeler: Kaynak, Özlü Tel, Hardox450, Robot, Endüstri 4.0.

COMBINING HARDOX MATERIALS WITH ROBOTIC WELDING TECHNOLOGY, CORE WIRES AND INVESTIGATION OF WELDING CAPABILITIES

SUMMARY

Hardox450 steel is one of the most used of abrasion and mechanical strength steel alloys. Its main uses are abrasion and strength products. Hardox450 steels, mechanical and chemical Its features increase the usage areas.

With today's Industry 4.0, the use of industrial Robot systems is increasing worldwide. Turkey robot systems, molding way with formatting, transportation, welding, stamping, spray painting, palletizing, assembly and installation has been successfully used in the field. One of these has increased over time from the use of electrode covered with Electric Arc Welding to the use of cored wire electrodes with the Gas Six Source, which is a faster and more efficient method. As with the gas welding method, cored wire electrodes with coil winding reduced the need for gas protection to a minimum, resulting in welded joints with higher mechanical strengths.

In this study, mechanical and macro structural properties of Hardox450 steel are investigated by modifying additional core wire electrode and shielding gas conditions with Robot Welding method. Welded parts; Tensile, notch, hardness values as well as micro and macro structures were examined.As a result, as expected from Hardox450 steel, all parts are detached from their welded parts. Its mechanical strengths are best provided on the H2 plate using CO_2 and basic cored wire electrodes. Lower mechanical values were obtained on the H1 plate using 212 blend shielding gas and basic wire core electrode. H3 plate is used with rutile core wire electrode and Pure CO_2 is preferred as protective gas.

As a result of welded processes and part tests without requiring preheating, it was observed that the type of gas and cored wire of the guards had a direct effect on mechanical values. It was observed that as the CO_2 content in the protective gas content increased, the mechanical strength values increased. It was observed that the parts where basic core cored wire electrodes are used have higher mechanical strength than the parts using rutile cored wire electrodes. Thanks to the robotic synergistic welding, cored wire electrodes, which show more spontaneous combustion compared to solid wires, are made to be less splatter while obtaining very clear welding image and results in macro tests; Since the core wire electrode covers were not cleaned well after the intermediate welding passes, some impurities and gaps were observed.
In general, it was observed that the ruptures were from the weld regions mainly due to its low strength.

Keywords: Welding, Cored Wire, Hardox450, Robotic, Industry 4.0.

BÖLÜM 1. KAYNAKLI BİRLEŞTİRME

1.1. Kaynaklı İmalat

Kaynak, birbirine eşdeğer sayılabilecek erime sıcaklıklarına sahip, en az iki metal malzemenin, yine eşdeğer erime sıcaklığına sahip ilave metal kullanılarak ya da ana malzeme üzerinden erime sağlanarak, ısıtma ya da basınç işlemlerinin, biri veya ikisi aynı anda olacak şekilde uygulanan, birleştirme ya da doldurma işlemidir.

Kaynak işlemlerinde, yanıcı gaz, elektriksel ark, sürtünme, lazerli ark, yüksek ses dalgaları gibi birbirinden ayrı enerji oluşumları kullanılabilir. Bu işlemler, açık hava ortamının yanı sıra, su altında ve uzay ortamlarında da yapılabilir. Kaynağın uygulama yeri fark etmeksizin, kaynak işlemi çeşitli tehlikeler oluşturabilir. Bundan dolayı, ortaya çıkabilecek yancı gaz alevinden, elektrik çarpmasından, zehirleyici gaz dumanlarından ve ultraviyole ışınlardan korunmak gerekmektedir.

20. yüzyıl başları itibariyle, yalnızca demirciler tarafından kullanılan eritme ve dövme yapılarak, birleştirme yöntemlerinin yerini, elektrik arkı ve oksi-gaz birleştirmesi yöntemleri almıştır, devamında elektrik direnç kaynağı geliştirilmiştir. Kaynak teknolojisi, aynı dönemde (I. ve II. Dünya Savaşları) hızla gelişmiş olup, ucuz maliyetler sunarak talep artışlarını karşılayabilen bir teknoloji haline gelmiştir. Bu ilerlemeyi, manuel (elektrik ark), yarı otomatik ve tam otomatik (gaz altı) gibi modern kaynak yöntemlerinin gelişmesi izlemiştir. 20. yüzyılın ikinci dönemi, lazer ve elektron ışın kaynağı yöntemlerinin gelişimi ile sürmüştür. Son olarak robotik kaynak sistemleri, endüstride önemli bir yer almıştır. Yeni kaynak uygulamaları ve yöntemlerin kalitesinin geliştirilmesi ve de maliyetlerin azaltılması amacıyla Ar ge çalışmaları devam etmektedir.

1.2. Kaynaklı İmalat Yöntemleri

Günümüzde, ilerleyen teknoloji ile birlikte, metal üretimi endüstrisinin hızlı gelişme talepleri, birden fazla uygulamanın, kaynaklı üretim yönteminin altında incelenmesine yol açmıştır. Ana başlıklarıyla kaynak çeşitleri ise, aşağıdaki gibi olmuştur;

1. Elektrik ark kaynağı yöntemi
2. Gaz altı kaynağı yöntemi
    a. MİG yöntemi (Metal İndirgeyici Gaz Koruması)
    b. MAG yöntemi (Metal Aktif Gaz Koruması)
3. TİG yöntemi (Tungsten İndirgeyici Gaz Koruması)
4. Oksi – Asetilen ergitme yöntemi kaynağı
5. Elektrik direnç yöntemi kaynağı
6. Enerji ışın kaynağı yöntemi
7. Katı hal birleştirme yöntemleri
    a. Dövme yöntemiyle birleştirme
    b. Soğuk basınç uygulama yöntemi
    c. Hadde yöntemiyle birleştirme
    d. Sürtünme çevirme yöntemiyle birleştirme
    e. Ultrasonik dalga uygulaması yöntemi
    f. Difüzyon işlemi yöntemiyle birleştirme
    g. Patlatmalı yöntem kaynağı

1.2.1. Elektrik ark kaynağı yöntemi

Fizik bilimine göre ark oluşumu, ısınmış bir katottan çıkan elektronların, çok yüksek hızla, anotu bombalaması sonucunda oluşur. Bu bombalama, çarpışma sonucunda nötr moleküllerin, iyonize hale gelmesine neden olduğundan, yüksek bir sıcaklık artışı sağlamaktadır. Bu sayede elektrik enerjisine dönüşüm olmaktadır. Bu enerjinin de %85 i ısı, %15 inin de ışık enerjisine dönüştüğü son araştırmalarda görülmektedir.

Kaynak işini oluşturabilmek için yüksek ısıya ihtiyaç vardır. Eritme için gerekli ısınma elektrik arkı ile sağlanır. Ortaya çıkan elektrik akımını ileten, parçaya ya da malzemeye “elektrot” adı verilir. Elektrot, ilave kaynak metalini barındıran ve üstünden kaynak

akımını ileten “çekirdek” ve de farklı kalınlıkta ve çekirdeğin dış çeperini oluşturan “örtü” den oluşur. Örtü, çekirdek ile eş merkezlidir. Örtülü elektrotları ilk olarak 1908 yılında İsveçli Kjelberg üretmiştir.

1.2.1.1. Elektrot örtüleri

Elektrot örtüleri yapılırken farklı malzemeler belirli miktarlarda karıştırılır ve ekstrüzyon presiyle elektrot çekirdeğine uygulanır. Bu malzemelerin birbiri ile harmanlanmasında bazı durumlar vardır. Elektrot örtü tiplerine göre ana katkılar, belirli oranlarda sabit kalmalıdır. Farklı durumda, elektrot örtüsü amacına uygun görevleri sağlayamaz. Örtülü elektrotlar, içerdikleri ana bileşenin türüne, cüruflarının asitlik ya da baziklik durumuna göre farklı gruplara ayrılırlar. Örtü oluşum hammaddesi olarak genellikle, karbonatlar (magnezyum, kalsiyum, potasyum ve sodyum karbonatlar), silikatlar (kuartz ve feldspat), oksitler (manganez, alüminyum, silisyum, krom) ve florürler (kalsiyum florür, sodyum florür, alüminyum florür) kullanılır.

Kullanılan örtü tipleri aşağıdaki gibidir;

Rutil tip elektrot: Örtü ağırlıklarının %35 ini titanyum oluşturur. Titanyum ile birlikte feldspat, kuvartz, az oranda selüloz ve de ferromangan içermektedir. Bütünleştirici olarak ise sodyum ve potasyum silikat kullanılır. Doğru ve alternatif akımlarda kaynak işlemi yapılabilir. Bu elektrotlar, her kaynak pozisyonunda çalışabilirler. Sakin bir ark ve tutuşma sağlarlar. Boşluk doldurma becerileri elektrot çapı kalınlığı ile artmaktadır.

Asit tip elektrot: Örtüsünde, yüksek oranlarda ferromangan, demiroksit ve kuartz ile birlikte farklı deoksidan maddeler içerir. Kalın örtülü elektrotlardır. Kaynak sırasında, kaynak metalinin akışı, örtü kalınlığı artmasıyla incelir. Doğru ve alternatif akımlarda kaynak işlemi yapılabilir. Boşluk doldurma özellikleri yeterli değildir. Kaynak ağzı hazırlıklarının iyi yapılması gerekmektedir.

Oksit tip elektrotlar: Örtülerinin büyük kısmını demir oksit oluşturur. Kaynak sırasında metalin geçişi, akış şeklindedir. Kaynak sırasında karbon ve mangan yanması oluştuğundan düşük karbonlu çeliklerin kaynağında daha verimlidir. Kaynak sırasında, kaynak cüruf ve metalinin çok akışkan olmasından dolayı boşluk doldurma özellikleri

yeterli değildir ve de kaynak dikişi yüksek sıcaklıklara maruz kaldığından, sıcak çatlama yaşanabilir. Kaynak dikiş görünüşleri oldukça iyidir.

Bazik tip elektrotlar: Örtülerinde kalsiyum, kalsiyum florür ve toprak alkali metal karbonatları içeren bazik karakterli ve kalın örtülü elektrotlardır. Üretim aşamasında karbonatlar, cürufun kaynak metalin örtemeyeceğinden dolayı, tek başına kullanılamazlar. Kaynak metaline ve cürufa iyi bir ıslatma ve yayılma özelliğini kalsiyum florür kazandırır; bununla birlikte kalsiyum fluorür, cürufu oksidasyondan korur. Doğru akım ve pozitif kutupta kaynak yapılır. Alternatif akımla çalışan tipleri de vardır. Tüm kaynak pozisyonlarında çalışılabilirler. İyi düzeyde boşluk doldurma becerileri vardır. Mekanik dayanımları oldukça yüksektir. 0°C nin aşağısında süneklik özellikleri oldukça iyidir.

Selülozik tip elektrotlar: Örtülerinde, tutuştukları ve yandıkları anda gaz haline dönüşen organik maddeler içerir. Örtü yapısının %30 unu selüloz oluşturur. Kaynak dikişinde çok az cüruf oluşurken, sıçrantı yüksektir. Boşluk doldurma becerileri ve nüfuziyetleri oldukça iyidir. Her türlü kaynak pozisyonunda çalışmaya (yukardan aşağıya dahil) uygundur. İçerisindeki selülozun yanmasıyla, kaynak sırasında çok iyi koruyucu gaz atmosferi oluşturur. Bu durumda kaynak dikişi az oranda hidrojen alır; çelik kaynağında problem yaratabilir. Örtüde bulunan titanyum bileşikleri arkın stabil kalmasını sağlarken, cürufun da kolayca kalkmasına yardımcı olmaktadır. Bazı durumlarda kaynak sırasında oksitlenerek yok olan manganın telafisi için, örtüye bir kısım mangan ilavesi yapılır.

Karbon tip elektrotlar: İnce saçların kaynağının yanı sıra, bazı özel kaynak işlerinde karbon elektrotlar kullanılmaktadır. Dairesel kesitli olan karbon elektrotlar, amorf, grafit ve de elektro-grafit olmak üzere üç çeşittir. Grafit kömüründen üretilen, grafit ve elektro-grafit elektrotlar, amorf elektrotlara göre daha fazla akım şiddeti ile doldurabilirler. Amorf elektrotlar diğerlerine göre daha kısa ömürlü olup en uygun fiyatlılarıdır. En pahalı olanı ise elektro-grafit çubuklardır.

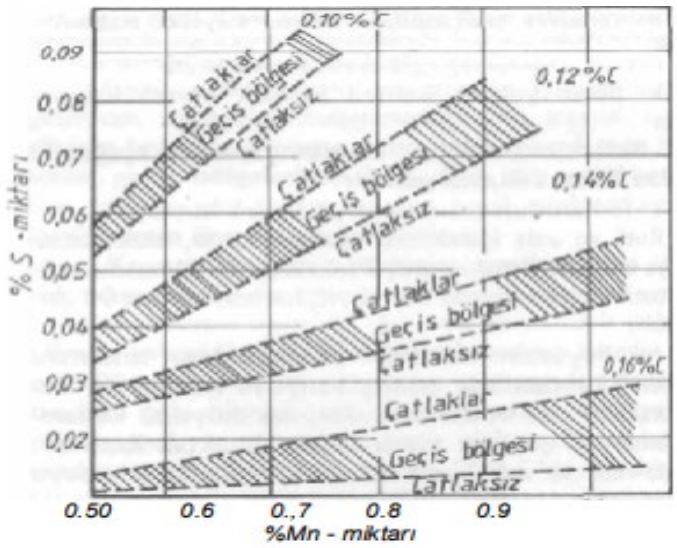
Elektrot örtülerinin genel olarak yararları şu şekildedir:

- Arkta kolay tutuşma sağlar.
- Kaynak işleminin, doğru ve alternatif akımlarla uygulanmasını sağlar.

- Kaynak sırasında metal damlacıklarının akışkanlığına ve de yüzey gerilimine etki ederek tavan ve düşey pozisyonlarda iş yapmayı kolaylaştırır.
- Kaynak anında, oluşturduğu gaz ortamı sayesinde kaynak dikişini korur.
- Kaynak dikişinde cüruf tabakası oluşturarak dikişin soğuma hızını yavaşlatır.
- Oluşan kaynak banyosunu oksidasyona karşı korur.
- Kaynak dikişini alaşımlandırmak suretiyle, yapıya katkı sağlar.

1.2.1.2. Örtülü elektrot çekirdeği teli

Örtülü elektrot çekirdeğini oluşturan tellerin bileşiminde kaynak dikişinin kaliteli olmasını sağlayacak belirli oranlara sahip olması gerekmektedir. Alaşım malzemelerinin fazlalığı, kaynak dikişinin mekanik özelliklerinde kötü sonuçlar alınmasına sebep olur. Yapıda kükürt fazlalığı, kaynak dikişi üzerinde çatlama ve gözenek oluşturur. Bundan dolayı tüm kaynak türlerinde kükürdün az seviyede olması istenir. Fazla karbon miktarı, kaynağın zorlaşmasına, kaynak sırasında elektrot çatlağına, fazla sıçrantı oluşmasına ve de bunlara bağlı iyi bir kaynak kontrolü sağlanamamasına neden olur. Silisyum ve mangan oranlarının da belirli sınırlar içerisinde olması gerekir. Dikişte istenmeyen, martenzit oluşumuyla karşılaşmamak için, alaşım elementleri çok fazlalaşmamalıdır. Karbon, mangan ve de kükürt oranlarının kaynak dikişinde çatlak oluşmasına etkileri Şekil 1.1 de ki grafikte toplu şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : C, Mn ve S, miktarlarının kaynak dikişinde çatlamaya tesiri.

1.2.1.3. Elektrot standartları

Günümüzde en çok kullanımı olan elektrot kabul standartları aşağıdaki gibidir:

- Uluslararası elektrot standardı (ISO)
- Alman kaynak normu (DIN)
- Amerikan kaynak standardı (AWS/ASTM A).

1.2.1.4. Örtülü elektrot birleştirme yöntemleri

Kaynak uygulamalarında kullanılan birleştirme tipleri aşağıdaki gibidir:

- Alın alına durumunda birleştirmeler
- İç köşe tipinde birleştirmeler
- Dış köşe tipinde birleştirmeler
- Üst üste bindirme tipinde birleştirmeler

1.2.1.5. Örtülü elektrot kaynak pozisyonları

Parçaların kaynaklı imalatı için aşağıdaki kaynak pozisyonları uygulanmaktadır:

- Yatay pozisyon
- Düşey pozisyon
- Tavan pozisyonu
- Korniş pozisyonu

Yatay durumda kaynak her elektrot ile yapılabilirken, düşey, tavan ve korniş pozisyonları kaynakları sadece özel vasıflara sahip elektrotlar ile yapılabilmektedir. Bu pozisyonlarda kullanılacak elektrotların cüruflarının katılaşma anında viskoz durumlarının ani yükselmesi ve de çok kısa bir zaman içerisinde sıvı kalması gerekmektedir. Bu durumun olmaması halinde cüruf akışkanlık gösterecek ve koruyucu görevini yapamayacaktır. Kaynak operatörleri pozisyon kaynaklarında düşük amper ile kaynak yaparlar. Bu şekilde kaynak pozisyonlarında, dikiş görünüşünün güzel ve düzgün olması için, doğru seçilen elektrot türünün yanı sıra, kaynak operatörünün el becerisinin etkisi büyük olmaktadır.

1.2.1.6. Örtülü elektrot kaynağı uygulaması

Elektrik ark kaynağında, kaynak elektrotunun ilk tutuşması işlemi iki şekilde olur. Bunlardan ilki, elektrot uç kısmı iş parçasına sürtülmesiyle ark oluşumudur. İkincisi ise elektrot, iş parçasına vurularak ark oluşumudur. Yalnızca bazik tipte sürttürülerek ark aldırılır. Aksi durumda, vurup yukarı çekilerek tutuşturulması, ark boyunun uzamasına ve kaynak bölgesine hava girerek gözenek oluşmasına sebep olur. Diğer tip elektrotlarda ise sürtme ya da vurarak ark oluşumu arasında bir fark bulunmamaktadır.

Elektrik ark kaynak işlemi, çalışma yönü olarak çekerek yapılması uygundur. Sağ el kullananlar soldan sağa doğru olacak şekilde uygularken, sol el kullananlarda bu yön sağdan sola doğru olacaktır. Kaynak işlemi, kaynak pozisyonuna, uygulama yeri ve türüne göre çeşitli bilek hareketleri verilerek yapılır. Yatay iş pozisyonunda kök doldurması düz olarak yapılırken, kapatma sırasının çekilişinde elektrota sağlı-sollu bilek hareketleri verilerek kaynak tatbik edilir.

Cürufun kaldırılmasında en basit olan yöntem, yatay kaynak pozisyonudur. Daha sonrasında en basit cüruf temizliği olan yöntem tavan kaynağı pozisyonudur.

Sürekli üretim halinde olan firmalarda döner kaynak pozisyonerleri kullanmakta olup, kaynak dikiş pozisyonlarının imkân dahilinde yatay halde olması sağlanmaktadır. Ancak imkân dahilinde olmayan şantiye, çelik inşaatı gibi durumlarda, çalışma pozisyonuna uygun tiplerde elektrotlar kullanılarak, düzgün ve güzel görünümlü kaynak dikişleri ortaya çıkmaktadır.

1.2.1.7. Örtülü elektrot kaynak makinaları

Elektrik ark kaynağı makineleri, elektrik hattından çektikleri enerjiyi, kaynak arkının devamlılığının sağlanarak, gerilime ve büyüklüğe dönüştürülmüş kaynak akımını ihtiva ederler. Bu dönüşümü yaparken elektrik hattından çektikleri alternatif akımdan faydalanırlar ve de kendi sistemlerinde bulunan düzenek sayesinde, alternatif akımı doğru akıma çevirirler. Elektrik arkı kaynağını alternatif akımla olduğu gibi doğru akımla yapabilme tercihi vardır. Bundan sebep kaynak makineleri de;

- Doğrudan akım sistemlerine sahip, Doğru Akım kaynak makineleri,

- Alternatif akım sistemlerine sahip, Alternatif Akım kaynak makineleridir.

Doğru akım çeviren kaynak sistemleri olarak, kaynak jeneratörleri ve kaynak redresörleri makinaları bulunmaktadır. Alternatif akım çeviren kaynak makineleri de, transformatör olarak adlandırılır.

1.2.2. Gaz altı kaynağı yöntemi

Gaz altı kaynağı yönteminde, ergime için gereken ısı, devamlı beslemesi yapılan ve eriyen bir tel elektrotla kaynak havuzu arasında meydana gelen ark yoluyla ve kaynak telinden geçen kaynak akımının, kaynak telinde meydana getirdiği direnç ısınması sayesinde üretilir. Kaynak teli masif bir tel olup, tel besleme ünitesiyle kaynak bölgesine tatbik ettirilir. Kaynak teli, kaynak havuzu, ark ve ana metalin kaynak bölgesi, dış hava ortamının olumsuz etkilerine karşı olarak, gaz memesinden bölgeye iletilen ilave gaz veya gaz karışımları tarafından korunması sağlanmaktadır.

Tükenen tel elektrotlarla gaz altı kaynağı düşüncesi ilk kez 20. yüzyıl başlarında ortaya atılmış olup, seri bir şekilde kullanıma geçmesi ancak 1948 senesini bulmuştur. Yöntem ilk olarak soy gaz koruması yapılarak, yüksek akımda ve küçük çapta kaynak telleri ile yapılan bir kaynak yöntemi olarak belirlenmiş ve ilk olarak alüminyum malzeme birleştirilmesinde kullanılmıştır. Tükenen kaynak teli ve soy gaz kullanılmasından dolayı bu yönteme MIG kaynağı yöntemi denilmiştir. Yöntem devamında düşük akımlarda ve darbeli akımla çalışabilme, daha farklı metallere uygulayabilme ve aktif gazların koruyuculuğu (CO_2) ve de farklı oranlarda gaz karışımlarının kullanılması yenilikleri ortaya çıkmıştır. Bu yenilikler, koruyucu aktif bir gaz kullanılan yönteme MAG kaynağı yöntemi adı verilmesine sebep olmuştur. Bazı ülkelerde, bu isim ayırımının, yalnızca yöntem ismini belirtmek amacıyla kullanılması sorun oluşturmuş ve bu sebeple, yöntemi belirtmek sebebiyle değişik adlar kullandırılmaya başlanmıştır. Amerika'da bu yöntem GMAW-Gaz Metal Ark Kaynak Yöntemi şeklinde adlandırılırken, İngiltere, Almanya ve ülkemizde ise MIG/MAG Yöntemi adı verilmektedir. Ülkemizde aynı zamanda da ergiyen elektrotla gaz altı kaynağı adı da kullanılmaktadır.

Bu yöntemin getirdiği diğer bir yenilikte örtülü elektrot ile ortaklaşmasından ortaya çıkmıştır. Örtülü elektrot yerine, metal tozu ile doldurulan boru şeklindeki özlü teller

üretilmiştir. Bu sayede, boru içerisindeki öz, örtülü elektrot örtüsünün bazı görevlerini; elektrot çekirdeğinin, görevini de özü sarmalayan metal tüpün görmesi hedeflenmiştir. BÖLÜM 2 'de konu daha ayrıntısıyla anlatılmıştır.

1.2.2.1. Gaz altı kaynağı yöntemi avantajları

Yöntemin güncel olarak kullanılma sebebi, tahmin edileceği gibi sağladığı avantajlardan kaynaklanmaktadır. Bu avantajlar şu şekilde sıralanmıştır:

- Metal ve alaşımların tümünün kaynağında kullanılabilen tek kaynak yöntemidir.
- Sınırlı uzunluktaki elektrot boyu sorunu ortadan kalkmış, kaynakta devamlılık sağlanmıştır.
- Toz altı kaynağı hariç, tüm pozisyonlarda kaynak imkanı olmuştur.
- Kaynağın metal doldurma kabiliyeti, elektrota göre oldukça yüksektir.
- Sürekliliği ve yüksek metal doldurma kabiliyeti sebebiyle, kaynak hızı, elektrot kaynağına göre oldukça artmıştır.
- Kaynak telinin sürekli beslenebilmesi sebebiyle, uzun ve sağlıklı kaynak dikişleri yakalanmıştır.
- Sprey iletim ya da sprey ark sağlanabildiğinden, elektrot kaynağına göre çok daha fazla nüfuziyet imkanı sağlıyor. Bu sayede iç köşe kaynaklarında benzer dayanımı verebilen daha ince kaynak dikişleri elde edilebilir.
- Masif tellerde, cüruf oluşumu olmadığından, kaynak sonrası herhangi bir cüruf temizliği gerektirmez.

Sağladığı bu avantajları nedeniyle, gaz altı kaynağı, seri üretim ve robotik otomasyon kaynak çalışmalarına elverişli hale gelmektedir.

1.2.2.2. Gaz altı kaynağı yöntemi dezavantajları

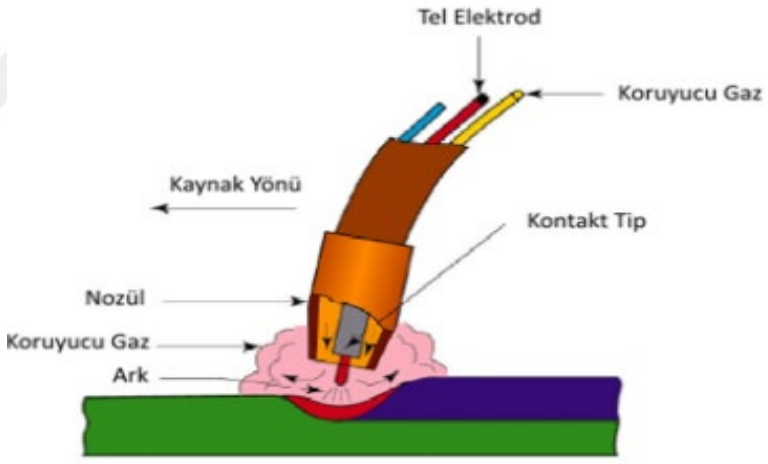
Farklı kaynak uygulamalarında görüldüğü gibi gaz altı kaynak yönteminin de kullanılması sonrası ortaya çıkan bazı dezavantajlar da vardır. Bu sınırlayıcı özellikler şu şekilde belirtilmektedir:

- Kaynak ekipmanı, elektrot kaynağı sistemine göre, daha maliyetli, fazlaca karmaşık ve de ağırlık ve büyüklüğü sebebiyle yer değiştirmesi de daha zordur.

- Kaynak torcunun büyüklüğü sebebiyle, elektrot pensesine bağlanan elektrotun ulaşabildiği yerlere, kaynak torcu ulaşamamaktadır. Aynı zamanda zor olarak ulaştığı kısımlarda koruyucu gazın etkisi yetersiz kalabilmektedir.
- Kaynağın ve arkın korunmasını sağlayan ilave koruyucu gazın, etkisini kaybetmemesi için ortamdaki hava sirkülasyonundan korunması gerekir. Bundan dolayı açık hava alanlarında, ortamın hava akımına karşı koruması sağlanmadıkça bu yöntem işe yaramayacaktır.
- Kaynak operatörlerine bağlı olarak, elektrot alışkanlığı ya da farklı sebepler nedeniyle (gaz, ışık, ısı fazlalıkları) göreceli olarak, bu kaynak yöntemi tercih edilmeyebilir.

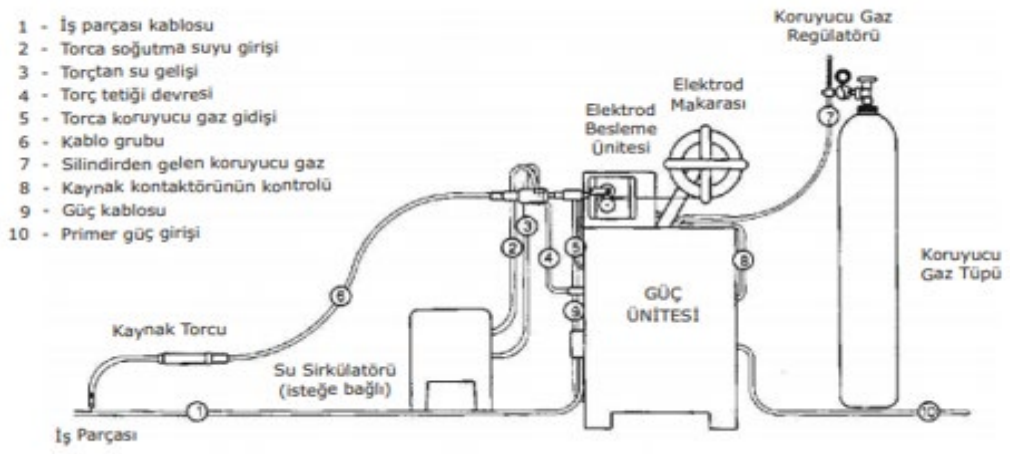
1.2.2.3. Gaz altı kaynağı çalışma usulü

Usul olarak gaz altı kaynak yönteminde, sürekli tükenen kaynak teli beslemesi yapılmakta ve de ilave koruyucu gaz kullanılmaktadır. Şekil 1.2 de gaz altı kaynak yöntemi genel uygulama prensibi gösterilmektedir.



Şekil 1.2 : Gaz altı ark kaynağı, genel uygulama prensibi.

Kaynak operatörü hakimiyetinde ilk ayarlamalar yapılmasından sonra arkın elektriksel sistematiği kaynak makinası tarafından otomatik olarak ayarlanır. Bu sebeple yarı otomatik kaynak sistemlerinde, kaynak operatörleri, kaynak hızını, kaynak doğrultusunu ve kaynak torcu pozisyonunu kontrol edebilmektedir. Doğru ekipman tercihi ve de doğru elektronik ayarlamalar yapılması halinde, kaynak makinesi tarafından sabit ark boyu ile birlikte sabit akım şiddeti (tel verme hızı) otomatik olarak sağlanacaktır. Gaz altı kaynağı yönteminin ekipman şematiği Şekil 1.3 de gösterilmiştir.



Şekil 1.3 : Gaz altı ark kaynağı donanımı.

Kaynak donanımı 4 temel gruptan oluşmuştur:

- Gaz altı torç ve kablaj grubu
- Kaynak teli besleme sistemi
- Güç merkezi ünitesi
- Koruyucu gaz tüpü

Gaz altı torcunun üç görevi bulunmaktadır. Koruyucu gazın kaynak alanına taşınması, kaynak telinin akım memesine iletilmesi ve de güç merkezinden çıkan akım kablosunu akım memesine iletmektir. Kaynak torcunda tetiğe basıldığı anda, iş parçasına doğru aynı anda gaz, akım ve kaynak teli iletilir ve bu sayede ark oluşturulur. Kaynak ark boyunun ayarlanması istendiğinde, kaynak teli besleme sistemi ile güç merkezi ünitesi arasında iletişimi sağlayan iki farklı yol bulunmaktadır. Sıklıkla kullanılanı yatay (sabit) gerilimli bir güç ünitesi ve sabit hızlı tel besleme sistemi kullanmaktır. Diğer bir seçenek ise, azalan gerilim sağlanaraktan ve de tel besleme sisteminde, tel verme hızı, ark gerilimi sayesinde kontrol edilmesidir. Gerilimin sabit olması ve sabit tel verme hızı seçeneğinde torç pozisyonunda olası değişim kaynak akımının da değişmesine sebep olacaktır. Kaynak akımının bu şekilde değişimi de, an itibariyle serbest tel boyunu değiştirecek ve de ark boyu sabit kalacaktır. Torç ile iş parçası arasındaki mesafenin artması sebebiyle serbest tel boyunda artış meydana gelecek ve kaynak akımının azalmasına sebep olacaktır.

İkinci seçenekte ise, ark geriliminde ortaya çıkan farklılıklar tel besleme ünitesinin kontrol sistemlerinin tekrardan ayarlanması suretiyle, kaynak teli verme hızı istenilen şekilde değiştirilebilir.

1.2.2.4. Damla aktarım sistematiği

Gaz altı kaynak yönteminde metal damlacıklar, kaynak telinden iş parçasına doğru üç ana aktarım sistematiği ile geçmektedir:

- Kısa devre aktarımı (kısa ark oluşumu)
- Büyük damlacık aktarımı (uzun ark oluşumu)
- Sprey ark aktarımı**.**

Damla aktarımı tipi birden fazla etken tarafından değişebilir. En çok değişkenlik sağlayan etkenler şunlardır:

- Kaynak akım şekli ve büyüklüğü
- Kaynak teli çapı
- Kaynak teli içeriği
- Koruyucu gaz
- Serbest kaynak teli boyu

1.2.2.5. Gaz altı kaynak uygulaması değişkenleri

Bir kaynağın nüfuziyet, dikiş görünümü ve de kalitesini etkileyen ana etmenler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Tel besleme hızı (kaynak akımı)
- Kutup bağlantıları
- Ark uzunluğu
- Kaynağın uygulama hızı
- Serbest kaynak teli boyu
- Torç açısı
- Kaynağın pozisyonu
- Koruyucu gaz
- Kaynak teli çapı.

Kaliteli kaynak dikişleri sağlayabilmek için bu etmenlerin doğuracağı sonuçları doğru şekilde öğrenmek ve de gerekli kontrolleri sağlamak gerekir. Bu etmenler birbirleriyle bağlantılı olup, birinin değiştirilmesi halinde, kaliteli sonuç elde edebilmesi için bir ya da birkaçının aynı anda değiştirilmesi gerekir. Tüm bunları uygulayabilmek ve en doğru ayarlamaları yapabilmek için büyük ölçüde operatör kabiliyeti ve tecrübesi gerekmektedir. Kaynağın ana değişkenlerinin belirlenmesinde aşağıda verilen durumlar ana ölçüt olarak ele alınmaktadır:

- Ana metalin cinsi
- Kaynak teli yapısı ve türü
- Kaynak iş pozisyonu
- Kaynak kalitesinden beklentiler.

Tüm uygulamalar için, en doğru sonuç alınmasında tek bir değişken uygulaması bulunmamaktadır. Harici tüm değişkenlerin sabit tutulup, kaynak akımı yani tel verme hızındaki artma bazı durumları ortaya çıkartmaktadır:

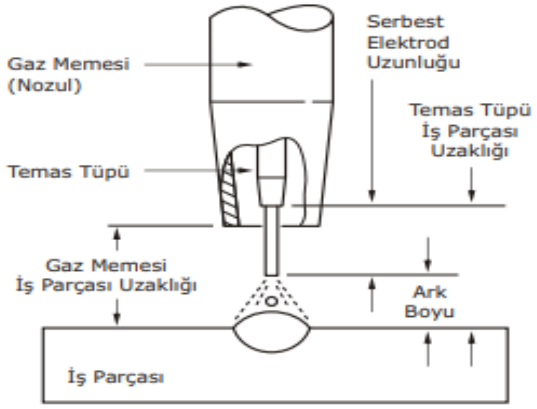
- Kaynakta nüfuziyet artışı ve yayılma
- Daha fazla metal yığma
- Kaynak dikiş formunda genişleme ve yükseklik artışı.

Gaz altı kaynağı sistemlerinin büyük bir kısmında doğru akım ve pozitif kutuplama yapılır. Bunun sebebi ise bu şekilde kutuplamanın, kaynak akımının daha geniş aralıkta çalışabilmesini, daha kararlı bir ark oluşmasını, düzgün bir metal aktarımı, daha az sıçrantı, güzel bir kaynak dikişi ve de daha fazla nüfuziyet sağlamasıdır. Doğru akım ve negatif kutuplama ise neredeyse kullanılmamaktadır.

Diğer tüm değişkenler sabit kaldığında, ark gerilimi direkt olarak ark boyuna bağlı olur. Bu durumda önemli olan ve kontrol gerektiren değişken, ark boyu olacaktır. Bu şekilde ark gerilimi daha kolay kontrol edilebilir. Bundan dolayı ark gerilimi bilinirliği ihtiyat olduğundan, ark boyu ayarı, ark gerilimi kontrolü ile sağlanır.

Kaynağın ark gerilimi iş parçası cinsine, koruyucu gaza ve de damla aktarım türüne bağlı olarak değişmektedir. Şekil 1.4 de iş parçası ve torç arasında oluşan ark boyu gösterilmiştir. En uygun ark karakteristiği ve en iyi dikiş görüntüsü oluşturan bir ark

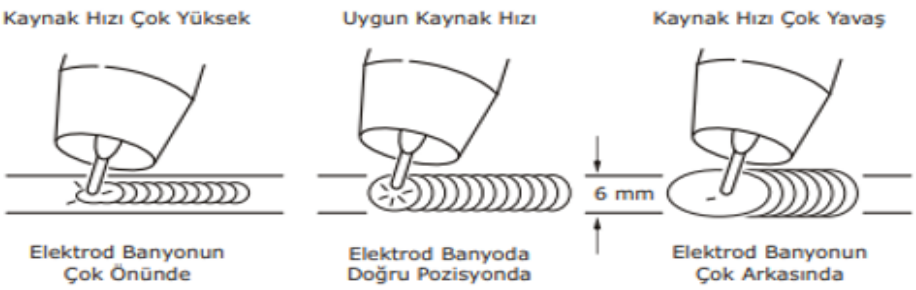
gerilimi ayarı için deneme pasolarının çekilmesi gereklidir. Doğru bir ark gerilimi için, iş parçası kalınlığı, bağlama şekli, kaynağın pozisyonu, kaynak teli çapı, koruyucu gaz içeriği ve de kaynak türü gibi farklı etmenlere bağlı olduğu için, bir şekilde ön tecrübelerin yapılması faydalı olacaktır.



Şekil 1.4: Gaz altı kaynağı ark boyu.

Ark geriliminin gereğinden az fazla yükseltilmesi, kaynak dikişinde genişleme ve düzleşmeye sebep olacaktır. Çok daha fazla ark gerilimi yükselmesi ise, gözeneklik, sıçrantı ve de yanma oluklarına sebep olabilir. Ark geriliminin azaltılması ise kaynak dikişinde daralma ve yükselti oluşumuna sebep olmaktadır. Ark gerilimi aşırı düzeyde azalma durumunda ise, kaynak telinin iş parçasına yapıştırılmasına sebep olacaktır.

Arkın, kaynak birleştirmesi boyunca ilerlemesiyle, kaynak hızı ölçülmektedir. Diğer değişkenler sabit kabul edildiğinde, orta düzeydeki kaynak hızlarında, nüfuziyeti en yüksek olacaktır. Kaynak hızı azalırsa eğer, birim alanda kaynak metali yığılımı artacaktır. Şekil 1.5 te kaynak hızının kaynak dikişine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 1.5 : Gaz altı kaynağında kaynak hızının kaynak dikişine etkileri.

Düşük hızlardaki kaynak hızlarında, kaynak arkının iş parçası yerine erimiş kaynak havuzu üstünde yanar ve bu sebeple de nüfuziyette azalma olur. Bununla birlikte kaynak dikişinde de genişleme oluşur. Kaynak hızında artma olması durumunda, ark iş parçasına daha fazla doğrudan etki edecektir ve de iş parçasındaki kaynak dikişine olan birim alana iletilen ısı enerjisi miktarı artacaktır. Kaynağın hızı fazlaca arttırıldığında, iş parçasındaki kaynak dikişine olan birim alana daha az ısıl enerji iletilmesini sebep olacaktır. Bundan dolayı, kaynak hızı artışıyla iş parçasının erime hızı başta artarken, devamında azalma gösterecektir. Yine kaynak hızı aşırı arttırıldığında, eritilen iş parçasının doldurulmasına yetebilecek miktarda dolgu metali sağlanamayacağından, kaynak dikiş kenarlarında yanma olukları oluşacaktır.

Serbest kaynak teli boyu Şekil 1.4 te gösterildiği üzere, çıkmış kaynak teli ile akım memesi (temas tüpü) ağzı arasındaki uzaklıktır. Serbest kaynak teli boyunun artışı elektrik direncinde artmaya sebep olmaktadır. Direnç artışı, direkt olarak direnç ısıtmasının artışına ve bu da kaynak teli sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Kaynak teli sıcaklığının artması ise erime hızının az bir miktar artışına sebep olur. Burada en önemli olarak, elektrik direnci artışı, akım memesi ile esas metal arasında daha büyük gerilim düşmesine sebep olur. Bu şekilde durumlar, güç merkez ünitesi tarafından tespit edilerek akımın azaltılması suretiyle dengeye gelir. Devamında ise kaynak teli erime hızı an itibariyle azaltılarak kaynak telinin gerçek ark boyunun azalması sağlanacaktır. Bu sayede, kaynak makinalarında gerilim arttırılmadığı sürece, kaynak dikişi dar ve yüksek bir dolgu yığılımı sağlar. İstenilen serbest kaynak teli boyu çoğunlukla kısa devre aktarımı için 6-13 mm, diğer aktarımlar için ise 12-24 mm arasında olmaktadır.

Tüm kaynak uygulamalarında olduğu gibi, kaynak torç ve elektrotlarının açıları, kaynak dikişlerinin nüfuziyetlerine ve şekillerine etki eder. Yine bu kaynak torç açıları kaynağın dikiş şeklini ve de nüfuziyetini, kaynak gerilimi ve hızın etkisinden çok daha fazla etkilemektedir.

Kaynak torcunun işleyiş açılarına bağlı olarak ortaya iki farklı düzlem çıkmaktadır. Bu düzlemlerden ilki, çalışma düzlemidir. Çalışma düzlemi, kaynak iş hareketinin doğrultusuna dik konumdaki düzlemdir. İkinci düzlem ise hareket düzlemidir. Hareket düzlemi, kaynak işi doğrultusu ile torçtan geçen düzleme denmektedir. Bu düzlemlere bağlı olarak torç açıları şöyle tanımlanır:

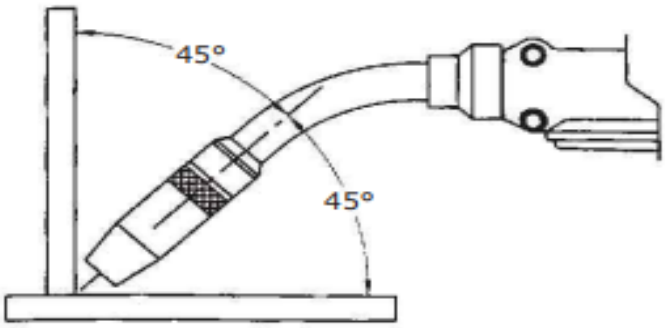
a) Hareket açısı; hareket düzlemi üzerinde torç ekseniyle kaynak işi hareketi doğrultusuna dik konumda olan doğrultu arasındaki açıdır.

b) Çalışma açısı; çalışma düzlemi üzerinde torç ekseniyle en kısa mesafede bulunan iş parçasının yüzeyi arasında kalan açıdır.

Kaynak torcu, kaynak doğrultusuna olacak şekilde yönlendirilmişse, sağa kaynak; tersi yönünde yönlendirilmişse de, bu teknik, sola kaynak olarak isimlendirilir.

Tüm kaynak pozisyonlarında, ergiyik kaynak havuzunun en iyi şekilde kontrol edilebilmesi ve korunabilmesi için kaynak torç açısı 5 ile 15 derece arasında olan hareket açısıdır.

Yatay kaynak pozisyonunda iç köşe kaynağı yapılırken kaynak torcu Şekil 1.6 da görüldüğü gibi iş parçasıyla 45° lik çalışma açısı olacak şekilde konumlandırılmalıdır.



Şekil 1.6 : İç köşe kaynakları için çalışma açısı.

Sprey aktarımlı kaynakların tümüne yakını oluk ve yatay kaynak pozisyonlarında yapılmaktadır. Farklı bir durumda, düşük enerji düzeylerindeki darbeli ve kısa devre ark aktarımlı kaynak işleri her kaynak pozisyonunda yapılabilir. Oluk pozisyonlarında kaynak işlemi yapılırken, kaynak torcu yatay iş parçasına göre eğimli olarak konumlandırılması, kaynağın dikiş şekli, nüfuziyet ve de hızını etkilemektedir.

Kaynağın dikiş şekli ve boyutlarını, kaynak teli çapı etkilemektedir. Kaynak teli çapı arttıkça, kaynak teli ergimesi için daha yüksek akım değeri gerekmektedir. Kaynak akımının daha fazla artması ise, daha fazla ergime ve de akışkanlığı yüksek, büyük kaynak havuzları oluşturur. Yine aynı şekilde çalışma akımlarının yükseltilmesi daha

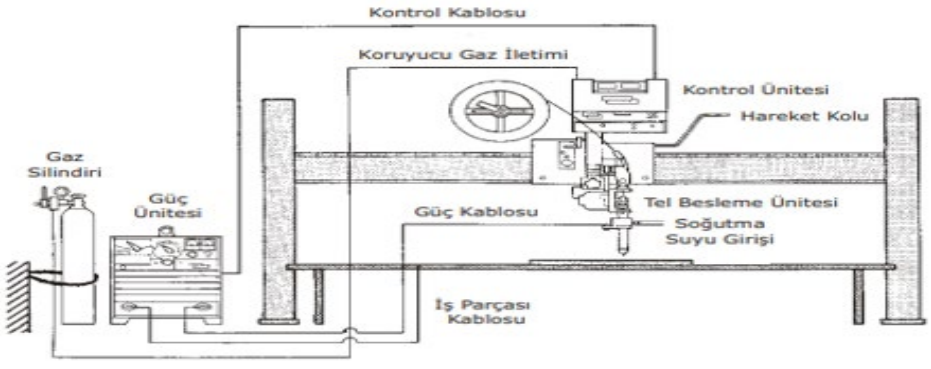
yüksek metal yığma hızına ve de nüfuziyet artışına sebep olur. Düşey ve tavan kaynağı pozisyonlarındaki işler için daha ince kaynak telleri ile birlikte daha düşük çalışma akımları tercih edilmelidir.

1.2.2.6. Gaz altı kaynağı donanımı

Gaz altı kaynağı yöntemi manuel, yarı otomatik ya da otomatik olarak kullanılabilmektedir. Tüm durumlarda da bu yöntem için ana ekipmanları aşağıdaki görüldüğü gibidir:

- Su ya da hava soğutmalı kaynak torcu
- Kaynak teli besleme sistemi
- Kaynak kontrolleri
- Güç merkezi ünitesi
- Koruyucu gaz aktarımı
- Torç ekipmanı
- Kablo ve hortum grupları
- Su devir daimi soğutma sistemi

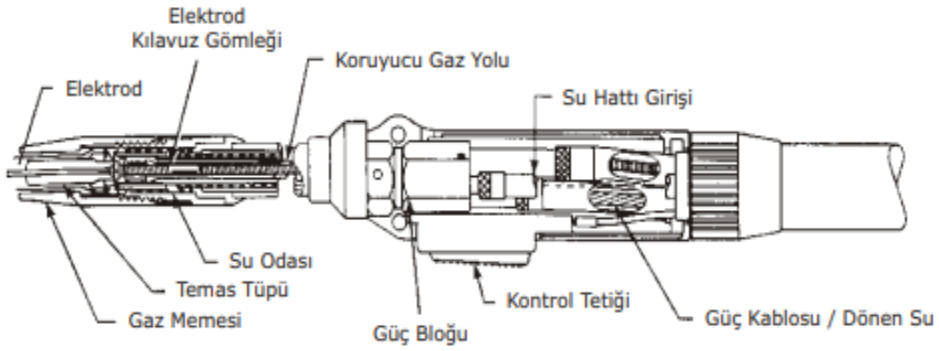
Kaynak torcu kaynak teli ile birlikte koruyucu gazı sağlıklı bir şekilde kaynak bölgesine iletmek ve de elektrik devresini tamamlayarak, kaynak işleminin yapılmasında kullanılır. Kaynak torçları, çalıştıkları iş parçasına, üretim hızına ve de kaynak pozisyonlarına göre, düşük ve yüksek amperlerde çalışabilen hafif ve ağır iş torçları olarak farklı seçeneklere sahiptir. Manuel ve otomasyon kaynaklarındaki ana ekipmanlar Şekil 1.7 de gösterilmektedir.



Şekil 1.7 : Tam otomatik kaynak makina şeması.

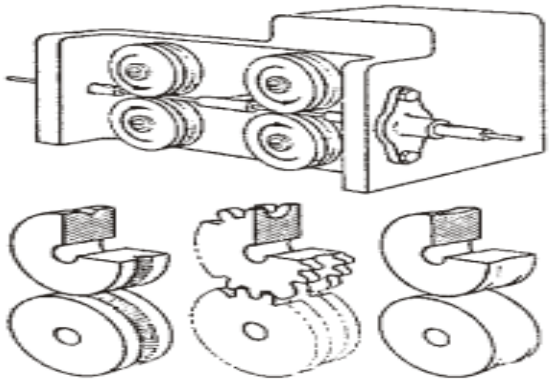
Kaynak torçları, uzun süre kaynak sonrasında ark ısınmasından dolayı etkilenmektedir. Bundan dolayı kaynak torcu devamlı soğutulması gerekmektedir. Kısa zamanlı ve daha düşük akımlarda kullanılması durumunda, koruyucu gaz akımı da yeterli düzeyde soğumayı sağlayabilmektedir. Kaynak tel çapları kalınlaşması durumunda, (250 Amperden yüksek akım) koruyucu gaz soğutması yeterli olmayacaktır. Bu sebeple 250 Amperin üzerinde yapılan kaynak çalışmalarında mutlaka su soğutması yapılmalıdır. Kaynak torç ana ekipmanları aşağıdaki olup Şekil 1.8 de görsel olarak verilmiştir.

- Akım memesi (temas tüpü)
- Nozul
- Kaynak teli iletim kılavuz hortumu
- Gaz aktarım hortumu
- Akım kablosu
- Kontrol tetik



Şekil 1.8 : Kaynak torcunun ana ekipmanları.

Kaynak teli besleme sistemi, birer adet tel sürme motoru, tel iletim makaraları ve de kaynak teli doğrultucu ve de basıncı ayarlayabilen ekipmanlardan oluşmuştur. Tel sürme motoru çoğunlukla, doğru akımla çalışır ve de kaynak telini torç içerisinden iş parçasına doğru taşır. Kaynak teli akışını sağlayan tel sürme motor hızının ayarlanabileceği bir kontrol devresinin de olması gerekir. Şekil 1.9 da tel sürme ünitesi gösterilmiştir.



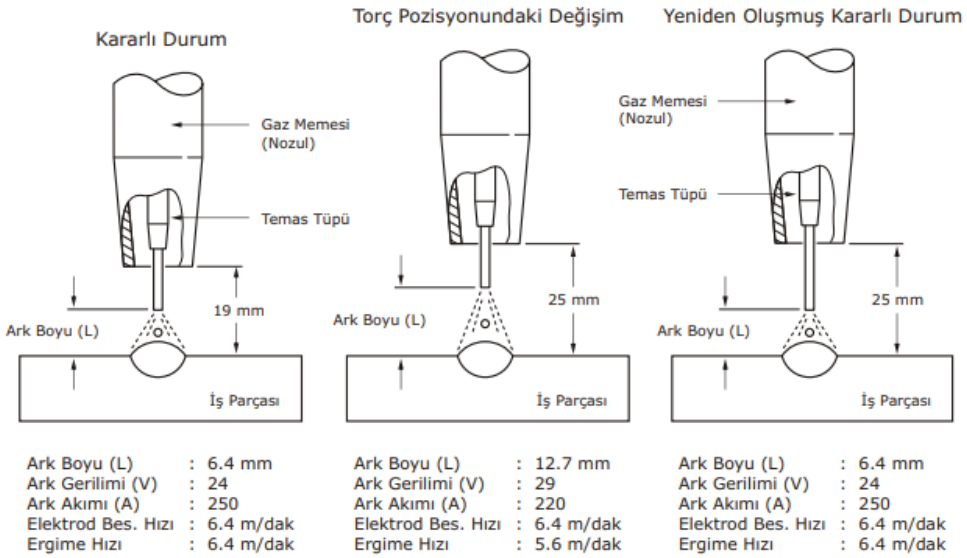
Şekil 1.9 : Dört makaralı kaynak teli besleme ünitesi.

Bazı kaynak makinalarında, tel besleme motoru ve kaynak kontrolü birbirine bağlı grup şeklindedir. Kaynak kontrol sistemi, elektronik karttan aldığı komut ile, tel besleme motoru hızını ayarlamaktadır. Kaynak operatörü tel verme hızını değiştirerek kaynak akımını direkt değiştirmektedir. Tel verme hızı arttırıldığında kaynak akımı da artarken, tel verme hızı azaltıldığından kaynak akımı da azalmaktadır. Torç tetik mekanizmasından gelen komuta göre tel verilmeye başlanır ya da durdurulur.

Kaynak makinalarında, güç merkezi üniteleri, dış tesisattan aldıkları elektrik enerjisini, ark oluşturmak amacıyla, torç ve şase bağlantıları ile devre oluşturarak, iş parçasına ve kaynak teline iletilmesini sağlar. Gaz altı kaynak sistemlerinin çoğunluğunda kaynak teli pozitif kutup bağlantılı olacak şekilde doğru akım kullanılmaktadır. Bundan dolayı, kaynak torcuna güç merkezi ünitesinin pozitif ucu bağlanırken, iş parçasına da negatif uç bağlanır.

Kaynak gerilimi ayarlanarak, ark boyuna tesir edilir. Ark boyu ayarlandıktan sonra kaynak anında ilave bir değişim yapılmasına ihtiyaç yoktur. Kaynak telinin verilme hızı, kaynak operatörü tarafından, kaynağa başlamadan önce ayarlaması yapılır. Akım memesi ile iş parçasının arasındaki mesafe arttığında gerilim ve ark boyu da artmaktadır. Fakat mesafenin artıyor olması ile ark gerilimindeki artış ile beraber akım yani amper de azalmaktadır. Ark akımının azalması kaynak telinin erime hızını azaltmakta olduğundan, kaynak teli, iş parçasına ilk ark başlaması oluncaya kadar yaklaştırılır. Bu şekilde serbest tel boyu artar. Aksi durumda mesafe azaltıldığında gerilimde azalma meydana gelir ve de kaynak akımı artış gösterir. Bu durum ise kaynak telinin erime hızını arttıracak ve de ark

boyunun başlangıç değerine yükselimine sebep olacaktır. Devamında ise serbest tel boyu da azalacaktır. Şekil 1.10 da ark uzunluğunun otomatik olarak ayarlanması verilmektedir.



Şekil 1.10 : Ark uzunluğunun otomatik ayarı.

Kaynak iş parçası ile kaynak teli arasında oluşan elektriksel potansiyele, ark gerilimi adı verilmektedir. Güç merkezi ünitesinde ölçülen ark gerilimi, sonradan ölçümü yapılan torç sistemindeki akım kablosu boyunca iletkenlik düşümünden dolayı sistem içerisindeki en yüksek gerilim değerine sahiptir. Güç merkezi ünitesinde gerilim değişimleri ark boyunu direkt etkilemektedir ve bundan dolayı da güç merkezi sistemi çıkış geriliminde oluşan artış ya da düşüşler ark gerilimini etkisi gibi burada da ark boyunda farklılıklara sebep olur.

İyi kalitede bir kaynak isteniyorsa, düzenli bir gaz akışı ve korumasını sağlayacak bir sistem gerekmektedir. Kaynak torcunun uç kısmına, gazdaki basınç değişimlerinden etkilenmeksizin, istenilen düzeyde ve sabit bir gaz akışı sağlayabilmek için, gaz regülatörleri kullanılmaktadır. Regülatör üzerinde, tank doluluk seviyesini ve gaz basıncını ölçen birer saat bulunmaktadır.

Bilindiği gibi gaz altı kaynak sistemlerinde devamlı beslenen kaynak teli kullanılmaktadır. Nihai hedefi seri çalışma olan, bu sistemler, kaynak tellerini hızlı bir şekilde tüketebiliyor. Bundan dolayı en yüksek çalışma verimini sağlamak için, tel besleme sisteminin, kaynak telini, kaynak torcuna rahat ve seri bir şekilde iletilebilmesi

gerekmektedir. Tel sürme sistemleri çoğunlukla kaynak telinin kıvrılmadan ve rahat bir şekilde beslenmesini sağlayan ve de ağırlıkları 5 kg'dan 25 kg'a kadar olan makara sarımları şeklindedir. Ağırlıkları 50 kg'dan 400 kg'a kadar olan silindir şeklindeki tipleri de mevcuttur. Şekil 1.11 de big pack ve makara olarak kaynak telleri gösterilmektedir.



Şekil 1.11 : Big pack ve makara sarımlarında gaz altı kaynak telleri.

1.2.2.7. Gaz altı kaynak sırasında tüketilen malzemeler

Genel olarak, kaynak çalışmaları sonrası, torç sistemi içerisinde aşınabilen, akım memesi, kılavuz borusu, meme tutucu ve gaz nozulu gibi yedek parça elemanlarının yanında, çalışmaya bağlı olarak tükenen kaynak teli ve koruyucu gaz gibi sarf ekipmanları da vardır. Kaynak telinin, iş parçasının ve de koruyucu gazların kimyasal yapıları, ortaya çıkan kaynaklı alanın da kimyasal yapısını oluşturur. Ortaya çıkan kaynaklı alan ise yapılan kaynak bağlantısının mekanik ve kimyasal özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Kaynak teli ve koruyucu gaz seçilirken aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir:

- İş parçası
- Kaynak sonrası mekanik ve kimyasal özellik beklentisi
- İş parçasının kaynak öncesi çalışma durumu ve temizliği
- Genel şartname ve parçanın çalışma sahası
- Kaynağın pozisyonu
- İstenilen metal aktarım tipi

1.2.2.8. Gaz altı kaynak telleri

Kaynak yapılırken esas olan, kaynak teli ile iş parçasının bileşimi birbiri ile aynı ya da benzer olmasıdır. Kaynak sırasında ortaya çıkabilecek malzeme kayıplarına karşı ya da kaynak havuzuna oksitlenme giderici özellik verebilmek amacıyla kaynak teli bileşiminde bir miktar değişiklik yapılabilir. Değişimler yapılırken, iş parçası bileşiminden çok az farklılık olabilecek şekilde yapılabilir. Bazı özel çalışmalarda, iyi bir kaynak yapısı sağlayabilmek için ana metalden tamamen başka kimyasal yapıda kaynak telleri gerekebilir. Örnek olarak, mangan bronzu kaynağı için en uygun kaynak telleri, alüminyum bronzu ya da bakır-nikel-mangan-alüminyum alaşımlı tellerdir.

Mukavemeti yüksek çelik ve alüminyum alaşımları kaynaklarında kullanılan kaynak telleri yapısı iş parçası malzemesinden farklı olmaktadır. Örnek verilecek olursa 6061 serisi alüminyum alaşımı yapısının dolgu malzemesi olarak kullanılması uygun değildir. Kısacası, kaynak teli alaşımları istenilen kaynak malzemesi yapısını kapsayacak ve de uygun çalışma beklentisini verebilecek şekilde üretilir.

Kaynak telinin yapısında herhangi bir değişiklik yapılması durumunda kaynak teline oksit giderici ve de temizleyici özelliğine sahip farklı elementler eklenir. Bileşime bu şekilde ilaveler, kaynakta meydana gelebilecek gözenekliliği azaltmak ve de kaynak metalinin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılmaktadır. Sağlıklı kaynak dikiş formları ortaya koyabilmek için oksit gidericilerin doğru miktarda eklenmesi gerekmektedir.

Mangan, silisyum ve alüminyum elementleri özellikle çelik kaynak tellerinin yapısında çokça kullanılan oksit gidericilerdir. Silisyum aynı zamanda titanyum ile birlikte, nikel alaşımlı kaynak telleri yapısında kullanılmakta olan başlıca oksit gidericilerdir. Bakır alaşımı kaynak telleri yapısında ise oksit giderme amaçlı titanyum, silisyum ve fosfor kullanılmaktadır.

Gaz altı kaynak yönteminde kullanılan kaynak telleri çapları, toz altı teli, elektrot ve özlü kaynak tellerine göre daha küçük çapta üretilmektedirler. Çoğunlukla gaz altı kaynak telleri çapları 0.8 ile 1.6 mm arasında olmaktadır. Kullanıcı taleplerine göre üretici firmalar 0.5 ve 3.2 mm aralıklarında kalın ve ince çaplı özel üretimlerde yapabilmektedir. Kaynak teli çapı küçülmesi ve amperin yüksek olması, kaynak teli verme hızlarının da

yüksek tutulmasını gerektirmektedir. Tel verme hızları, magnezyum esaslı kaynak telleri için üst değer olarak 580 mm/s ye kadar çıkabilirken, diğer metallerde bu hız 45 ile 350 mm/s aralığında olmaktadır.

Bu şekilde yüksek tel verme hızlarında kaynak telleri üretimleri sırasında temperlenme işlemine tabii tutulmuş, uzun metrajlı ve devamlı tel haline getirilmiştir. Bu işlemler, kaynak telinin devamlı ve yumuşak bir şekilde iletilmesini sağlar.

Kaynak teli çapları küçüklüğü sebebiyle kaynak telleri yüzey/hacim oranı yüksektir. Kaynak teli üzerinde kalan herhangi yağlayıcı ve de çekme belirtisi kaynak işleminin kimyasal ve mekanik özelliklerinin bozulmasına sebep olabilir. Bu şekilde yüzey üzerinde kalan istenmeyen maddeler çelik ve alüminyum esaslı malzemelerde kaynak işlemi sonrası gözenekliliğe sebep olurken, mukavemeti yüksek çeliklerde ise kaynak malzemesinde ya da ITAB da çatlamaya sebep olabilirler. Üretici firmalar özellikle bu hususları da dikkate alarak kaynak teli yüzeylerinde istenmeyen maddelerin tutunamayacağı yüksek kalitede yüzeye sahip üretim yapmaktadırlar. Tablo 1.1 de farklı malzemeler için AWS normuna göre önerilen kaynak telleri verilmektedir.

Gaz altı kaynak yöntemi birleştirme amacının yanı sıra, malzemelerin aşınan yüzeylerini doldurmak ve malzeme yüzeyine korozyon ya da aşınma dayanımı sağlamak ya da farklı bir sebep için yüzeyde dolgu yapmak için de kullanılmaktadır. Yüzey dolgusu anında kaynak telinin iş parçası ile bağdaşması ve karışması bu işler için en önemli hususdur. Uygulanan kaynak tekniği ve ark karakteri bunu sağlıyor olmalıdır. Gaz altı kaynak yönteminde metal aktarımı tipine göre %10 ila %50 arasında olan karışım oranları yakalanabilmektedir. Bu sebeple istenen düzeyde, yüzey dolgusu sağlayabilmek için, dolgu işlemleri tekniğe uygun olarak birden fazla pasolar halinde yapılması gerekir.

Tablo 1.1 : Farklı alaşımların kaynağında önerilen ilave metaller.

Metallar	Gösterilişi	Elektrotlar	AWS
Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	1100	ER1100, ER4043	A5.10
	3003,3004	ER1100, ER5356	
	5052,5454	ER5554,ER5356,ER5183	
	5083,5086,5456	ER5556,ER5356	
	6061,6063	ER4043,ER5356	
Magnezyum Alaşımları	AZ10A	ERAZ61A, ERAZ92A	A5.19
	AZ31B,AZ61A,AZ80A	ERAZ61A, ERAZ92A	
	ZE10A	ERAZ61A, ERAZ92A	
	ZK21A	ERAZ61A, ERAZ92A	
	AZ63A,AZ81A,AZ91C	ERAZ92A	
	AZ92A,AM100A	ERAZ92A	
	HK31A,HM21A,HM31A	EREZ33A	
	LA141A	EREZ33A	
Bakır ve Bakır Alaşımları	Ticari saflıkta bakır	ERCu	A5.7
	Silisyum Bronzu	ERCuSi-A	
	Cu-Ni Alaşımı	ERCuNi	
	Alüminyum Bronzu	ERCuAl- A1,-A2,-A3	
	Kalay Fosfor Bronzu	ERCuSn-A	
Nikel ve Nikel Alaşımları	Ticari saflıkta Nikel	ERNi	A5.14
	Ni-Cu Alaşımı (Monel400)	ERNiCu-7	
	Ni-Cr-Fe Alaşımı (Inconel600)	ERNiCrFe-5	
Titanyum ve Titanyum Alaşımları	Ticari saflıkta Titanyum	ERTi-1,-2,-3,-4	A5.16
	Ti-0.15Pd	ERTi-0.2Pd	
	Ti-5Al-2.5Sn	ERTi-5Al-2.5Sn veya ERTi	
Östenitik Paslanmaz Çelikler	201	ER308	A5.9
	301,302,304,308	ER308	
	304L	ER308L	
	310	ER310	
	316	ER316	
	321	ER321	
	347	ER347	
Çelikler	Sıcak veya soğuk haddelenmiş alaşımsız karbon çelikleri	E70S-3, E70S-1	A5.18
		E70S-2, E70S-4	
		E70S-5, E70S-6	
Çelikler	Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler	E80S-D2	A5.28
		E80S-Ni1	
		E100S-G	

1.2.2.9. Gaz altı kaynak koruyucu gazları

Metal malzemelerin büyük bir kısmı yapısı gereği oksit oluşturma eğiliminden dolayı oksijenle birleşik oluşturmaya meyillidir. Aynı zamanda metal malzemeler, metal nitrit bileşikleri oluşturmak için de azotla birleşmeye çok daha düşük birleşme eğilimi göstermektedirler. Karbon monoksit gazı oluşturmak amacıyla, oksijen ile erimiş çelik içerisindeki karbon, tepkimeye girerler. Bu tepkimeler sonucunda ortaya çıkan ürünler aşağıda verilen kaynak hatalarının ortaya çıkmasına sebep olur:

a) Oluşan oksitlerin yüksek ergime sıcaklığı sebebiyle ergime hatası
b) Yapıda oluşan boşluk, oksit ve de nitritler sebebiyle ortaya çıkan mukavemet düşüşü
c) Oksit ve nitrit bileşiklerinin meydana getirdiği kaynak metalinde gevrekleşme

%80 azot ve %20 oksijenden oluşan atmosfer etkisi sebebiyle kaynak sırasında rahatlıkla bu tepkimelerin ürünleri oluşmaktadır. Atmosferin olumsuz etkilerinden, kaynak havuzunu korumak amacıyla koruyucu gazlar kullanılmaktadır. Gaz koruması bu durumda örtülü kaynak elektrotlarındaki örtünün vazifesini yerine getirmektedir. Asıl vazifesi haricinde koruyucu gazların kaynak işlerine ve de ortaya çıkan kaynak dikişine aşağıdaki faktörler yoluyla önemli katkıları bulunmaktadır:

a) Ark karakteri
b) Metal aktarımı çeşidi
c) Kaynak dikiş formu ve nüfuziyet
d) Kaynağın uygulama hızı
e) Yanma olukları meydana gelme durumu
f) Yüzey temizliğine etki
g) Ortaya çıkan kaynak bölgesinin mekanik özelliği

Koruyucu olarak soy gaz etkisi

Argon ve Helyum, periyodik tabloda yer alan ametal özelliğe sahip soy gazlardan bazılarıdır. Her iki gaz ve bu gazların oluşturduğu karışımlar, paslanmaz çelik, düşük alaşımlı çelik ve demir dışı metal malzemelerin kaynağında kullanılmaktadırlar. Kaynak işlemlerinde argon ve helyum gazlarının, kaynak bölgesine oluşturduğu etkiler aşağıda verilmiştir:

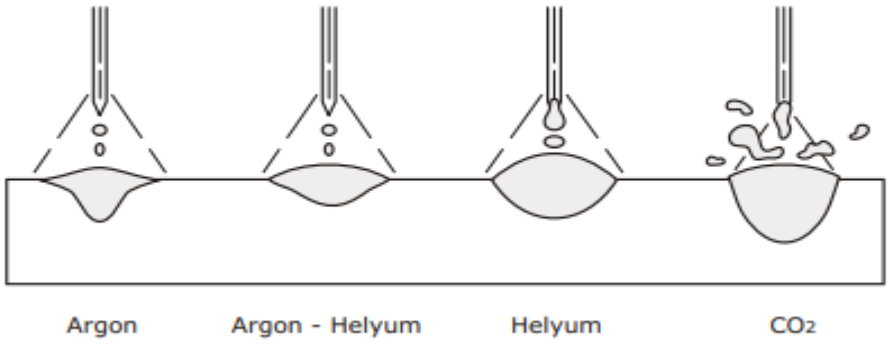
a) Öz kütle (Yoğunluk)

b) Isı iletimi

c) Ark karakteri

Bilindiği üzere helyum gazı yoğunluğu, hava yoğunluğunun 0.14 ü kadar iken, argon gazının yoğunluğu ise havanın yoğunluğunun 1.4 katı kadardır. Helyum gazı ile yapılan gaz korumasının, argon gazı ile aynı korumayı sağlaması isteniyorsa, helyum gazı debisi, argon gazı debisinin üç katı kadar yükseğinde olması gerekir. Bunun nedeni ise, koruyucu gazların yoğunluğu ne kadar yüksek olursa, arkın korunmasında ve kaynak bölgesinin sarmalanmasında koruyucu gaz etkisi de o kadar fazladır.

Helyum gazı, argon gazına göre daha fazla ısı iletimine sahiptir. Bu sayede, ark plazmasında daha üniform bir enerji dağılımı olması sağlanır. Argon gazının meydana getirdiği ark plazmasının iç bölgesinde aşırı bir enerji bulunmaktadır. Bu bölge ısı enerjisinin daha az olduğu bir manto ile sarılmıştır. Oluşan fark kaynak dikiş formunu büyük oranda etkilemektedir. Helyum gazı arkı daha derin ve daha geniş yuvarlak şeklinde kaynak alanı meydana getirir. Argon gazı, arkı ise emzik şeklinde daha sivrimsi bir nüfuziyet alanı oluşturur. Şekil 1.12 de kullanılan koruyucu gazların dikiş şekline ve nufuziyete etkileri gösterilmektedir.



Şekil 1.12 : Koruyucu gaz farklılıklarının kaynak dikiş formuna ve nüfuziyete etkileri.

Sabit bir tel verme hızında, argon gazı ark gerilimi, helyum gazı ark geriliminden büyük ölçüde düşük olmaktadır. Sonuç olarak argon gazının arkında, ark boyu değişimine bağımlı olarak, geriliminde çok az bir değişim meydana gelecektir. Bu sebeple de argon gazı arkı, helyum gazı arkına göre daha kararlı yapıda olacaktır. Argon gazı arkı, ara akım

üstündeki akım seviyelerinde plazma sprey ark aktarımı oluşturmaktadır. Helyum gazı arkı yeterli akım ve gerilim seviyesinde iken, büyük damlalı metal aktarımı oluşturmaktadır. Bundan dolayı, helyum gazı arkı, argon gazı arkına göre daha fazla sıçrantıya ve kötü bir kaynak dikiş formuna sebep olur. Kolay bir şekilde iyonize olabilen argon gazı, bu özelliği ile ark tutuşmasını basitleştirir ve de ters kutuplama yapılarak kullanıldığında harika bir yüzeysel temizlik etkisi sağlayabilir.

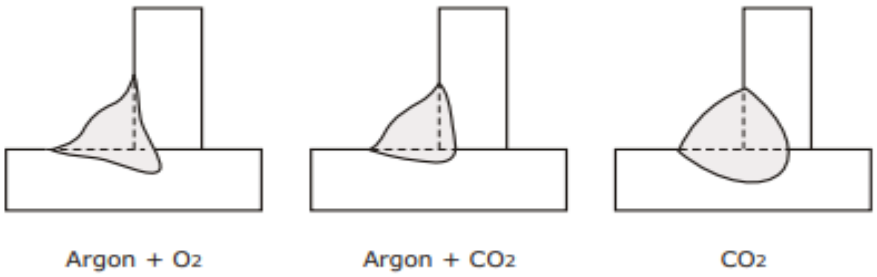
Koruyucu gaz olarak argon – helyum karışımları

Saf argon gazı genellikle demir dışı metal kaynağı uygulamalarında kullanılır. Saf helyum gazı ise dar bir ark kararlılığında olmasından dolayı kullanım alanı bazı özel kaynak işleri ile sınırlı kalmıştır. Buna rağmen helyum gazı korumasıyla yapılan kaynak işlerinde çivi gibi saplanmış derinlikte ve yüzey genişliğinde nüfuziyeti yüksek kaynaklı alan elde edilebilmektedir. Bu sebeple her iki gaz türünün belirli oranlarda karışımı yapılarak argon helyum gaz karışımları kullanılmaktadır. Şekil 1.12 de verildiği üzere kaynak dikiş formu kalitesinde artış gibi, argon gazının sprey ark geçişi sağlayabilme özelliğinden faydalanılır. Kısa devre ark aktarımında, daha sağlıklı erime sağlayabilmek için %60 ila %90 arasında helyum gazı içeren argon gazı ilaveli karışım gazlar kullanılmaktadır. Bazı durumlarda, daha yüksek ısı girdisi elde edilmek için, CO_2 gazı ilavesi yerine helyum gazı ilavesi yapılır. Özellikle Paslanmaz ve düşük alaşımlı çelikler de yapılan helyum ilavesi, kaynak dikişinin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilecek reaksiyonları meydana getirmemesidir.

Koruyucu gaz olarak argon - helyum - oksijen - karbondioksit karışımları

Saf argon gazı ve belirli oranlarda helyum gazı içeren karışımları, demir dışı metallerin kaynağında çok iyi sonuçlar vermektedir. Fakat, saf argon ve saf halde helyum gazları demir esaslı metallerin kaynağında çok iyi sonuçlar verememektedir. Bu durumda kaynak arkı kararsızlık eğilimi göstermektedir. Ayrıca saf helyum gazı ile yapılan kaynaklarda fazlaca sıçrantı meydana gelmektedir. Bununla beraber, saf argon gazı kullanımında büyük olasılıkla yanma olukları meydana gelecektir. Bu durumda argon gazına yapılacak %1-5 O_2 ya da %3-10 CO_2 (en fazla %25 CO_2) ilaveleri büyük ölçüde kaynakta düzelme sağlar. Saf argon ve helyum gazlarına ilave edilecek O_2 ve CO_2 gazları oranları, iş parçasının yüzey durumuna (tufal gibi), bağlama formuna, kaynağın pozisyonuna ve de iş parçasının kimyasal yapısına bağlıdır. Çoğunlukla %3 O_2 ya da %9 CO_2 oranları bu

değişkenlerin yüksek olasılıkla etkilerini sağlayabilecek karışım oranlardır. Argon gazına CO_2 gazı ilavesi ile birlikte dikiş formunda da iyileşme meydana gelecektir. Şekil 1.13 de ilave gazların dikiş şekline ve nüfuziyete etkileri görülmektedir.



Şekil 1.13 : Karışım gazlarının, kaynak dikişi formuna ve nüfuziyete etkileri.

Koruyucu gaz olarak saf karbondioksit gazları

Koruyucu gaz olarak saf karbondioksit gazı, ağırlıklı düşük alaşımlı ve de alaşımsız çeliklerin kaynağında tercih edilen aktif özellikte bir gazdır. Koruyucu gaz olarak karbondioksit kullanılmasının sebebi:

a) Yüksek kaynak hızları yakalamak,
b) Yüksek nüfuziyet sağlayabilmek,
c) İmalat maliyetlerini azaltmak.

Karbondioksit gazı kullanımında metal aktarımı kısa devre ark ve büyük damlacık şeklindedir. Sprey ark aktarımı argon gazı kullanılması durumuna has özellik olup bu özelliği saf karbondioksit ile sağlamak mümkün olmamaktadır. Büyük damlacık aktarımı ile oluşan kaynak arkı olabildiğince kararsızdır ve de yüksek miktarlarda sıçrantıya sebep olmaktadır. Sıçrantıyı minimum seviyeye getirmek için kaynak çalışma şartlarının aşırı kısa arkı oluşturarak düşük gerilim seviyesine getirilmesi gerekmektedir.

Koruyucu gazlarda argon gazı oranı yüksek koruyucu gaz ile, saf karbondioksit gazı karşılaştırıldığında, saf karbondioksit gazı sağlanan kaynak arkı, kaba bir dikiş formu yanında çok iyi bir nüfuziyet elde edilmesini sağlar. Kısa ark sebebiyle kaynak dikişi yanlarında düşük düzeyde yıkama etkisi ortaya çıkmaktadır. Bu sayede çok iyi kaynak

birleştirmeleri sağlanabilirken, kaynak arkının oksitleyici özellikleri sebebiyle de kaynak dikişinin mekanik olarak olumsuz etkilenmesi de söz konusudur.

Koruyucu gazların seçilmesi

Tablo 1.2 ve Tablo 1.3 te iş parçası türüne bağlı şekilde uygun koruyucu gaz tipleri verilmektedir.

Tablo 1.2 : Sprey ark sağlanmasında kullanılan koruyucu gaz tipleri

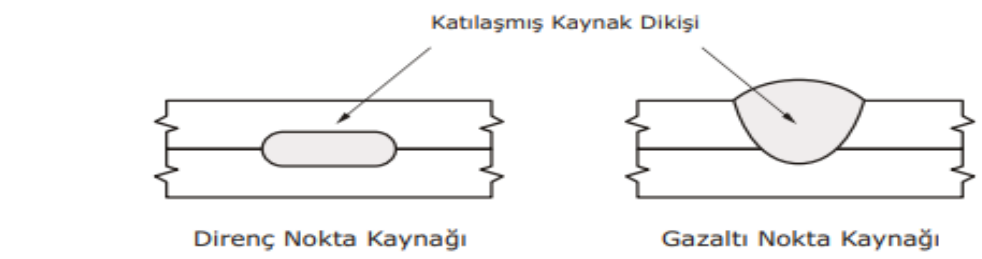
Ana Metal	Koruyucu Gaz	Üstünlükleri
Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	Argon	25mm'den küçük kalınlıklarda en iyi damla iletimi ve en az sıçrama oluşturur.
	%35 Ar + %65 He	25-75mm aralıklarda Saf Argona göre daha fazla ısı girdisi elde edilir. 5xxxx serisi Al-Mg alaşımlarında erime özelliğinde iyileşme sağlar.
	%25 Ar + %75 He	75mm'den büyük kalınlıklarda en yüksek ısı girdisi, gözenek oluşumun en düşük seviyede tutulmasına olanak sağlar.
Magnezyum	Argon	Mükemmel temizlik etkisi yaratır.
Alaşımsız Çelikler	Argon + %1-5 O_2	Arkın kararlılığını arttırır, daha akışkan ve kontrol edilebilir bir kaynak banyosu oluşturur, iyi bir besleme ve dikiş profili sağlar, yanma oluğunu en aza indirir, Saf Argona göre daha hızlı kaynak imkanı 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 oluğunu en az düzeye indirir, iyi bir tokluk sağlar.
Paslanmaz Çelikler	Argon + %1 O_2	Arkın kararlılığını arttırır, daha akışkan ve kontrol edilebilir bir kaynak banyosu oluşturur, kalın paslanmaz çeliklerde yanma oluğu en aza indirir.
	Argon + %2 O_2	İnce paslanmaz çeliklerde %1 O_2 ' li karışıma göre daha iyi bir ark kararlılığı ve birleşme sağlar.
Bakır, Nikel ve Alaşımları	Argon	İyi bir ıslanma sağlar, 3mm kalınlıklara kadar kaynak metalinin akışkanlığını arttırır.
	Argon + Helyum	%50-75 He karşımı kalın parçalardaki ısı kaybını karşılayacak derecede yüksek ısı girdisi sağlar.
Titanyum	Argon	İyi bir ark kararlılığı ve kaynakta en az kirlenme sağlar. Kaynak alanının arkasından hava kirlenmesini önlemek için soy gaz altılığı gerekir.

Tablo 1.3 : Kısa devre arkın sağlanmasında kullanılan koruyucu gaz tipleri.

Ana Metal	Koruyucu Gaz	Üstünlükleri
Alaşımsız Çelikler	%75 Ar + %25 CO_2	3mm kalınlıklara kadar yüksek kaynak hızları ve en az distorsiyon ve en az sıçrama sağlar.
	%75 Ar + %25 CO_2	3mm'den kalın parçalarda en az sıçrama ve temiz kaynak sağlar. Düşey ve tavan pozisyonunda iyi banyo kontrolü elde edilir.
	CO_2	Daha derin nüfuziyet ve daha yüksek kaynak hızı elde edilir.
Paslanmaz Çelikler	%90 He + %7.5Ar + %2.5CO_2	Korozyon direnci üzerinde kötü bir etkisi yoktur. ITAB dar olup yanma oluğu oluşmaz. En az distorsiyon sağlar.
Düşük Alaşımlı Çelikler	%60 -70He + %25-35Ar + %4.5CO_2	En az reaktivite, mükemmel tokluk ve ark kararlılığı, ıslatma özelliği ve dikiş profili sağlar. Çok az sıçrama oluşur.
	%75 Ar + %25 CO_2	Orta derecede tokluk, mükemmel ark kararlılığı, ıslatma özelliği ve dikiş profili sağlar. Çok az sıçrama oluşur.
Alüminyum, Magnezyum, Nikel ve bunların alaşımları	Argon Argon + Helyum	Saç parçalarda Argon başarılı bir şekilde kullanılır. 3mm'den büyük kalınlıklarda ise Ar + He karışımı tercih edilir.

1.2.2.10 Gaz korumalı nokta kaynak yöntemi

Gaz korumalı nokta kaynak yöntemi, devamlı kaynak yöntemlerinden olup, iş parçalarının tek bir noktadan eritilmeleri suretiyle, birleştirme uygulamasıdır. Nokta kaynak yöntemi, 5mm ve altında saçların birleştirilmesinde ve de çoğunlukla otomobil gövde saçlarında kullanılırlar. Kaynak işlemi öncesi, temas kısımlarının temizliği yapıldığı takdirde ilave bir hazırlık yapılmasına gerek olmamaktadır. Üstte bulunan saç malzeme, matkap ya da zımba ile delinerek, altta bulunan saç malzemeye kaynak arkı yönlendirilmesiyle, kalın kesitli saçların da bu şekilde nokta kaynağı yöntemi uygulanabilir. Gaz korumalı nokta kaynak yöntemi ile elektrik direnç nokta kaynak yöntemi arasındaki fark Şekil 1.14 te verilmektedir.



Şekil 1.14 : Gaz altı nokta kaynak yöntemi ile elektrik direnç nokta kaynak yöntemi arasındaki fark.

Elektrik direnç nokta kaynak yönteminde, iş parçalarının temas noktalarından erime ve karışımlarına sebep veren elektrik direnç ısınması ve de basınç uygulanması işlemiyle yapılır. Gaz korumalı nokta kaynak yönteminde ise, ark üstte bulunan parçadan, tabandaki parçaya olacak şekilde iletilmesi suretiyle, tabandaki parçanın eriyerek üstte bulunan parça ile kaynaklanmasına sebep olur. Gaz korumalı nokta kaynak yönteminin sağladığı en ileri avantajı kaynak bağlantısının bir tarafından yapılabilmesidir. Gaz korumalı nokta kaynak yöntemi, normal gaz altı kaynağından çokta farklı olmamakla birlikte, detay sayılabilecek üç farklı ayırt edici özellik sayılmaktadır. Bunlardan ilki, bu yöntemde kaynak torcunun hareket ettirilmeden, iş parçası üzerine sabit tutulmasıdır. Buna bağlı olarak, iş parçasına bastırılan torç içerisinden koruyucu gaz çıkışında zorluk yaşanmaması için üstünde gaz çıkışı delikleri olan özel gaz dağıtıcılar kullanılması gerekmektedir. İlave olarak sistem üzerinde kaynak işlemi zamanını ayarlayabilen sayaçların ve de tel verme hızı ayar düğmelerinin olması gerekmektedir. Bu kaynak uygulaması sayesinde, alüminyum, bakır ve magnezyum esaslı malzemelerin yanı sıra, paslanmaz ve yumuşak çeliklerin birleştirilmesi yapılabilir. Kalınlıkları farklı olan malzemelerin, ince olan malzeme üstte olması kaydıyla, bu uygulama ile kaynağı yapılabilmektedir.

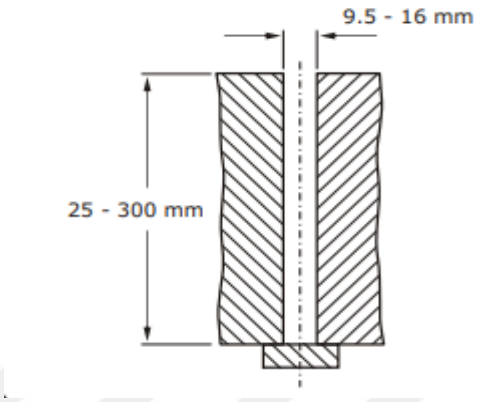
Gaz korumalı nokta kaynak işlemi, çoğunlukla oluk pozisyonu için uygulanmaktadır. Fakat farklı bir durum olarak tasarımsal değişiklikler yapıldığında yatay pozisyonda da iç köşe kaynakları da yapılabilir. Tablo 1.4 te, çelik malzemelerin gaz korumalı nokta kaynak yönteminde, CO_2 gazı koruması yapılarak, oluk tipi kaynak pozisyonunda, 6.30mm çapta dikiş oluşturacak şekilde, ön ayar olarak seçilebilecek kaynak verileri gösterilmiştir.

Tablo 1.4 : Çelik malzemelerde gaz korumalı nokta kaynağı verileri.

Elektrot Çapı (mm)	Saç Kalınlığı (mm)	Kaynak Zamanı (Saniye)	Akım (A)	Gerilim (V)
0.80	0.6	1	90	24
	0.8	1.2	120	27
	0.9	1.2	120	27
0.90	1.0	1	190	27
	1.5	2	190	28
	1.6	5	190	28
1.2	1.8	1.5	300	30
	2.8	3.5	300	30
	3.2	4.2	300	30
1.6	3.2	1	490	32
	4.0	1.5	490	32

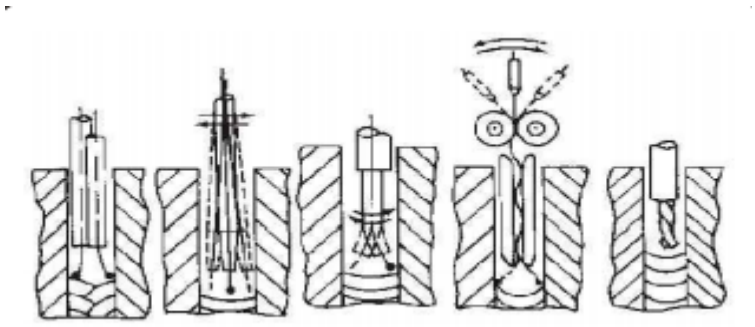
1.2.2.11 Dar aralık kaynak yöntemi

Bu birleştirme işleminde, ortalama 13mm gibi dar bir kaynak ağız açıklığına sahip, yüksek et kalınlığındaki parçalara, alın alına olacak şekilde oluk pozisyonunda birden fazla pasolarda uygulanan bir kaynak yöntemidir. Yöntemin görsel olarak bağlantı şekli, Şekil 1.15 te gösterilmiştir.



Şekil 1.15 : Dar aralık kaynağında kullanılan bağlantı şekli.

Bu yöntem, özlü kaynak telleri ile gaz korumalı kaynak yöntemi de dahil çok fazla kaynak uygulamasında kullanılmaktadır. Düşük alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin kaynağında distorsiyon yaşanmaması için en etkili kaynak uygulamasıdır. Gaz altı kaynak yönteminde, dar aralık kaynağı yapılırken, kaynak ağzı yan cidarlarında doğru erime yapabilmek için kaynak telinin doğru boyda ve mesafede olması gerekmektedir. Bunun için birbirinden farklı tel besleme sistemleri türetilmiş olup, bu sistemlere dair gösterimler Şekil 1.16. da verilmektedir.



Şekil 1.16 : Dar aralık gaz altı kaynağında değişik elektrot besleme teknikleri.

Dar aralık kaynak yönteminde geçerli kaynak değişkenleri normal gaz altı kaynağı değişkenlerine benzerdir. Bu değişkenler Tablo 1.5 te verilmektedir.

Tablo 1.5 : Dar aralıklı kaynak yönteminde değişkenler.

Kaynak Pozisyonu	**Aralık Genişliği (mm)**	**Akım (A)**	**Gerilim (a) (V)**	**Kaynak Hızı (mm/sn)**	**Koruyucu Gaz**
Yatay	9.5	260 – 270	25 – 26	17	Ar + CO_2
Yatay	10 – 12	220 – 240	24 – 28 (b)	6	Ar + CO_2
Oluk	9.5	280 – 300	29 (b)	4	Ar + CO_2
Oluk	12.5	450	30 – 37.5	6	Ar + CO_2
Oluk	12 – 14	450 – 550	38 – 42	8	Ar + CO_2

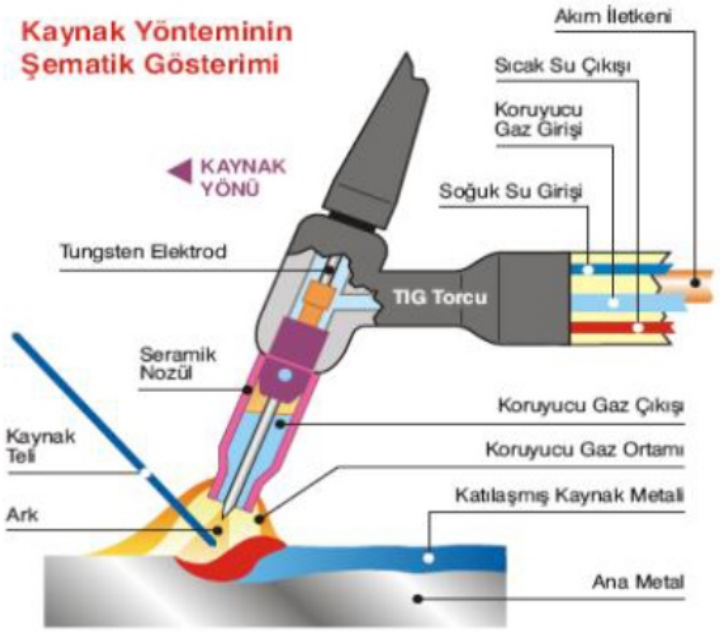
(a) Doğru akım, elektrot pozitif kutup.
(b) 120 darbe/saniye' deki değerler.

Yöntemde kaynağın kalitesi, kaynak değişkenlerindeki en küçük bir ayar değişiminden büyük oranda etkilenir. Sistem üzerinde var olan yüksek gerilim, yanma olukları oluşmasına sebep olacak ve devamındaki pasolarda oksit birikmesine ya da yetersiz ergimeye sebep olur. Yine gerilimin yüksek olması, kaynak ağzı yan cidarlarında metal birikimine ve de birikim ise akım memesinin zedelenmesine sebep olur. Bundan dolayı, darbeli kaynak makinaları, geniş oranda kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Bu sistemeler düşük gerilimlerde, sabit bir sprey ark geçişi sağlarlar. Dar aralık kaynağı uygulamasında, diğer gaz altı kaynak yöntemleri gibi farklı koruyucu gazlar kullanılmaktadır. %80 Argon ve %20 CO_2 gazları karışımı, düzgün bir ark karakterinin yanı sıra, kaliteli dikiş formu ve nüfuziyet sağladığından büyük oranda tercih edilmektedir. Dar aralık kaynak uygulamasında, ilave koruyucu gazın, kaynak havuzuna aktarılması zor olduğundan farklı tipte meme geliştirilmektedir.

1.2.3. TİG (Tungsten İndirgeyici Gaz) kaynak yöntemi

Tungsten İndirgeyici Gaz (TİG), sanayi ağzıyla, argon kaynağı da denilen, yabancı dilde tabiri ile TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağı denmektedir. Bu kaynak yönteminde atmosfer etkilerinden saf helyum ya da argon gazları kullanılırken, işleyiş olarak ise iş parçası ile tungsten elektrot arasında ark meydana gelmektedir. TİG kaynağında, iş parçasının ergitilmesi suretiyle malzeme-malzeme kaynağı da yapabilme imkanı sağlanırken, genellikle kaynak operatörü tarafından ilave kaynak metali vermek suretiyle kaynak işlemleri yapılmaktadır. TİG kaynağı makinalarında, kaynak torçları su ya da koruyucu

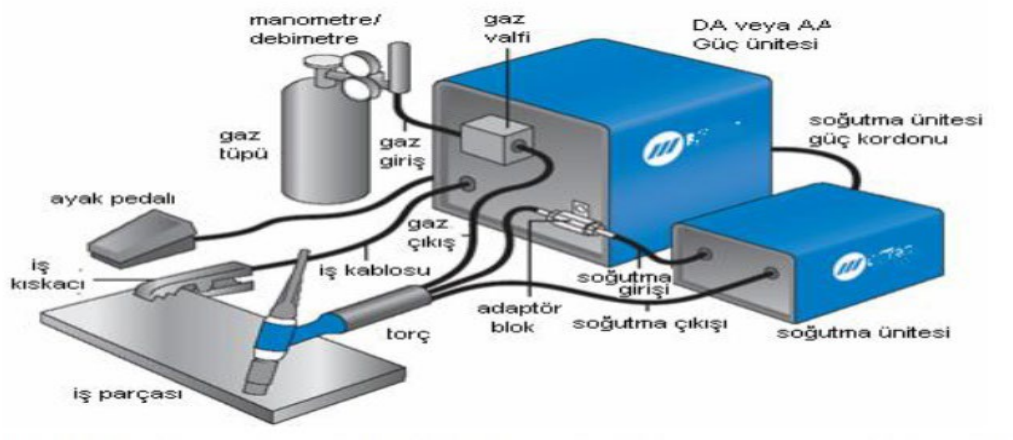
gaz ile soğutulmaktadır. İlk zamanlarda bu yöntem için koruyucu gaz olarak, helyum gazı kullanılmış, daha sonralar da ise argon gazı kullanılmaya başlanmıştır. Argon gazı havadan ağırken, helyum gazı ise hafiftir. Bundan dolayı helyum gazı hafifliği sebebiyle uçmakta ve koruyucu özellikleri yetersiz kalmaktadır. Argon gazı ise, ağırlığı sebebiyle kaynak arkını ve iş parçasını çok daha iyi korumaktadır. İletkenliği yüksek malzemelerde helyum gazı kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise aynı akım düzeylerinde çok daha fazla ark gerilimi vermektedir. TİG kaynak yöntemi, öncelikle hassasiyet gerektiren demir dışı metallerin ve paslanmaz çeliklerin birleştirme, dolgu ve tamir bakım kaynaklarında tercih edilir. İlave metal sürekli kaynak arkı içerisinde tutulabilir. Şekil 1.17 de TİG kaynağı torcu şematik gösterimi yapılmıştır.



Şekil 1.17 : TİG kaynak yöntemi ekipmanları.

Çoğunlukla doğru akım kullanılırken, tungsten elektrotun ergimemesi için (-) negatif kutupta kaynak yapılmaktadır. Alüminyum ve magnezyum alaşımlarında alternatif akım kullanılmaktadır. Sebebi ise, bu alaşımlarda kolaylıkla oluşan oksit tabakasının kaldırılabilmesi için alternatif akım ile birlikte yön değişimi sağlanarak, oksit tabakasının kırılabilmesi ve kaynak yapılması sağlanır. Direkt kutuplama (doğru akım, elektrot negatif kutup) derin nüfuziyete sahip kaynaklar elde edilebilir ancak ergimiş kaynak havuzunda elektriksel temizlik etkisi olmayacaktır. Bundan dolayı iş parçası yüzeyinde oksit tabakası bulunan, alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağında bu şekilde

bir kutuplama tercih edilmez. Paslanmaz çelik, bakır ve bakır alaşımlarının kaynağında direkt kutuplama yapılabilir. Ters kutuplama kullanılarak, elektrotun fazla ısınması sağlanır ve bu sayede alüminyum ve magnezyum alaşımlarından oluşan ince saçların kaynağı yapılabilir. Şekil 1.18 de su soğutmalı bir TİG kaynak makinası ekipmanları gösterilmiştir.



Şekil 1.18: Su soğutmalı bir TİG kaynak ekipmanının temel elemanları.

TİG kaynak yönteminin avantajları şu şekildedir:

1- Yüksek kaynak hızları elde edilebilir.
2- Çok dar bir alanda ısınma sağlanabilir.
3- Dar alanlarda ısınma sağlanabildiğinden ısı etkisi ile çarpılmalar engellenir.
4- Temiz kaynak dikişleri elde edilir.
5- Otomasyon ve seri üretime uygundur.

Şekil 1.19 da TİG kaynağı işlemi gösterilmektedir.



Şekil 1.19: TİG kaynak uygulaması.

1.2.4. Oksi – asetilen kullanılarak kaynak yöntemi

Yanıcı özellikte bir gazın, oksijen kullanılarak yakılması sonucu ortaya çıkan ısı ile metal malzemenin eritilmesi ve devamında da kaynağının yapılmasında yakıt olarak en çok asetilen gazı kullanıldığından bu yönteme oksi asetilen kaynağı yöntemi denmektedir. Asetilen ile oksijen arasındaki yanma reaksiyonu sonucu takribi 3100-3200^{o}C sıcaklık görülmektedir. Çoğunlukla %50 oksijen ve %50 asetilen olacak şekilde oranlarda karışım yapılarak yöntem uygulanır. Yüksek ısınma sonucu oluşan kaynak havuzu, hedeflenen kaynak dikişi hizasında ilerletilirken kaynak havuzuna çoğunlukla kaynak telinin damlatılması sonucu istenilen oranlarda dolgu yapılabilir.

1.2.4.1. Oksi – asetilen uygulamasında önemli hususlar

Metal bir malzeme, ancak ısıtılması suretiyle ergime sıcaklığının üzerine çıkarıldığı anda kaynaklanabilmesi mümkün olmaktadır. Asetilen ve oksijen gazlarının şaloma ile yakılması sonucunda gerekli olan bu ısınma sağlanmaktadır. İki tipte şaloma mevcuttur:

Basıncı eşit tipte şaloma: Asetilen ve oksijen gazları şaloma karıştırıcısına gaz regülatörinden çıktıkları basınç ile ulaşırlar. Asetilen ve oksijen gazları basınçları hemen hemen birbirlerine yakın düzeydedir. Kalın parça kaynaklarında bu tipte şalomlar kullanılmaktadır.

Enjektöre sahip tipte şaloma: İnce kesitli malzemelerin kaynağında bu tipte şalomalar kullanılır. Düşük basınçta olan asetilen gazı, daha yüksek basınçta olan oksijen gazı hızından faydalanılarak şaloma ucuna taşınır.

Yanıcı (alev) gaz geri tepmesi: Gaz geri tepmesi ile devamlı geri yanmanın birlikte meydana gelmesidir. Oluşan alev, ihtimal dahilinde yanıcı gaz tüpüne kadar ulaşabilir. Bu durum çoğunlukla gazın geriye doğru akışının varlığının anlaşılmayıp, şaloma ucunda, alevin başlatılmasıyla birlikte ortaya çıkan geri yanma ile meydana gelir. Bu şekilde geri tepme durumu yaşandığında büyük olasılıkla yanıcı gaz taşıyan hortum patlayacak ve de ciddi şekilde can ve mal kayıplarına neden olacaktır. Alev geri tepmesi sebepleri geri yanmanın sebepleri için de geçerli olmaktadır.

Yanıcı (alev) gaz geri tepmesinin engellenmesi: Bu şekilde kazaları engelleyebilmek için oksi-yakıt kullanılan kaynak sistemlerinde, öncelikli olarak çalışma prensiplerini iyi bilmek ve kazaya sebep olabilecek durumları anlayabilmek ve de bu sistemleri iş güvenliğine uygun kullanmak gerekmektedir. Kesin olarak kazaların önlenmesi isteniyorsa, yanıcı gaz geri tepmesini önleyecek olan emniyet valflerinin kullanımı olacaktır. Bu valflerin çek-valf özelliği sayesinde alev tutma hakimiyeti ile emniyet sağlanır. Emniyet valflerinin çalışma sistemleri anlatılacak olursa; gaz çıkışına yerleştirilen çek-valf yardımı ile oluşabilecek geri yönde gaz akışı kesilir. Normal şartlarda tüpten çıkan gaz, hassas yayı itmek suretiyle sistemden geçerek, şaloma ağzına kadar ulaşır. Olası geri yönde gaz hareketi durumunda hassas yay gazı tersi yönde ittirerek gazın her yönde akışını keser. Diğer önlem olarak ise alev tutan sistemler kullanılmasıdır. Sıkıştırılmış bir yay, ortalama 80°C de eriyen lehim ile sabitlenmek suretiyle, etrafına da sinterleme işlemi uygulanmış paslanmaz çelik tozları konularak bu sistem oluşturulmuştur. Herhangi bir alev geri yönlenmesi halinde lehim eriyecek ve sıkıştırılan yayın serbest kalmasını sağlayacaktır. Serbest kalan yay çek-valf sistemine vuracak ve bu sayede gazın ileri geri yönlü geçişlerini kapatacaktır. Yanmış haldeki gazın (alevin) sönümlenmesi için ise etrafta tutulan çelik tozları kullanılmaktadır.

Yanmamış gazın geri yönlenmesi: Hat içerisinde yüksek basınca sahip gazın akış yönü tersinde geri yönlenmesidir. Şalomanın sıcaklık artışı sonucu eriyebilme durumuna bağlı, sistemde gaz kaçağı olabilir. Gazın geri yönlenmesinin sebepleri ise aşağıdaki gibidir:

- Lüle tıkanıklığı,
- Yanıcı gaz basıncının, oksijen gazı basıncından daha yukarıya çıkması (Oksijen gazı vanası, çalışma sonrasında kapatılmadığı takdirde, yanıcı gaz aynı hat üzerinden (oksijen hattı) ilerleyecektir).
- Basınç ayarlayıcıların (regülatör) kapalı, şaloma vanalarının açık kalması (Düşük basınca sahip yanıcı gaz ilk tahliye olacaktır, tahliye sonrası da oksijen gazı, yanıcı gaz hattına geçecektir).
- Tutuşturma esnasında oksijenin fazla verilmesi halinde, oksijen yanıcı gazın gönderildiği hatta geçebilir.
- Lülenin dar ağızlı olması sebebiyle, çıkan gazların geri yönlenmesine zorlanması.

Devamlı geride yanma: Devamlı geride yanma, gaz alevinin devamlı geride yanmasıyla şalomanın iç kısımlarına ulaşmasıdır. Hızlı patlama sonrası, ıslık şeklinde ses yansıması meydana gelir. Acil olarak müdahale sağlanmazsa şalomanın erimesi ve de gaz kaçağı oluşturması ihtimalleri vardır.

1.2.5. Elektrik direnç kaynağı yöntemi

Uçak, uzay, otomotiv, beyaz eşya, elektronik aletler, makine ve çelik yapı sanayi sektörleri gibi alanlarda tercih edilen ince ve dar kesitli metallerin kaynaklı imalatında ortaya çıkan problemler, ihtiyaç olduğu üzere birbirinden yeni kaynak yöntemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Kesitlerinin ince olması sebebiyle, yüksek ısıya maruz kalan bu malzemelerde, kalıcı hasar ve deformasyona sebep olmaktadır. Bundan dolayı kaynak uygulamasının en az düzeyde ısı girdisi ve de olabilen en kısa zamanda yapılması gerekliliği olmuştur. En az deformasyon ile kaynak işlemlerinin yapılması ve bunun yanında iyi bir mukavemete sahip ve ekonomik olması istendiği durumlarda, elektrik direnç kaynağı tercih edilmektedir. Bu yöntem, metal malzemeler üzerinden iletilen elektrik akımına karşı, metal malzemelerin gösterdiği direnç sonrası ortaya çıkan ısı sayesinde yapılan uygulamadır. Malzemeler kısmi eritilme yapılarak kaynak işlemi için gereken kaynak havuzu oluşturulur. Kaynak havuzunun meydana gelmesinden sonra elektrik akımı durdurulur ve parçalar basınca maruz bırakılır. Devamında basınç tatbiki ile birlikte soğuması yapılarak, oldukça kaliteli ve mukavim yapıda bir birleşme sağlanır. Bu kaynak yöntemi, uygulama şekline ve sektörel kullanım yoğunluklarına bağlı şu şekilde sınıflandırılır:

a) Noktasal elektrik direnç kaynağı yöntemi
b) Kabarık noktasal elektrik direnç kaynağı yöntemi
c) Dikiş tipi elektrik direnç kaynağı yöntemi
d) Elektrik direnç alın kaynak yöntemi

1.2.5.1. Noktasal (punta) elektrik direnç kaynağı yöntemi

Punta elektrik direnç kaynağı yöntemi, direnç kaynakları içinde en fazla tercih edilenidir. Birleştirilecek iş parçaları iletkenliği yüksek iki bakır çubuk arasına getirilir ve bir miktar basınç uygulanarak elektrik akımı aktarımı sağlanır. Sistem üzerinde bulunan şalter ve

kronometre ile tutulan süre miktarınca, akımın bakır çubuklardan birbirlerine doğru akmaktayken var olan akıma karşı direnç, malzemelerin temas ettikleri kısımlarda en yüksek düzeye ulaşır ve de iş parçası temas noktası anında ergime eğilime geçer. Akımın otomatik durdurulmasına müteakip kaynak havuzu, basınç uygulaması ile birlikte soğuma göstererek katılaşır ve de iş parçaları kaliteli düzeyde birleştirme yapılmış olur. Punta kaynak makinelerinin ana sistemi, bakır çubuklara basınç uygulanabilmesi için mekanik bir sistem, şebeke gerilimini azaltan transformatör, akım kontrol cihazları ve de bir kronometreden meydana gelir. Şekil 1.20 de Gaz altı noktasal kaynak yöntemi ile noktasal elektrik direnç kaynağı yöntemleri farklılıkları gösterilmektedir.



Şekil 1.20 : Noktasal direnç kaynağı ile gaz altı noktasal kaynak yöntemleri farklılıkları.

1.2.5.2. Kabartılı noktasal elektik direnç kaynağı uygulaması

Kabartılı noktasal elektrik direnç kaynağı uygulamaları, noktasal elektrik direnç kaynağına benzerdir. Noktasal elektrik direnç kaynağında, birleştirilecek iş parçaları üst üste getirilip, bakır çubukları arasına sıkıştırılır ve de elektrik akımı verilmektedir. Bu uygulamada bakır elektrot çubuklarının boyutsal özellikleri bakımından üzerinden geçen akımın düşmesine sebep olurken, kabartılı noktasal elektrik direnç kaynağı uygulamasında, akım geçişi, birleştirilecek iş parçalarının üzerinde var olan kabartılarla orantılıdır. Kabartılı noktasal elektrik direnç kaynağı uygulamasında, kaynak alanı, birleştirilecek iş parçalarının üzerinde var olan kabartılı alandır. İş parçaları üst üste yerleştirildiğinde yalnızca kabartılı kısımlardan noktasal olarak birbirleri ile temas ederler. Bu alandan aktarılan elektrik akımı kabartılı alan üstünde yoğunlaşmasıyla, bu bölge hızla ısınmaktadır. Isınan kabartılı alan erimesiyle birlikte çökerek, iş parçaları arasında ergiyik bir alan meydana gelir. Devamında akım kesilmesine müteakip basınç uygulanır ve bir süre devam edilerek, kaynak işlemi tamamlanmış olur.

Kabartılı noktasal elektrik direnç kaynak makine sistemlerinin, işleyişi noktasal direnç kaynak makineleri sistemleri ile aynı prensiptedir. Yalnızca bu yöntem için kullanılan bakır çubuk elektrot tipleri noktasal direnç kaynağından farklı olarak her yöne eşit şiddette basınç uygulayabilen yassı tipte iletken elektrotlar kullanılmaktadır. Kabartılı noktasal elektrik direnç kaynağı, ince saç malzemelere küçük bağlantı ekipmanlarının bağlanmasında kullanılır. Özellikle otomotiv endüstrisinde, ev aletlerinde, mobilyalarda, makine ve dişli parçalarda bağlantı somunlarının gövde ve şaseye birleştirilmesinde sıkça bu yöntem kullanılmaktadır Kabartılı noktasal elektrik direnç kaynağı yöntemi, beton takviyesi olarak kullanılan çelik hasırların üretiminde de tercih edilerek, yöntemin inşaat sektöründe de yer almasını sağlamıştır.

1.2.5.3. Dikiş tipi elektrik direnç kaynağı uygulaması

Dikiş tipi elektrik direnç kaynağı yöntemi, çalışma mantığı olarak noktasal elektrik direnç kaynağı gibidir. Noktasal elektrik direnç kaynağında ardı ardına noktaların dizilmesi dikiş tipi elektrik direnç kaynağı uygulamasını oluşturur. Dikiş kaynağında, noktasal elektrik direnç kaynağı uygulamasına benzer şekilde üst üste bindirilen iş parçalarının, temas alanlarından geçen akıma karşı direnç göstermesi sonucu oluşan ısınma ile eriyerek basınç altında kaynaklanmalarıdır.

Birleştirilecek olan iş parçaları, bakır alaşımından meydana gelmiş disk şeklindeki, iki adet disk tipi elektrot arasına yerleştirilir ve havalı ya da hidrolik sistemler ile sıkıştırılması suretiyle, disk elektrotların dönmeye başladığı anda akım da verilerek birleştirme işlemi yapılır. Diskler dönerken elektrik akımı kesilerek disk dönmesi devam ettiği takdirde aralıklı dikiş tipi elektrik direnç kaynağı uygulanmış olur. Elektrik akımı devamlı olarak verilirse aralıksız bir kaynak dikişi sağlanmış olur. Bu şekilde birleştirmeler sıvı ve gaz depolamaları için sızdırmazlık sağlamaktadırlar. Kullanım esnasında ısınan diskler, merkezi dolaşım sistemi ya da disk üzerine dışarıdan soğutma sıvısı püskürtülerek soğutulur. Soğutma sıvısı içerisinde %5 miktarında bor yağı katkılı su bulunur. Bu yöntemde, amper ayarı iş parçası türüne, parça kalınlıklarına, kaynak hızına ve soğutma sıvısının miktarına bağlı değişmektedir. Deneme yanılma yapılarak en uygun amper belirlenebilmektedir.

Yöntemde kullanılan bakır alaşımlı disk tipi elektrotlar ısıl işlem uygulanarak üretilmektedir. Kullanılan disklerin çapları 50 ila 600 mm olarak değişmektedir. Disklerin iş parçasına dokunan yüzey alanı, yine iş parçasının kalınlığına bağlı değişiklik göstermektedir. Disklerin iş parçasına, uyguladığı basınç, noktasal direnç kaynağı yönteminde uygulanan basınca göre çok daha yüksektir. Birleştirmesi yapılacak malzemelerin üzerinde kaynak öncesi yağ, kir, pas ve boya bulunması kaynak kabiliyetini olumsuz etkileyecektir.

1.2.5.4. Elektrik direnç alın tipi kaynak uygulaması

Elektrik direnç alın tipi kaynak uygulamasında, birleştirilecek iş parçaları bakır alaşımı çenelere sıkı sıkıya tutturulur. Bu uygulamada akım hareketli çeneler üstünden aktarılır. Kaynağın başlamasında elektrik devresi açılmak suretiyle, hareketli çeneler birleştirilecek malzemelerin yüzeyleri arasında hafif bir boşluk olacak kadar birbirlerine yakınlaştırılır. Yüzeyin düzgün olmayan kısımlarından kaynak parçalarının birbirine teması sağlanmaktadır. Temas halindeki bu alanlardan yüksek akım geçmesiyle ısınan temas alanlarında erime ve kısmen de olsa, buharlaşma meydana gelmektedir. Temas alanları patlama ve kıvılcım şeklinde dağılır ve oluşan damlacıklar dışarıya atılır. Kaynak parçalarının yüzey ısıtmasını sağlayan arklar böyle oluşur. Bununla birlikte ortaya çıkan metal buharı, kaynak sahasını sararak atmosferin negatif etkilerinden kaynak alanını korumaktadır. Kaynak işleminde, birleştirilecek parçaların hareketli çenelerle birbirlerine yakınlaştırılmasıyla meydana gelen yeni temas alanları da yanmasıyla tüm yüzeyde yeterli ısıya ulaşılır. Devamında hareketli çenelerin basınçla itilmesi suretiyle parçalar birbirine doğru bastırılır ve akım kesilir. Birkaç saniye içerisinde kaynak işlemi gerçekleşir ve akım kesilse de bir müddet daha basınç uygulanarak kaynak işlemi tamamlanır. Bu şekilde kaynak uygulamasına, kıvılcımlı elektrik alın kaynağı da denilmektedir.

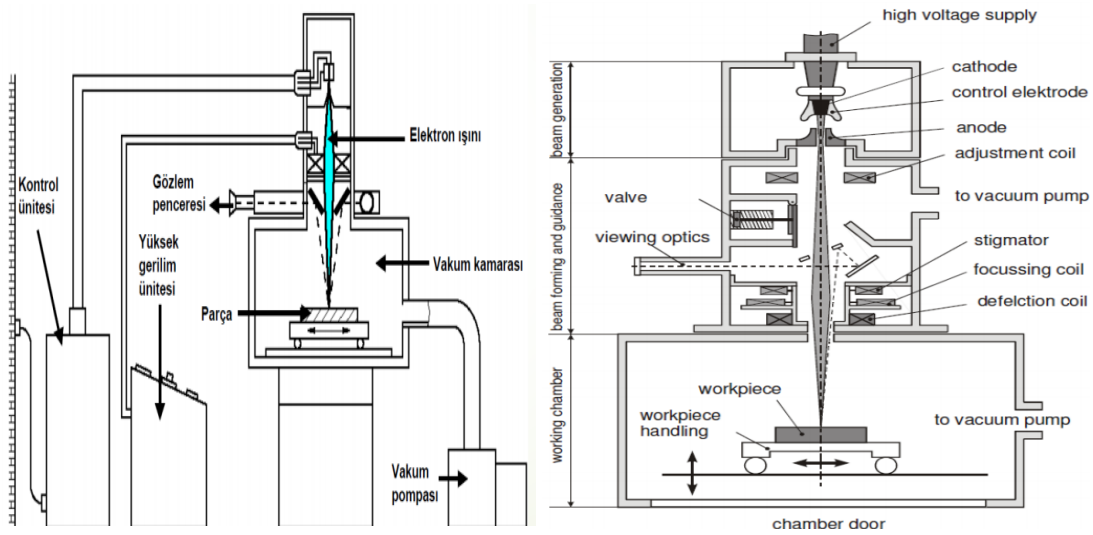
Bu yöntem çoğunlukla çelik alaşımlarında ve düz saç, kare ve de boru tipi kesite sahip malzemelerin kaynağında başarılı bir şekilde kullanılır. Bu yöntemde kaliteli bir kaynak elde edilebilmesi için, kaynak parçalarının aynı düzlemde yerleştirilmesi gerekmektedir. Aynı düzlemde yerleştirilmeden kaynağı yapılan parçalarında eksenel kaçmalar meydana gelir ve bu durum da kaynağın kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Hareketli çenelerin, elektrik akımının iletilmesi ve gerekli basıncı sağlaması yanında, iş

parçalarının sabitlenmesi ve yer değiştirilmesi gibi konumlayıcı özellikleri de vardır. Kaynak esnasında bu çeneler üzerinden akım geçişinden dolayı fazlaca ısınırlar ve soğutma yapılması gerekir. Sisteme bağlı bir su devir daim sistemi sayesinde ısınan çenelerin soğuması sağlanır.

1.2.6. Elektron (enerji işın) kaynağı yöntemi

Elektro ışın kaynağı uygulaması, yoğun elektron ışını içeren enerjinin, metal malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Yöntemde, elektron oluşumu, hızlandırılması ve bir alanda yoğunlaşması işleri özel bir elektron ışın tabancasıyla yapılmaktadır. Geleneksel kaynak uygulamaları ile yapılması zor olan birleştirmeler elde edebilmek amacıyla geliştirilen ileri seviye bir teknoloji yöntemidir. Bu yöntemde daha az ısı girdisi yanında, en az distorsiyon ve mikro yapı değişimi sağlanan neredeyse tek kaynak uygulamasıdır. Uygulama sisteminde, 150.000 km/s ve daha üstü hızlarda elektronlar, elektron ışın tabancasından hedefe doğru fırlatılırlar. Manyetik alan oluşturulması suretiyle, elektronlar hedefe odaklanır ve bunun sonucunda elektron ışın demeti ortaya çıkar. Oluşan ışın demetleri, kaynak işlemi yapılacak yere gönderilirler. Yüksek hıza sahip bu elektronlar kaynak işlemi yapılacak iş parçasına çarparak engellenir. Hız ve hareketlerinden dolayı içerdikleri kinetik enerjinin, malzeme teması ile birlikte ısı enerjisine dönüşmesiyle temas alanlarında ergime meydana gelir. Eriyen metallerin temasları ile birlikte birleşme sağlanmış olur. Bu işlem, atmosfer veya ortamdaki farklı gazların, elektronların yön ve yapısını bozduğundan, yüksek vakum koruması altında yapılmaktadır.

Işın enerjisi kaynağı yöntemi sistemleri iki esas bölümden meydana gelir; ışın tabancası ve de yüksek vakum odasıdır. Elektron ışın tabancası düzeneği; elektronik kontrol sistemi, vakum odası ve kademeli pompa sisteminden oluşur. Şekil 1.21 de vakum hücresi ve elektron tabancası sistemleri genel hatlarıyla gösterilmektedir.



Şekil 1.21 : Elektron ışın kaynağı, vakum hücresi ve elektron tabanca sistemleri.

1.2.6.1. Işın kaynağı uygulaması avantajları

Bu yöntemin en büyük avantajlarından birisi, diğer kaynak yöntemlerinde gerekli olan ısı girdisinden daha az bir ısı ile çalışma yapılabilmektir. Isı tesiri altındaki bölgede minimum ısı girdisi olması sebebiyle de iş parçasında termal çarpılma yok denecek kadar az olmaktadır. Bu uygulamanın avantajları ise şu şekilde sıralanabilir;

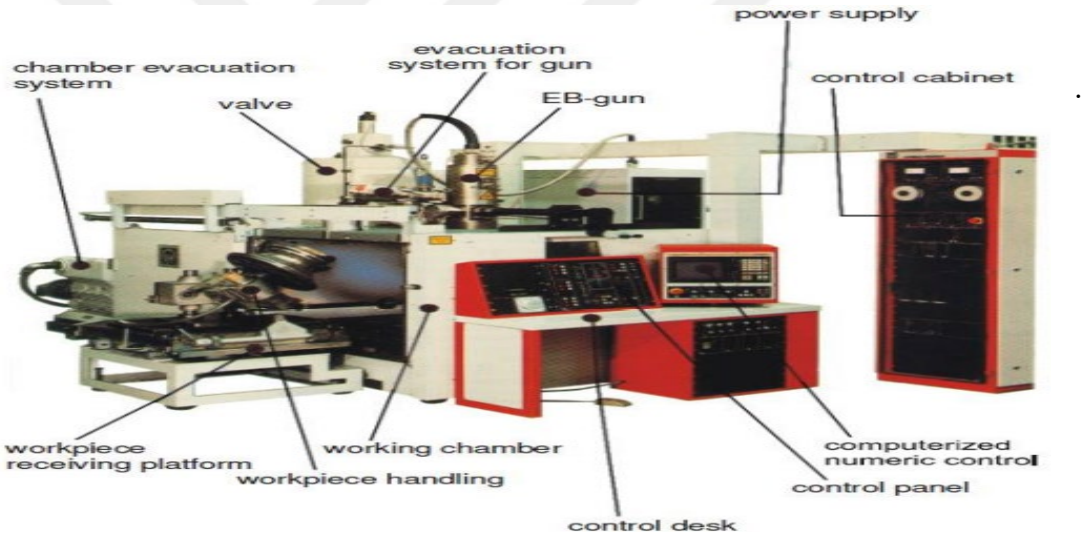
a) Çalışma sırasında parçada distorsiyon ve çarpılmanın en az olması,
b) Uygulama anında ve sonrasında ITAB da mekanik özelliklerin aynı kalması,
c) ITAB da ısıl etkinin en az olması,
d) Farklı metallerin birleştirilebilmesi
e) Refrakter malzemelerin birleştirilebilmesi imkânı,
f) Kaynak işleminin diğer yöntemlere göre daha hızlı olması,
g) Maliyet ve zamandan kazanç sağlaması,
h) Kaliteli kaynak dikiş formu ve nüfuziyeti elde edilmesi,
i) Çalışma sistemi gereği, aynı ya da farklı metallerin birleştirilmesine imkân sağlaması,
j) Vakum olmayan durumlarda yönteminin atmosferde de uygulanabilir olması,
k) Tel iletme ünitesine de uyarlanabiliyor olması sebebiyle, yüzeydeki boşlukların doldurulmasına imkân sağlaması,
l) Bu yöntemin, diğer yöntemlerden farklı olarak ITAB da yapısal değişim meydana gelmemektedir.

1.2.6.2. Elektron ışın kaynağı uygulama alanları

Elektron ışın kaynağı yöntemi uygulamaları çok fazla alanda oldukça yaygın kullanım sahası oluşturmuştur. Genel olarak;

a) Havacılık ve Uzay Sanayi,
b) Otomotiv Sanayi,
c) Elektronik Sensör Üretimleri,
d) Tıbbi ve Cerrahi Aletler,
e) Nükleer Sanayi,
f) Ar-Ge Merkezleri.

Şekil 1.22 de Elektron ışın kaynağı yöntemi tezgahı görülmektedir



Şekil 1.22 : Elektron ışın kaynağı tezgahı.

1.2.7. Katı hal kaynağı yöntemi

Katı hal kaynağı uygulaması, bilinen ilk kaynak uygulaması olarak kabul edilen dövme yönteminde olduğu gibi, bazı günümüz kaynak teknolojisi yöntemleri de iş parçası ergimeden yapılabilir. Bunların en yaygın olanlarından ultrasonik kaynak yöntemi, etkin frekans ve yüksek basınç uygulayarak, titreşim ile termo plastik ya da metal esaslı malzemeden üretilmiş kablo ya da ince parçaların kaynağında kullanılır.

Makine sistemi ve uygulaması bakımından, elektrik direnç kaynak yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Elektrik direnç kaynağındaki akımın yerine, titreşim sonucu elde edilen

enerji almaktadır. Bu uygulamada iş parçalarının ergimesi söz konusu olmamakla beraber, bunun yerine yüksek basınçta, yatay çalışan mekanize titreşim sistemi vardır.

Plastik malzemelerin birleşiminde ise, plastikler ergime sıcaklığına kadar ısıtılmalı ve de dik yönde titreşim uygulanmalıdır. Yöntem, genellikle elektrik iletiminde kullanılan bakır ya da alüminyum alaşımlarda ve polimer malzemelerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır.

1.3. Kaynak Uygulamalarında Karşılaşılan Problem ve Hatalar

Gaz altı kaynak yönteminde karşılaşılan problem ve hatalar, diğer kaynak uygulamalarına çoğunlukla benzer nitelikte olup, detaylı anlatımlar 1.3.1, 1.3.2 ve 1.3.3 başlıklarında verilmiştir.

1.3.1. Kaynak uygulamalarında karşılaşılan problemler

Kaynak uygulamalarında karşılaşılan problemler aşağıda verildiği şekildedir:

a) Hidrojen gevrekliği,
b) Azot ya da oksijen kirlilikleri,
c) İş parçasında yüzey kirlilikleri,
d) Erimenin yetersiz olması.

Hidrojen gevrekliği

Gaz altı kaynak yönteminde, nem tutucu dekapanın ya da koruyucu örtü bulunmadığından dolayı, hidrojen gevrekleşmesi yaşanma ihtimali az olmakla beraber, bu şekilde tehlikeli bir durumu görmezden gelmemek gerekir. Sebebi ise, hidrojen varlığının oluşturduğu risklerdir. Koruyucu gazlarda, nem oranı neredeyse yok denecek kadar az olmak zorundadır. Nem varlığı kontrolü satıştan önce gaz satıcıları ve satıldıktan sonra kullanıcılar tarafından yapılması gerekmektedir. İş parçası, kaynak telleri ya da elektrot yüzeylerinde bulunan kimyasal artık ve kirlilikler kaynak bölgesine hidrojen geçmesine neden olan riskli durumlardır. Bundan dolayı kaynak sarf malzemesi üreticileri, kaliteli sarf malzeme tedariği yapabilmek için üretimlerinde yüksek ehemmiyette kontrol sağlarlar. Kullanım esnasında da kirlilikler ortaya çıkabilir. Kullanıcılar bu ihtimallerin farkında olarak, özellikle sertleşme gösterebilen çeliklerin ve alüminyum kaynaklarında,

sorun ile karşı karşıya kalmamak için gereken önlemleri almaktadırlar. Sertleşen alüminyumda, hidrojen gevrekliği problemi olmamasına rağmen, hidrojenin alüminyum içerisinde çözünmesinin düşüklüğü sebebiyle oluşan gözenek problemidir.

Azot ya da oksijen kirlilikleri

Gaz altı kaynak yönteminde, azot ya da oksijen kirlilikleri yaşanması durumu, hidrojen gevrekleşmesine göre daha fazla olmaktadır. Koruyucu gazın tam olarak soy gaz olmaması ya da yeteri kadar gaz koruması sağlanamaması durumunda, azot ve oksijen gazları atmosfer etkisi ile doğrudan kaynak havuzuna geçeceklerdir. Kaynak havuzuna dışarıdan bu şekilde etkiler, oksit ve nitrir bileşikleri oluşumuna neden olur ve de kaynak dikişinde tokluğun azalmasına sebep olacaktır. Kaynak işlemi şartlarına göre, koruyucu gazlara, %5 i kadar oranda oksijen gazı ilavesi yapılabilir.

İş parçasında yüzey kirlilikleri

Gaz altı kaynak uygulaması esnasında iş parçasının temizliği, toz altı ve elektrot kaynaklarına göre daha fazla önem arz etmektedir. Sebebi ise, elektrot ve toz altı kaynaklarında var olan, erimiş metal içerisindeki oksit ve gözenek oluşturan bileşikleri ortadan kaldıran dekapanın bulunmamasıdır. Bu probleme engel olmak için, kaynak öncesi ve pasolar arasında yüzey temizliğine dikkat etmek gerekmektedir. Özellikle alüminyum ve alaşımları kaynaklarında bu konu çok önemlidir. Oluşan oksitleri gidermek için mekanik ya da kimyasal temizlik işleri ayrı ya da birlikte yapılabilir.

Erimenin yetersiz olması

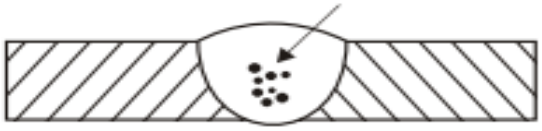
Gaz altı kaynak yönteminde, sistemlerin devamlı çalışması sonucu performans düşmesi ile birlikte farklı etmenler ile de ısı girdisinde düşme meydana gelebilir. Bu durum kaynak metalinde yetersiz erimeye sebep olabilir. Isı girdisinin düşük olması ince malzemelerin pozisyon kaynaklarında ve birleştirilmesinde avantajlıdır. Fakat, kalın malzemelerin kaynağında, kök kaynağında ya da yan yüzeylerde erimenin yetersiz kalmasına sebep olabilir.

1.3.2. Kaynak uygulaması sonrası karşılaşılan hatalar

Gaz altı kaynak yönteminde, kaynak sonrasında en çok karşılaşılan hatalar listede sıralandığı gibi olmakta ve Tablo 1.6 da Gözenek oluşum hataları, Tablo 1.7 de Kaynak metalinde oluşan çatlaklar, Tablo 1.8 de Isı tesiri altında kalan bölgede oluşan çatlaklar, Tablo 1.9 da Ergime azlığı hataları, Tablo 1.10 da Yanma oluğu hataları, Tablo 1.11 de Yetersiz nüfuziyet sonrası oluşan hatalar ve Tablo 1.12 de Aşırı nüfuziyet sonrası oluşan hatalar gösterilmektedir.

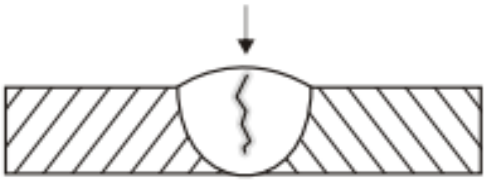
a) Gözenek oluşumu ve varlığı
b) ITAB da meydana gelen çatlamalar
c) Kaynakta meydana gelen çatlamalar
d) Yetersiz erime
e) Yanma olukları oluşumu ve varlığı
f) Nüfuziyet azlığı
g) Kök pasoda aşırı nüfuziyet

Tablo 1.6 : Yapıda gözenek varlığı.



Nedeni	**Giderilmesi**
Yetersiz ergime	Gaz akışı en uygun değere getir. Türbülans ve hava akımını azalt. Gaz hattında kaçak varsa gider. CO_2 gazı kullanıyorsan ısıtıcı kullanarak gazı ısıt. Kaynak hızını azalt. Akım memesini iş parçasına yakın tut. Kaynak sonunda iş parçası katılaşıncaya kadar torcu tutmaya devam et.
Koruyucu gazın kirlenmesi	Kaynak için uygun kalitede gaz kullan.
Kaynak teli kirlenmesi	Sadece temiz ve kuru kaynak teli kullan.
İş parçasının kirlenmesi	Kaynak öncesi iş parçasının yüzeyini, gres, yağ, boya, kir ve pastan temizle.
Ark gerilimi çok yüksek	Gerilimi azalt.
Serbest tel uzunluğu fazlalığı	Serbest tel boyunu kısalt.

Tablo 1.7 : Kaynak metalinde oluşan çatlaklar.



Nedeni	Giderilmesi
Yanlış bağlantı tasarımı.	Zorlanma şartlarına dayanıklı şekilde yeterli dolgu metali yığmaya imkan verecek şekilde kaynak ağzı hazırla
Çok fazla dikiş genişliği/derinliği oranı	Dikiş genişliğini arttırmak veya nüfuziyeti azaltmak için ya ark gerilimini arttır veya akımı azalt veya her ikisini de azalt.
Çok küçük bir kaynak dikişi (özellikle iç köşe)	Yığılan metal kesitini arttırmak için kaynak hızını azalt.
Sıcak çatlama	Yüksek Mn içeriğine sahip tel kullan. Kısa ark boyu oluştur. Kaynak ağız açısını iyi ayarla. Soğuma sırasındaki gerilimleri azaltmak için paso sırasını ayarla. İstenen özelliği sağlayan başka dolgu metali kullan.
Bağlantı elemanlarında yüksek zorlanma	İç gerilmelerin şiddetini azaltmak için ön tavlama yap. Paso sırasını ayarla.
Bağlantının sonundaki kraterde hızlı soğuma	Geri adım tekniği ile kraterleri ortadan kaldır.
Isı girdisi aşırı çekme ve distorsiyona sebep olacak kadar yüksek	Akımı yada gerilimi veya her ikisini birden azalt. Kaynak hızını arttır.

Tablo 1.8 : ITAB da çatlak oluşumu.



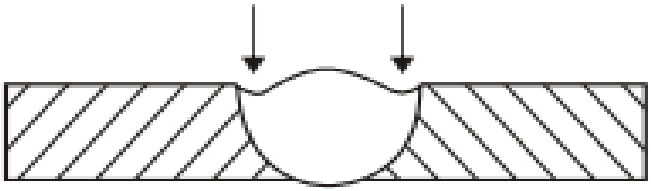
Nedeni	Giderilmesi
ITAB da sertleşme	Ön tavlama yaparak soğuma hızını azalt.
İç gerilmeler çok yüksek	Gerilim giderme tavlaması yap.
Hidrojen gevrekleşmesi var.	Temiz kaynak teli ve koruyucu gaz kullan. İş parçasındaki kirleri temizle. Kaynağı soğumadan birkaç saat yüksek sıcaklıkta tut (Hidrojenin yayınabilmesi için gerekli sıcaklık ve zaman esas metalin cinsine bağlı olarak değişir).

Tablo 1.9 : Erime yetersizliği hatası.



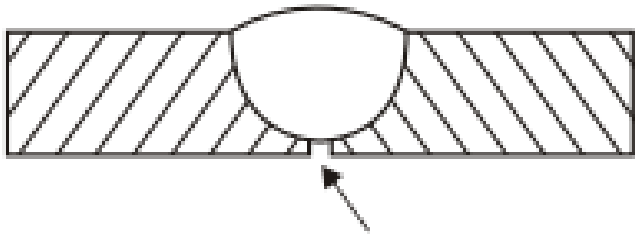
Nedeni	Giderilmesi
Kaynak bölgesindeki yüzeyler film veya aşırı oksitlerden arınmamış	Kaynaktan önce tüm yüzeylerdeki tufal kalıntılarını temizle.
Yetersiz ısı girdisi	Tel besleme hızını ve ark gerilimini yükselt, serbest tel boyunu azalt.
Çok büyük bir kaynak banyosu	Aşırı tel salınımından kaçın. Kaynak hızını arttır.
Yanlış kaynak tekniği	Salınım tekniği kullanırken, kaynak ağız yüzeylerinde kısa sürelerle kal. Bağlantının köküne ulaşılabilecek geçit sağla. Teli kaynak banyosunun ön yüzüne doğru yönlendir.
Yanlış bağlantı tasarımı	Uygun bir serbest tel uzunluğu ile kaynak ağzının dibine ve yan cidarlarına ulaşmaya yetecek büyüklükte ağız açısı kullan (J veya U).
Aşırı kaynak hızı	Kaynak hızını azalt.

Tablo 1.10 : Yanma olukları oluşumları.



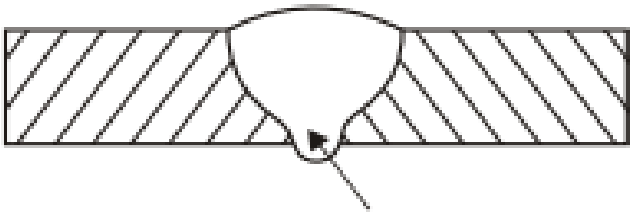
Nedeni	Giderilmesi
Kaynak hızı çok yüksek	Daha düşük kaynak hızı kullan.
Kaynak gerilimi çok yüksek	Gerilimi azalt.
Kaynak akımı çok yüksek	Tel besleme hızını düşür.
Kalış zamanı yetersiz	Ergimiş kaynak banyosunun kenarında kalış zamanını arttır.
Torç açısı hatalı	Torç açısını metalin yerleşmesine yardımcı olacak şekilde ayarla.

Tablo 1.11 : Nüfuziyet azlığı sebebiyle meydana gelen hatalar.



Nedeni	Giderilmesi
Yanlış bağlantı hazırlığı	Kaynak teli, köke kadar ulaşabilmelidir. Aşırı kök yüksekliğini azalt. Alın kaynağında kök açıklığını arttır ve arka taraftaki oyuğun derinliğini arttır.
Yanlış kaynak tekniği	En yüksek nüfuziyet için, tel açısı iş parçası yüzeyine dik olmalıdır.
Yetersiz kaynak akımı	Arkı kaynak banyosunun ön tarafına doğru tut. Tel beseleme hızını arttır.

Tablo 1.12 : Derin nüfuziyet sebebiyle meydana gelen hatalar.



Nedeni	Giderilmesi
Aşırı ısı girdisi.	Tel besleme hızını (kaynak akımını) ve gerilimi azalt. Kaynak hızını arttır.
Yanlış bağlantı hazırlığı	Kök aralığını azalt. Kök yüzeyinin boyutlarını arttır.

1.4. Sistemsel Sorunların Giderilmesi

Tüm kaynak yöntemleri ile ilgili sorun ve hataların ortadan kaldırılabilmesi için, yöntemler, ekipmanlar, malzeme bilgisi ve diğer uygulamalar ile alakalı detaylı bilgi ve tecrübeye sahip olmak gerekmektedir. Gaz altı kaynağı sistemlerinin karmaşık ve çok sayıda elektroniği olması sebebiyle, kaynak yapılmadan önce ve kaynak anında, diğer kaynak yöntemlerinden çok daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir. Ana başlıklar halinde sistemsel sorunlar aşağıdaki gibidir:

a) Mekanik sistem ile alakalı sorunlar,
b) Elektrik sistemi ile alakalı sorunlar,
c) İşletme durumu ile alakalı sorunlar.

Tablo 1.13 de Mekanik sistem ile alakalı sorunlar, Tablo 1.14 te Elektrik sistemi ile alakalı sorunlar ve de Tablo 1.15 te İşletme durumu ile alakalı sorunlar ve bu sorunların çözüm yöntemleri hakkında bilgi verilmektedir.

Tablo 1.13 : Mekanik sistem ile alakalı sorunlar.

Aksaklığın Tanımı	Nedeni	Giderilmesi
Düzensiz tel beslemesi ve geri ergime var.	Tel besleme makaralarının basıncı yetersiz.	Ayarla
	Temas tüpü tıkanmış veya aşınmış.	Değiştir
	Tel bükülmüş.	Düzelt
	Torç kablosu dolanmış.	Düzelt
	Kılavuz gömleği kirli veya aşınmış.	Değiştir
	Kılavuz hortumu çok uzun.	Kısalt
Tel, besleme makarasının etrafına dolanıyor.	Besleme makarasının basıncı çok yüksek. Kılavuz gömleği veya temas tüpü hatalı.	Kılavuz gömleğini veya temas tüpünü elektrot çapına göre seç kontrol et ve hizaya getir
	Tel veya tel kılavuzları besleme makaralarını hizasında değil. Torç içinde veya torç kablosu içinde bir engel var.	Engeli Yok Et
Kaynak dikişi aşırı şekilde oksitlenmiş.	Kablolarda veya torçta hava / su sızıntısı	Sızıntıyı kontrol et varsa onar veya yenisiyle değiştir
	Koruyucu gaz akışı engelleniyor.	Memeyi kontrol et ve temizle.
Kaynak sırasında Tel beslemesi duruyor.	Besleme makaralarının basıncını kontrol et. Basınç ya yüksek ya da çok düşük.	Ayarla
	Tel besleme makaraları hizasında değil veya aşınmış.	Hizaya getir veya değiştir.
	Gömlek veya temas tüpü tıkanmış.	Temizle veya değiştir

Tablo 1.13 (devam) : Mekanik ile ilgili aksaklıklar.

Tel besleniyor ancak gaz akışı yok.	Gaz silindiri boşalmış.	Değiştir ve kaynaktan önce gaz hattını gazla doldur
	Gaz silindiri vanası kapalı.	Silindir vanasını aç
	Gaz debisi ayarlanmamış.	Belirtilen değeri ayarla.
	Gaz hattında veya memede bir engel var.	Kontrol et ve temizle.
Kaynak dikişinde gözenek var.	Gaz vana selenoidi çalışmıyor.	Tamir et veya değiştir.
	Gaz silindir vanası kapalı.	Vanayı Aç.
	Yetersiz gaz akışı.	Gaz hattındaki ve memedeki engelleri kontrol et veya düzelt.
	Gaz besleme hattında torç dahil sızıntı var.	Bağlantılardaki kaçağı kontrol et
Besleme motoru çalışıyor ancak elektrot beslenmiyor.	Besleme makaralarının basıncı yetersiz.	Ayarla
	Besleme makaraları yanlış seçilmiş.	Elektrot çapına ve tipine uygun makara tak.
	Tel makarasında aşırı fren basıncı var	Fren basıncını azalt.
	Torçta veya kılavuz gömleğinde engel var.	Gömleği veya temas tüpünü temizle ya da değiştir.
	Gömlek veya temas tüpü yanlış seçilmiş.	Kontrol et ve doğru boyuttaki parçayla değiştir.
Torç aşırı ısınıyor.	Soğutma devresi tıkanmış.	Kontrol et ve düzelt
	Pompadaki soğutucu seviyesi düşük.	Soğutucu ilave et.
	Su pompası düzgün bir şekilde çalışmıyor.	Tamir et ya da değiştir.

Tablo 1.14 : Elektrik sistemi ile alakalı sorunlar.

Aksaklığın Tanımı	Nedeni	Giderilmesi
Ark zor tutuşturuluyor.	Yanlış kutuplama.İş parçasının kablo bağlantısı zayıf.	Kutuplamayı kontrol et gerekiyorsa değiştir. İş parçası kablo bağlantısını kuvvetlendir.
Tel beslenmesi düzensiz ve geri ergime var.	Güç devresinde düzensiz değişmeler var.	Hat gerilimini kontrol et
	Yanlış Kutuplama	Kutuplamayı kontrol et. Gerekiyorsa değiştir.
Kaynak kabloları aşırı ısınıyor.	Kablolar çok küçük veya çok uzun.	Akım taşıma kapasitelerini kontrol et gerekirse kabloyu değiştir veya kısalt.
	Kabloların bağlantıları gevşemiş.	Sıkıştır
Tel besleme hızı kontrol dışı.	Kontrol devresinde kırılmış veya gevşemiş teller var.	Kontrol et ve sıkıştır. Gerekiyorsa tamir et.
	Kontrolördeki PC boardda sorun var.	PC bordu değiştir
Kararsız ark oluşuyor	Kablo bağlantıları gevşek.	Kabloları sıkıştır.
Tel beslenmiyor.	Kontrol devresindeki sigorta atmış.	Sigortayı değiştir.
	Güç ünitesindeki sigorta atmış.	Sigortayı değiştir.
	Torç tetiği hatalı veya eklemeli tellerinde kopma var.	Bağlantıları kontrol et, tetiği değiştir.
	Besleme motoru yanmış.	Kontrol et ve gerekiyorsa değiştir
Tel besleniyor ancak gaz gelmiyor.	Gaz valfı selenoidinde hasar var	Kontrol et ve gerekiyorsa tamir et.
	Gaz valfi selenodine giden teller gevşemiş veya kopmuş.	Kontrol et ve gerekiyorsa tamir et.
Tel besleniyor ancak ark oluşmuyor.	İş parçası elektrik bağlantısı gevşek.	Gevşekse sıkıştır. İş parçasını temizle.
	Kablo bağlantıları gevşek.	Sıkıştır
	Primer kontaktör sargısı veya kontaktör noktaları hatalı	Tamir et veya değiştir.
	Kontaktörün kontrol bağlantıları kopmuş.	Tamir et veya değiştir.
Kaynak dikişinde gözenek oluşuyor.	Gaz selenoid valfine giden tellerde gevşeme ya da kopma var.	Tamir et veya değiştir.

Tablo 1.15 : İşletmenin oluşturduğu sorunlar.

Aksaklığın Tanımı	Nedeni	Giderilmesi
Karasız ark ve aşırı oksitlenmiş kaynak dikişi	Birleştirme bölgesi kirli.	Temizle
	Tel açısı hatalı.	15° hareket açısı kullan.
	Meme ile iş parçası arasındaki mesafe çok fazla.	Bu mesafe 12-20 mm arasında olmalı, azalt.
	Hava akımı var.	Kaynak alanını hava akımından koru
	Temas tüpü gaz memesinin merkezinde değil.	Merkezle
Kaynak dikişinde gözenek var.	Esas metal kirli.	Temizle
	Tel besleme hızı çok yüksek.	Azalt
	Koruyucu gaz rutubetli.	Gaz silindirini değiştir
	Tel yüzeyi kirli.	Besleyiciye girmeden önce teli temizle.
Tel iş parçasına yapışıyor.	Tel besleme hızı çok yüksek.	Hızı Arttır
	Ark gerilim çok düşük.	Gerilimi Arttır.
	Güç ünitesindeki eğim ayarı kısa devre iletimi için çok fazla.	Eğim ayarını yap.
Aşırı sıçrama var.	Ark gerilim çok yüksek	Gerilimi azalt.
	Güç ünitesindeki eğim ayarı kısa devre iletimi için yetersiz.	Eğim ayarını arttır.
	Temas tüpünün ucu memenin çok içerisinde.	Ayarla veya daha uzun bir tüple değiştir.
	Gaz akış hızı çok yüksek.	Azalt.
Kaynak torçu aşırı ısınıyor.	Akım şiddeti torç için çok fazla.	Akımı azalt veya daha yüksek kapasiteli torç kullan.

BÖLÜM 2. ÖZLÜ KAYNAK TELLERİ

2.1. Özlü Kaynak Telleri Hakkında

Günümüz üretim teknolojilerinde, üretim hızları ve verimlilik ile beraber, çok büyük düzeyde maliyet hesapları yapılmaktadır. Çalışmamıza konu olan kaynaklı imalatlar da ise bu durum, malzeme sarfiyatı ve üretim zamanları üzerinden hesaplanarak yapılmaktadır.

Elektrik ark kaynağında, elektrotlarla yapılan kaynak uygulamalarında, elektrotlara düşük akım yüklenebilmesine bağlı olarak, erimenin yetersiz kalması, işlem sırasında süreklilik sağlanamamasından dolayı zaman kayıpları ve çubukların dip kısımlarının kullanılamaması nedeniyle ortaya çıkan malzeme israfı yöntemin ekonomik olmamasını sağlamaktadır. Maliyet ve tüketim hesapları yapılarak, elektrot örtüsündeki bileşenlerin, boru tipi kaynak telleri içerisine yerleştirilmesiyle oluşturulan, özlü kaynak telleri, kaynak teknolojisine çok büyük katkı sağlamıştır. Özlü kaynak tellerinin üretilmesi ile, elektrot değişimi zaman kaybını ve malzeme kaybını ortadan kaldırmakla birlikte, çok daha iyi ergime sağlaması ve seri üretime uygunluğu sebebiyle çok daha ekonomik kaynaklar yapılabilmektedir. Bundan dolayı da, ilerleyen zamanlarda, elektrot kaynağının yerini artarak alması ön görülmektedir.

Şekil 2.1 de makara biçimde sarılmış özlü kaynak teli örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Özlü kaynak tellerinin makara şeklinde sarımı.

2.2 Özlü Kaynak Telleri Özellikleri

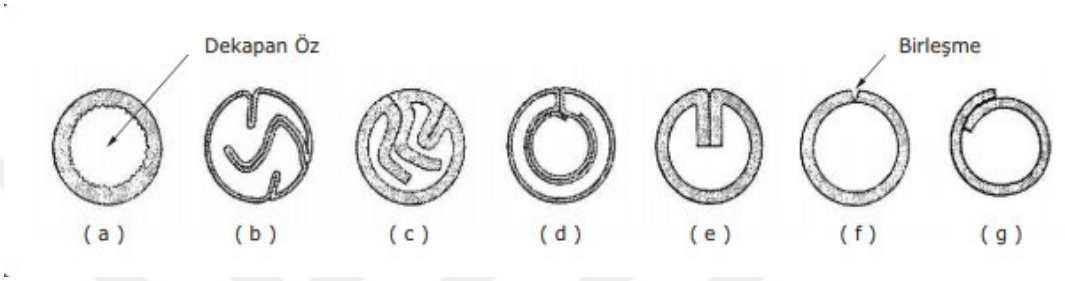
Gaz altı kaynağında kullanılan özlü kaynak telleri, kaynak elektrotlarının tersine, öz içeriği dış kısma değil iç kısma yerleştirilmiştir. Özlü kaynak telleri, saç şerit halindeki kaynak teli üzerine, istenilen özelliklede olan kaynak özü yerleştirilerek, şerit kaynak telinin, boru şekline getirilmesi ile üretilir. Boru şeklini alan kaynak tellerinin, birleşim yerlerinde, dekapan ve alaşım tozları bulunmaktadır. Kaynak dikişinde alaşımlanmayı ve oksit korumasını, boru içine yerleştirilen öz sağlamaktadır.

Kaynakta talep edilen maddelerin, doğrudan kaynak teli içine yerleştirilmesi ve de ilave koruyucu gazlar sayesinde kaynak dikiş formu gözeneksiz, derin nüfuziyette ve çok daha sağlam olacak şekilde kolayca kaynak işlemi yapılabilmesine imkân sağlamaktadır.

2.3. Özlü Kaynak Telleri İle Kaynak

Gaz altı kaynak tellerinde, örtülü elektrotların aksine, alaşım elementleri ilavesi, kaynak tellerinin üretilmesinde ilk giriş malzemesi olan ingotların dökümü sırasında yapılabilir. Demir dışı metallerde, bu uygulama büyük bir meydana getirmez, yalnızca çelik malzemelerin üretiminde fazlaca maliyet artışına yol açar. Çelik üretimi ancak yüksek tonajlarda üretim yapıldığı durumda ekonomik olmaktadır. Buna karşın gaz altı kaynak tellerinin üretiminde çok az miktarda çeliğe ihtiyaç vardır. Bu tellerde kullanılan çelik bileşimi, saç ve levha gibi ürünlerde kullanılan çelik bileşimlerinden oldukça farklıdır. Bundan dolayı, çelik üreticileri, kaynak teli ham maddesi için az miktarlarda üretim

yapmaktadırlar. Bu durum çelik üreticileri için maliyet artışına sebep olmaktadır. Bununla beraber, yöntemde kullanılan bazı çelik kaynak tellerin haddelenerek küçük çaplara getirilmesi de zor bir işlemdir. Özlü kaynak telleri de bu zorlanma sebebiyle, kaynak tekniğine çözüm sağlamak nedeniyle alternatif olarak geliştirilmiştir. Özlü kaynak telleri asıl olarak iç kısımlarına alaşım elementleri ve dekapan yerleştirilen ince çeperli boru ya da tüplerdir. Şekil 2.2 de Özlü kaynak tellerinin, enine kesitlerinin, bahsi geçen dekapan özleri ve birleşme noktaları gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Özlü kaynak tellerinin enine kesitleri.

Özlü kaynak telleri tüp şeklinde olabilirken, enine kesitinde alaşım miktarını fazlalaştırmak için kenetli halde de üretilebilmektedir. Kaynak telleri 0.9 mm ila 3.2 mm aralıklarında üretilebilir. Öz içerisindeki katkı elemanları, oksit gidericiler ile alaşım oluşturarak, koruyucu bir cüruf da oluşabilir.

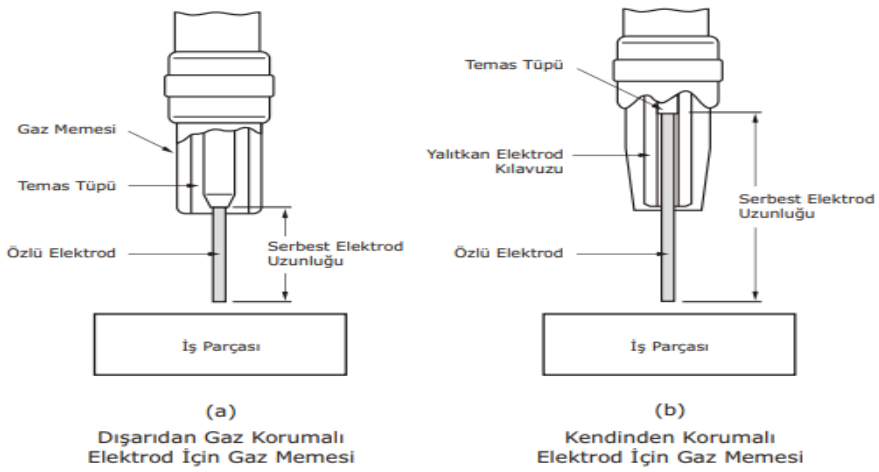
Elektrot örtüsü bileşimi ile özlü kaynak tellerinin içerisinde bulunan bileşimlerin görevleri birbirlerine benzerdir ve genel olarak görevleri şu şekildedir:

a) Kaliteli bir dikiş formu elde edebilmek için, oksit giderici olarak, kaynak metalinin istenmeyen maddelerden uzak tutulması görevi.
b) Cüruf oluşturmak suretiyle, kaynak havuzunun katılaşma anında atmosferin etkilerinden korumak.
c) Kararlı bir ark sağlamak amacıyla, sıçrantıları en aza indirgemek ve yumuşak bir kaynak arkı oluşturmak.
d) Kaynağın mekanik ve kimyasal dayanımlarını arttırmak için alaşım elementlerinin kaynağa dahil olmasını sağlamak.
e) Koruyucu gazın sağladığı avantajları, tel içerisinde bulunan öz sayesinde yakalayabilmek.

Özlü kaynak telleri paslanmaz çelikler ve Cr-Mo çelikleri yanı sıra, aşınma dayanımı gösteren çeliklerde kullanılabilmektedir. Özlü kaynak tellerinde, kaynak uygulaması yapılırken çoğunlukla saf CO_2 gazı kullanılmaktadır. İşlemin pozisyon kaynağına dönmesi halinde daha ince çapta kaynak telleri, Ar + %20CO_2 karışım gazı kullanımı daha uygun olacaktır.

Gaz korumasını kendinden sağlayan özlü kaynak telleri de bulunmaktadır ve özellikle gaz taşınamayan şantiye ve saha çalışmalarında sıkça kullanılır. Özlü kaynak tellerinin öz kısmında, gaz açığa çıkmasını sağlayan bileşimler bulundurur. Bu gazlar kaynak havuzunu sarmak suretiyle dışardan ihtiyaç duyulan ilave gaz korumasına gerek kalmamaktadır. Genel manada, kendinden gaz korumalı özlü telleri ile, dışardan ilave gaz korumalı özlü tellerin kaynağında göze çarpan en büyük farklılık, akım memesinin konumlandırılmasında ve serbest tel boyunda olmaktadır.

Şekil 2.3(a) da verildiği gibi dışarıdan ilave gaz koruması yapılan kaynakta akım memesinin ucu neredeyse gaz nozulunun hizasında olmaktadır. Şekil 2.3(b) de ise kendiliğinden gaz koruması yapılan özlü kaynak teli kaynağında akım memesi, gaz nozulunun çok gerisinde olup, serbest tel boyu da oldukça fazladır.



Şekil 2.3 : Özlü kaynak tellerinde serbest tel uzunluğu; (a) Dışarıdan gaz korumalı. (b) Kendinden gaz korumalı.

2.4. Özlü Kaynak Telleri Çeşitleri

Özlü kaynak telleri, gaz koruması farketmeksizin, AWS A5.20-69 normuna göre sınıflara ayrılmıştır. Örnek verilecek olursa, E60T-7 tipinde "E" harfi elektrik ark kaynağı yönteminden olduğunu gösterir. Ürünün çekme dayanımı ise "60" sayısı ile gösterilir ve "ksi" cinsindendir. Gösterimdeki "T" harfi ise özlü telin tüp biçiminde olduğunu gösterir. En sondaki "7" rakamı da bir takım kullanım detay bilgilerini simgelemektedir. Bu bilgiler, özlü telin kimyasal bileşimi, kutuplama tipi, özlü telin kendinden ya da ilave gaz korumalı mı olduğu ve de akım şekli gibi bilgilerdir.

Düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan özlü tellerin kimyasal içeriklerine göre sınıflandırılması Tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1 : Özlü kaynak tellerine ait kimyasal içerikler (max %) (*).

AWS Sınıfı	Mn	Si	Ni	Cr**	Mo**	V**	Al
E60T-7	1.50	0.90	0.50	0.20	0.30	0.08	1.8
E60T-8	1.50	0.90	0.50	0.20	0.30	0.08	1.0
E70T-1	1.75	0.90	0.30**	0.20	0.30	0.08	-
E70T-2	Kimyasal bileşim serbest						
E70T-3	Kimyasal bileşimi serbest						
E70T-4	1.50	0.90	0.50	0.20	0.30	0.08	1.8
E70T-5	1.50	0.90	0.30**	0.20	0.30	0.08	-
E70T-6	1.50	0.90	0.80	0.20	0.30	0.08	-
E70T-G	Kimyasal bileşimi serbest						

*) Yığın kaynak metali içeriğidir.
**) Yapıda var olabilirler, fakat bilinçli olarak ilave edilmezler.

Özlü kaynak tellerinin sınıflarına göre mekanik özellikleri Tablo 2.2 de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 : Özlü kaynak tellerine ait mekanik özellikler.

AWS Sınıfı	Koruyucu Gaz	Çekme Dayanımı min.(MPa)	%0.2 Akma Dayanımı min. (MPa)	Uzama (L=5d) min (%)	Charpy-V Darbe Enerjisi min (J)
E60T-7	kk	470	380	22	Serbest
E60T-8	kk	430	350	22	-18°C de 27
E70T-1	CO_2	500	420	22	-18°C de 27
E70T-2	CO_2	500	Serbest	Serbest	Serbest
E70T-3	kk	500	Serbest	Serbest	Serbest
E70T-4	kk	500	420	22	Serbest
E70T-5	CO_2 ve kk	500	420	22	-30°C de 27
E70T-6	kk	500	420	22	-18°C de 27
E70T-G	Belirtilmemiş	500 (a) 500 (b)	Serbest 420	Serbest 22	Serbest

(kk) Kendiliğinden gaz korumasına sahip
(a) Bir pasoda kaynak uygulaması
(b) Çok pasoda kaynak uygulaması

Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 de verilen özlü kaynak tellerine ait teknik bilgiler başlıklar halinde aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

E60T-7 tipi özlü kaynak teli: Kendiliğinden gaz korumasına sahip özlü kaynak telleri grubuna dahildir. Bir ve üzeri pasolardaki kaynak uygulamalarında kullanılabilirler. Hızlı katılaşma özelliğine sahip olduklarından, tüm kaynak pozisyonları için kullanıma elverişlidirler. Düşük sıcaklıklarda darbe çentik dayanımı oldukça iyidir. Kaynak metalinin, çatlama direnci oldukça yüksektir.

E60T-8 tipi özlü kaynak teli: Kendiliğinden gaz korumalı özlü kaynak telidir. Yatay ve oluk kaynak pozisyonlarında, bir ve üzeri pasolu kaynak uygulamalarında kullanılabilirler. -18°C de çok iyi çentik darbe dayanımı sağlarlar. Çatlama dirençleri çok yüksektir.

E70T-1 tipi özlü kaynak teli: Koruyucu gaz olarak, ilave CO_2 gazı kullanılan özlü kaynak tellerinden olup, bir ve üzeri pasolarda ve de oluk kaynak pozisyonunda uygulamalarda çalışabilirler.

E70T-2 tipi özlü kaynak teli: Gaz koruması, CO_2 gazı ile sağlanan, özlü kaynak telidir. İç köşe, yatay ve oluk kaynak pozisyonlarında bir pasolu uygulamalar için idealdirler. E70T-1 tipi özlü kaynak tellerine göre daha kirli yüzeylere sahip parçalarda kullanılabilmektedirler.

E70T-3 tipi özlü kaynak teli: Bu tipte özlü kaynak telleri, kendiliğinden gaz korumasına sahip özelliktedir. Yüksek hızda kaynaklarda kullanıma elverişlidirler. 6 mm altı ince malzemelerin bir paso ile, yatay ve oluk pozisyonlarındaki kaynak uygulamalarında kullanılırlar. 6 mm üzerinde parçalarda ve çok paso kaynak uygulamalarında elverişli değildirler.

E70T-4 tipi özlü kaynak teli: Kendiliğinden gaz korumasına sahiptirler. Düşük nüfuziyet sağlarlar. Kükürt içeriği yüksek çeliklerde dahi, yüksek çatlama direnci sağlarlar. Bundan dolayı diğer tip özlü teller ile kaynağı yapılamayan uygulamalarda kullanılabilirler. Metal yığma oranı yüksektir. Düşük sıçrantıda çalışırlar. Cürufları rahatlıkla kalkmaktadır.

E70T-5 tipi özlü kaynak teli: Hem kendiliğinden hem de gaz korumalı olarak kullanılmaktadırlar. Alın ve iç köşe oluk kaynak pozisyonlarında, yüzey hazırlığına çok fazla gerek olmadan, bir pasoda yapılan kaynak işlemlerine uygundurlar. Nüfuziyetleri oldukça düşüktür. Kolay ayrılan, ince cürufa sahiptirler. -30°C sıcaklıkta çentik darbe toklukları yüksektir.

E70T-6 tipi özlü kaynak teli: Genel olarak E70T-5 özlü kaynak tellerine benzer özelliktedirler. Yalnızca kendiliğinden gaz korumasına sahip şekilde imal edildiklerinden kimyasal bileşimleri farklılık göstermektedir.

E70T-G tipi özlü kaynak teli: Birden fazla pasoda kaynaklar için uygundur. Çekme dayanımı özellikleri belirlenmişken, kimyasal bileşim ve çentik darbe dayanımları değişebilmektedir. Mekanik özellikleri aynı olup, iki ayrı çalışma uyumunda üretimleri yapılmaktadır:

a) Her pozisyonda çalışabilir, alın ve iç köşe kaynaklarına uygun, hızlı katılaşma gösteren tipi bulunmaktadır.
b) Kaynak uygulama hızı ve nüfuziyeti yüksek özellik gösteren tipi de bulunmaktadır.

Düşük alaşıma sahip özlü kaynak teli: AWS A5.5 standardına göre özel sınıflandırma yapılmamakla birlikte, çalışma şartlarına ya da kullanıcı taleplerine bağlı imalatları yapılmaktadır.

2.5. Özlü Kaynak Tellerinin Yöntem Değişkenleri

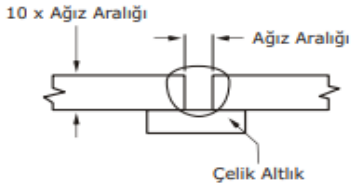
Özlü kaynak telleri ile, kendiliğinden ve de ilave CO_2 gazı korumalı kaynak uygulamalarına ait değişkenler Tablo 2.3, Tablo 2.4 ve Tablo 2.5 te verilmiştir.

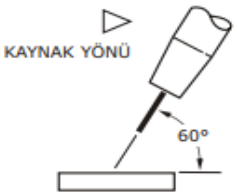
Tablo 2.3 : Kendiliğinden gaz korumasına sahip özlü kaynak telleri yöntem değişkenleri (1).

Kaynak pozisyonu : Oluk

Kaynak kalite seviyesi : Ticari

Çeliğin kaynak kabiliyeti İyi - Orta





Levha kalınlığı (mm)	3.4	4.8	6.4
Pasolar	1	1	1
Tel sınıfı	E70T-4	E70T-4	E70T-4
Tel çapı (mm)	2.4	2.4	2.4
Akım (A) (DAEP)	350	400	400
Gerilim	29-30	30-31	30-31
Kaynak hızı (m/dak)	0.53 - 0.58	0.41 - 0.46	0.32 - 0.34
Gerekli elektrot miktarı (kg/100m)	24	36	48
Toplam kaynak zamanı (dak/m)	1.8	2.4	0.05
Altlık kalınlığı (mm) – min	3.4	4.8	3.0
Aralık (mm)	4.0	4.8	5.6
Serbest tel uzunluğu	70	70	70

(DAEP) : Doğru akım, elektrot pozitif kutup.

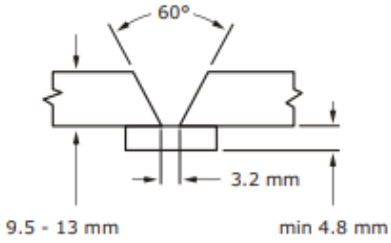
Tablo 2.4 : Kendiliğinden gaz korumasına sahip özlü kaynak telleri yöntem değişkenleri (2).

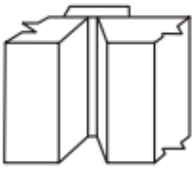
Kaynak pozisyonu : Düşey

Kaynak kalite seviyesi : Ticari

Çeliğin kaynak kabiliyeti İyi – Orta

Tek taraflı kaynak





Levha kalınlığı (mm)	9.5	13
Pasolar	1 – 2	1 – 2 – 3
Tel sınıfı	E70T–G	E70T–G
Tel çapı (mm)	1.6	1.6
Akım (A) (DAEP)	170	170
Gerilim	19 – 20	19 – 20
Kaynak hızı (m/dak)	0.12-0.13 / 0.04-0.05	0.12-0.13 / 0.04-0.06
Gerekli elektrot miktarı (kg/100m)	110	165
Toplam kaynak zamanı (dak/m)	30	42
Serbest tel uzunluğu (mm)	6.5 - 19.0	6.5 - 19.0

(DAEP) : Doğru akım, elektrot pozitif kutup.

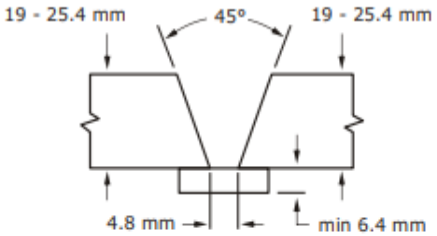
Tablo 2.5 : Kendiliğinden gaz korumasına sahip özlü kaynak telleri yöntem değişkenleri (3).

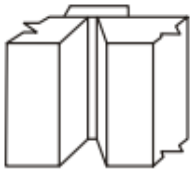
Kaynak pozisyonu : Düşey

Kaynak kalite seviyesi : Ticari

Çeliğin kaynak kabiliyeti İyi – Orta

Tek taraflı kaynak





Levha kalınlığı (mm)	19	25.4
Pasolar	2 – 4 – 1	1 – 2 – 6
Tel sınıfı	E70T–G	E70T–G
Tel çapı (mm)	1.6	1.6
Akım (A) (DAEP)	180	180
Gerilim	19 – 20	19 – 20
Kaynak hızı (m/dak)	0.10-0.11 / 0.05	0.10-0.11 / 0.05
Gerekli elektrot miktarı (kg/100m)	289	359
Toplam kaynak zamanı (dak/m)	66	108
Serbest tel uzunluğu (mm)	6.5-19.0	6.5-19.0

(DAEP) : Doğru akım, elektrot pozitif kutup.

BÖLÜM 3. HARDOX ÇELİKLERİ

3.1. Hardox Çelikleri Hakkında

Hardox çelikleri, birden fazla gayede geliştirilmiş aşınma levhalarıdır. Aşınma dayanımı hususunda yüksek dayanım gösteren özel üretim çeliklerdir. Tüm parça üzerinde homojen ve yüksek sertlik değeri, üst düzey tokluk ve de yüksek mukavemet özelliklerine sahip ve farklı uygulamalar için uygun malzemelerdir. Hardox çelikleri, SSAB firması tarafından, 1970 senelerinde üretilmiştir. Bu çeliklerin üretilip geliştirilmesine müteakip, özellikleri nedeniyle hızlı bir şekilde piyasada yer almışlardır. Taleplere bağlı olarak bu çelikler devamlı olarak geliştirilmektedir.

Hardox çelikleri, diğer yüksek dayanımlı çelik alaşımlarına göre, 3-4 kat daha fazla sertlik göstermesine rağmen, üst düzey kaynaklanabilirlik ve de işlenebilirlik özellikleri sayesinde, bu çeliklerin tercih edilmelerini arttırmaktadır.

Hardox çelikleri sade bir alaşıma sahip olmalarına rağmen çatlama dirençleri oldukça yüksektir. Kaynak uygulamaları bazı çeşitleri için ön ısıtma gerekmektedir. Ön ısıtma işlemi problem yaratması ya da ısıtma yapılamaması söz konusu ise, özlü 309L kalite paslanmaz tel ile ön ısıtmaya gerek kalmadan da kaynak uygulamaları yapılabilir.

Hardox çelikleri, standart çelik türlerinin, katmanlar haline getirilerek elde edilecek sertlikten, daha fazla sertliği olan çelik türlerdir. Çoğunlukla inşaat ve maden sektörlerinde tercih edilmesinin yanı sıra başka alanlarda da bu çelikler kullanılmaktadır. Aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanımı uygundur.

Hardox çelikleri, üst seviyede ergime ve işlenebilme özelliklerine sahip olmaları sebebiyle, kullanımları rahattır.

Bu çeliklerde, yüksek sertlik özelliği, iyi bir su verme işlemi ile sağlanmaktadır. Bundan dolayı, yüksek sertliğe sahip çelikler üretilebilmektedir. Bükülebilme ve kaynak kabiliyetleri de düşük alaşımlı çeliklere göre oldukça yüksektir.

3.2. Hardox Çeliğinin Kullanım Alanları

Çimento Üretim Sektörü: Hardox aşınma plakası, kireç ocağından, yükleme ve son ürünün teslimatına kadar çimento üretiminin tüm aşamalarında kullanılabilir. Aşındırıcı uygulamalara örnek olarak taşın kazılma, ezilme, elenme ve bilenme aşamaları gösterilebilir (Kırıcı sistemler, ekskavatör ve damperli kamyon, helezonlar, silolar, değirmenler, beton mikserleri, akıtma olukları).

Yeraltı Madenciliği Sektörü: Hardox aşınma plakası yer altı madenciliği operasyonları için güvenilir ve esnek bir çözümdür. Mükemmel kaynaklanabilirlik özellikleri ekipmanı yüzeye çıkarmaya gerek kalmadan sıklıkla maden içinde olmak üzere sahada tamirlerin yapılmasını kolaylaştırır. Bu, üretimi devamlı kılar ve bakım maliyetlerini düşürür (Ön yükleyici, damperli kamyon, elekler, kırıcılar, konveyör, vagon, boşaltma alanı).

Geri Dönüşüm Sektörü: Artıkların parçalara ayrılması gibi geri dönüşüm prosesleri ekipman üzerinde muazzam baskılara yol açar. Verimli ve rekabetçi kalabilmek için, zorlu koşullara dayanıklı malzemeleri kullanmak hayati önem taşır (Çöp kamyonu, astar plakları, granül bıçakları, çekiçli değirmenler, parçalayıcılar, elek, kalbur, konveyör kayışı).

Yol Yapımı Sektörü: Yol yapımı, ağır malzemeleri uzun mesafelere taşıyan kamyonlardan, hafriyat yaparken yoğun aşınmaya dayanan makinalara çok çeşitli ekipmana ihtiyaç duyar (Kepçe, damperli, kırıcı, buldozer, asfalt silindiri, asfalt kazıyıcı, hidrolik çekiç).

3.3. Hardox Çelik Türleri

Hardox çelikleri, genel manada sertlikleri ile ön plana çıktığından, isimlerinin yanlarında sertlik dereceleri verilmektedir. İsim devamında gelen sayılar, Brinell cinsinden sertlik ölçütünü ifade etmektedir. Temel olarak Hardox Extreme, Hardox HiTuf, Hardox 600, Hardox 550, Hardox 500 ve Hardox 450 gibi isimlendirilmiş çeşitleri bulunmaktadır.

Extreme isimli özel Hardox çelikleri de mevcuttur. Tablo 3.1 de bu çeliklere ait mekanik özellikleri gösterilirken, Tablo 3.2 de ise darbe dayanım özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 3.1 : Hardox çeliklerine ait mekanik dayanımlar.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Sertlik(HBW) min-max	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)
Hardox 400	3 – 130	370 – 430	1000	1250	10
Hardox 450	3 – 130	425 - 475	1250	1600	10
Hardox 500	2 – 103	450 - 540	1400	1550	10
Hardox 550	10 – 50	525 - 575	1400	1700	10
Hardox 600	8- 50	570 – 640	1650	2000	10
Hardox HiTuf	40 -120	310 - 370	950	980	10
Hardox Extreme	8 -19	670 - 710	1750	1900	10

Tablo 3.2 : Hardox çeliklerine ait darbe dayanım özellikleri.

Malzeme	Darbe Özellikleri	Enerji (Joule)	Sıcaklık (ºC)
Hardox 400	Charpy V 10x10 mm	45	-40
Hardox 450	Charpy V 10x10 mm	50	-40
Hardox 500	Charpy V 10x10 mm	37	-40
Hardox 550	Charpy V 10x10 mm	20	-40
Hardox 600	Charpy V 10x10 mm	20	-40
Hardox HiTuf	Charpy V 10x10 mm	95	-40
Hardox Extreme	Charpy V 10x10 mm	15	-40

Tablo 3.3 de Hardox çelik türlerinin kimyasal bileşimleri verilmektedir.

Tablo 3.3 : Hardox çelikleri max % olarak kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	B	Mo
Hardox 400	0.32	0.70	1.60	0.025	0.010	1.40	1.50	0.005	0.60
Hardox 450	0.26	0.70	1.60	0.025	0.010	1.40	1.50	0.005	0.60
Hardox 500	0.29	0.78	1,66	0.025	0.009	1.11	0.22	0.005	0.27
Hardox 550	0.44	0.50	1.30	0.020	0.010	1.40	1.40	0.005	0.60
Hardox 600	0.47	0.70	1.40	0.015	0.010	1.20	2.50	0.005	0.70
Hardox HiTuf	0.20	0.60	1.60	0.050	0.020	0.70	2.00	0.005	0.70
Hardox Extreme	0.47	0.50	1.40	0.015	0.010	1.20	2.50	0.005	0.80

3.3.1. Hardox400 çeliği

400 HBW sertliğe sahip, aşınma dayanımı yüksek ve de soğuk şekillendirmeye uygun yapıdadır. Karbon eşdeğeri düşük olmasından dolayı kaynak kabiliyeti oldukça iyidir. Hardox çelikleri C, Mn, Si, S, Cr, P, Mo, B ve Ni elementlerinin değişik oranlarda karıştırılmasıyla, belirli sürelerde su verilip ısıl işlem uygulanmaları suretiyle imal edilmektedirler.

Bu çeliğin kullanım alanları günlük yaşantımızda oldukça yaygındır. Aşınma dirençlerinin yüksek olması sebebiyle kırıcılarda, kazıcılarda, yükleyicilerde, kamyonlarda ve de preslerde aşınabilecek yüzeylerde sıkça tercih edilir. Aşınma dayanımı yanı sıra, hafif olması nedeniyle Hardox 400 çeliği, çöp silolarının ve kasalarının iç çeperlerine koruyucu olarak kaplanmakta olup, bu araçların asit ve aşınma dayanımlarını arttırarak, uzun süreler kullanılabilmelerini sağlarlar. Kolay şekillendirilebilme ve hafif olmaları sebebiyle yük ve hafriyat kamyonlarında kasa astarı olarak da kullanılmaktadır. Bu çeliğin, bükülebilir özellikte olması, bu astarlamanın yapılabilmesi için en önemli şarttır. Şekil 3.1 de bükülmüş bir Hardox400 saç görülmektedir.



Şekil 3.1 : Bükümlü bir Hardox400 çeliği saç.

İçerisinde çok fazla eşya bulunan, uzun mesafeli yol giden, taşıma konteynırlarının alt tabanları dahil, tüm yüzeyleri Hardox 400 çeliği ile kaplanarak, dışarıdan darbelere karşı korunması sağlanmaktadır. Beton ve asfaltlama araçları, taş ocakları ve de diğer

madencilik alanlarında kullanılmakta olan araçların darbe dayanımlarına karşı da Hardox 400 çelikleri kullanılmaktadır. Şekil 3.2 de Hardox400 kullanılmış olan kepçe kovası görülmektedir.



Şekil 3.2 : Hardox400 çeliği ile üretilmiş bir kepçe kovası.

3.3.2. Hardox450 çeliği

450 HBW sertliğinde, tokluğu yüksek özellikte Hardox 450 olarak adlandırılan çeliktir. Bu özellikleri nedeniyle de, Hardox 450 çeliği en fazla kullanım alanı bulan çelik türlerindendir.

3 – 100 mm kalınlıklarda imal edilmektedir. Yüksek sıcaklıklar da dayanım kaybı yaşanmaktadır. Bundan dolayı, yüksek sıcaklıktaki çalışma şartlarında kullanım alanı sınırlanmaktadır.

Deniz suyunun tuzluluğundan dolayı, aşınma fazla olmaktadır. Bu şekilde yüksek sıcaklığın olmadığı ve aşınma dayanımı istenen, petrol platformları gibi platform sistemlerinde sıkça kullanılmaktadırlar. Bu sayede uzun yıllar kullanım sağlanabilirken, sürekli ve zorlu bakımlara gerek kalmadan rahatça yapılabilmektedir.

Tünel yapımı çalışmalarından çıkan hafriyatın taşınmasını sağlayan araçlarda aşınma dayanımı gerektiğinden sıkça kullanılmaktadır. Bu gibi yerlerde, yapıda yüksek aşınma dayanımı beklenirken, çalışma şartları yüksek sıcaklığa da maruz kalmamaktadır.

Kısa süre içerisinde, kullanılamaz duruma gelen beton mikseri siloları, Hardox 450 çeliği kullanımı ile, basit bakımları yapılarak 14 yıla kadar kullanılabilmektedir.

3.3.3. Hardox500 çeliği

Kendi sınıfında, Hardox500 çelikleri 500 HBW sertlik derecesi ile, üçüncü sırada sertlik derecesine sahiptir. Diğer Hardox çeliklerinde olduğu şekilde, bu tipte iyi düzeyde aşınma dayanımı ve tokluk gösterir.

Sertliğinin ve aşınma dayanımının yanı sıra, çok iyi kıvrılabilme özellikleri ile ön plana çıkmaktadırlar.

Tarım aletleri, taş ve maden ocakları, çimento ve asfalt sanayinde ve de geri dönüşüm tesislerinde çalışan iş makinalarında sıkça kullanım yeri bulurlar. Özellikle, gelişen inşaat sektörü ile birlikte, artan kullanım oranlarına sahiptirler.

Hardox500 çeliğinin yüksek direnci ve mukavemet gücü ile enerji, zaman ve ekonomi tasarrufu ile birlikte, yüksek performans ve verim sağlamaktadır.

Hardox500 çeliğinin kaynağında, sadece ısı tesiri altındaki bölge etkileniyor olmakta olup, diğer yerlerde herhangi bir bozulma ve çatlama oluşmamaktadır.

3.3.4. Hardox550 çeliği

550 HBW sertliğinde olan Hardox 550 çeliği, diğer tiplerden farklı olarak, sağladığı yüksek aşınma dayanımı yanı sıra, sertliği ve tokluğu da çok iyi performans veren bir çelik türüdür.

Farklı boyut özelliklerinde kullanılabilmekte olup, çoğunlukla 10-50 mm yüksekliğinde ve 2800 mm boyunda kullanılmaktadır.

Çoğunlukla, taş ve maden ocakları, inşaat sanayi ve geri dönüşüm tesislerinde kullanılmakta olup, diğer sanayi işlerinde de aşınma direnci gerektiren yerlerde giydirme plakası olarak da kullanım yeri bulmaktadırlar.

3.3.5. Hardox600 çeliği

Hardox 600 çeliği isminde verildiği gibi 600 HBW sertlik değerini ifade etmektedir. Aşınma direnci bakımından en üst düzeydeki çelik türlerinden olup, ekstra sertlik ve tokluk sağlarlar. Hardox 600 çelikleri, yüksek aşınma dayanımları ile birlikte, bükülebilme, kaynaklanabilme ve delme gibi iş özelliklerine sahiptirler..

Doğrayıcılarda, eleklerde, yıkım araçlarında, damperlerde ve hafriyat araçlarında aşınma dayanımı ve sertlikler elde edilerek, bakım maliyetlerini düşürmek ve de kullanım sürelerini arttırmak amacıyla bu çelik türü sıkça tercih edilmektedir.

Hardox600 çeliği yüksek krom beyaz alaşımlı dökümler, Ni-Hard ve sert kaplamalar ile boy ölçüşebilir. Son derece sert olmasına rağmen kesilebilir ve kaynaklanabilir. Hardox600 ün üstün dayanımı sayesinde, daha ince levhalar kullanılarak, toplam ağırlık azaltılır, taşıma yükü arttırılır ve bu sayede verimlilikte artış sağlanır.

3.3.6. Hardox HiTuf

Hardox HiTuf diğer çeliklere göre, en tok çelik ünvanına sahiptir (95J – 40^{o} C). Bu tokluk sayesinde, en ağır darbeleri herhangi bir bozunmaya uğramadan karşılayabilir. Plastik deformasyona karşı olan direnci sayesinde, herhangi bir çatlağın daha fazla ilerlemesini de önlemektedir. Özellikle aşınma direncinin yanında, çatlamaya karşı direncinin de bulunuyor olması kalın plakaların kullanılmasının zorunlu olduğu hallerde, aşınma elemanı olarak yüksek tokluk değeri ile idealdir.

Hardox HiTuf ortalama 350 HBW sertliğe sahip bir çelik türüdür. Kırıcı makinalar, kalın bıçak ağızları, yıkım ekipmanları ve parçalama makinalarında kullanılmaktadır.

3.3.7. Hardox Extreme

60 HRC yani 650-700 HBW sertlik özellikleri ile bugüne kadar geliştirilen en sert çelik türlerinden olan Hardox Extreme, yüksek aşınma dayanıklılığı sayesinde özel beklenti ve talepler olduğu durumlarda kullanılabilmesi için geliştirilen, üst seviye dayanıklılığa sahip bir çelik türüdür.

Yaygın olarak, tarım, inşaat, geri dönüşüm, çimento ve maden sektörlerinde kullanılmaktadır.

3.4. Hardox Malzemelerin Kaynağı

Hardox çelikleri, çinko oranlarının düşük olması nedeniyle, yüzeylerindeki koruyucu astar kaldırılmadan direkt olarak kaynak uygulamaları yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra istendiği durumlarda koruyucu astar rahatça fırçalanması suretiyle kaynak bölgesinden kaldırılabilmektedir. Kaynak öncesinde astarın kaldırılması, kaynak metalinde oluşabilecek gözenekli yapının en aza indirilmesi ve de kaynak pozisyonunun yatay pozisyon haricinde başka pozisyonlarda da uygulanabilmesini sağlamaktadır. Astarın, kaynak öncesinde kaldırılmaması, çok az miktarda kaynak metalinin gözenekli kalmasına sebep olacaktır. Özellikle Özlü kaynak telleri ile yapılan gaz altı kaynağı ile birlikte elektrot ile yapılan elektrik ark kaynağı yöntemleri daha az gözenek oluşumu meydana gelen yöntemelerdir. Kaynak uygulamaları yapılırken, astarın kaynak operatörüne zarar vermemesi için, işlem müddetince çok iyi duman emme ve havalandırma yapılması gerekmektedir. Şekil 3.3 de astar kaplı Hardox çeliği malzeme görülmektedir.



Şekil 3.3 : Yüzeyi çinko astar kaplı Hardox çeliği malzeme.

Bu malzeme türü için en önemli kaynak parametreleri aşağıdaki gibidir;

- Koruyucu gaz,
- Ön tav ve pasolar arası geçiş sıcaklığı,
- Yapıya olan ısı girişi,
- İlave kaynak metali türü,
- Uygulama sırası ve ağız açıklığı mesafesi.

3.4.1. Koruyucu gaz

Koruyucu gaz olarak, genellikle Ar ve CO_2 kullanılır. Argon gazı kullanıldığında, arkın ilerlemesi kolaylaşır, sıçrama ve oksitlenme azalır. CO_2 gazı kullanıldığında, dengeli ark, düşük gözenek oluşumu, kaynakta yüksek nüfuziyetin yanı sıra, kaynakta sıçrama ve nozulda birikmeler meydana gelir.

3.4.2. Ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklık

Kaynakta en çok karşılaşılan hatalardan olan hidrojen çatlamalarının ortaya çıkmaması için ön tav ve de pasolar arası geçiş sıcaklıklarının kontrolleri ve doğru uygulanmaları önem arz etmektedir. Hardox çeliklerinde, saç kalınlıklarına göre tavsiye edilen minimum ön ısıtma sıcaklıkları Tablo 3.4 te verilmiştir.

Farklı alaşım elementlerinin birbirinden çeşitli özelliklerinin kombinasyonu ile oluşturulan Hardox çeliklerinin mekanik özelliklerinin üst düzeye ulaşmasını sağlamıştır. Bu elementlerin oransal bilgisi, kaynak uygulamasında ön tav ve pasolar arası geçiş sıcaklıklarının rahatça kontrol edilebilmesini sağlamasının yanı sıra karbon eş değeri hesaplarının yapılmasında da kullanılmaktadır. Karbon eş değerleri CEV ya da CET olarak gösterilir ve Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Mo+Cr+V}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15}\,[\%] \tag{3.1}$$

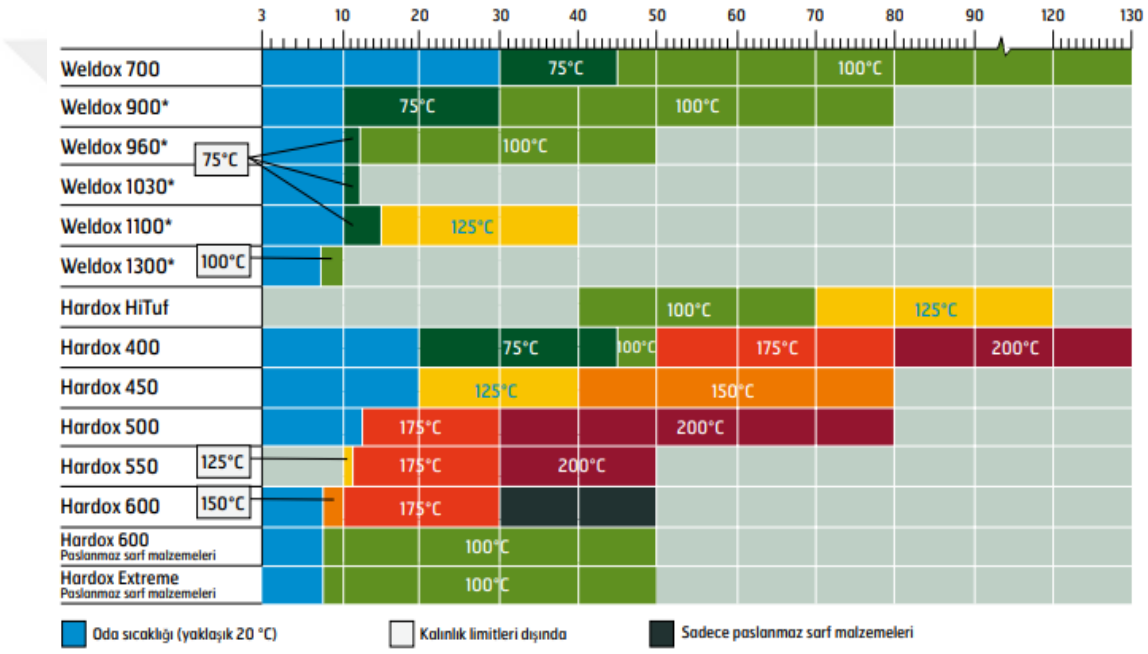
$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40}\,[\%] \tag{3.2}$$

Karbon eşdeğeri yüksekliği çoğunlukla uygulama için daha yüksek ön tavlama ve pasolar arası geçiş sıcaklıkları kontrolünü gerektirmektedir.

Hidrojen çatlağı oluşmaması için dikkat edilmesi gereken kurallar aşağıdaki gibidir:

- Ön tavın doğru yapılması ve de pasolar arası geçiş sıcaklıklarının kontrolleri.
- Hidrojen içeriği düşük ilave metaller kullanılmalıdır.
- Kaynak bölgesi temizliğine dikkat edilmelidir.
- Gerek duyulmadıkça yüksek dayanımlı kaynak telleri tercih edilmemelidir.
- Çarpılmaların azaltılması için kaynak işlem sırası iyi ayarlanmalıdır.
- Kaynak ağzı açıklıkları en fazla 3 mm olacak şekilde tutulmalıdır.

Tablo 3.4 : Hardox çelikleri, önerilen ön ısıtma sıcaklıkları.



Aynı tür çelikten meydana gelen ama farklı et kalınlığında parçalar birleştirilmek istendiğinde, gereken ön tav ve pasolar arası geçiş sıcaklıkları en kalın parçaya göre seçilir.

Farklı cins çelikler birlikte kaynak edildiğinde, gerekli ön ısıtma ve geçiş sıcaklıklarını en yüksek ön ısıtma sıcaklığı gerektiren levha belirler. Tablo 3.5 te Hardox çelikleri için önerilen pasolar arası maksimum geçiş sıcaklıkları verilmektedir.

Tablo 3.5 : Hardox çeliklerinin pasolar arası tavsiye edilen geçiş sıcaklıkları.

Malzeme	HiTuf	Hardox 400	Hardox 450	Hardox 500	Hardox 550	Hardox 600	Hardox Extreme
Sıcaklık	300ºC	225ºC	225ºC	225ºC	225ºC	225ºC	100ºC

Yüksek nem oranı ya da sıcaklığın +5 ºC altında olması durumunda, Tablo 3.4 te verilen en düşük ön tav sıcaklığı 25ºC arttırılması gerekmektedir. Isı girdisinin 1.0 kJ/mm olduğu hallerde ve de iyi düzeyde bağlantılı kaynak bileştirilmelerinde aynı şartlar geçerli olmaktadır. Yine Tablo 3.4 e göre önerilmekte olan en düşük ön tav ve pasolar arası geçiş sıcaklıkları 1.7 kJ/mm nin üstündeki ısı girdilerinde değişmemektedirler. Bu çıkarımlar kaynak bölgesinin hava ortamında soğutulduğu şartlara göre kabul görmektedir. Aynı çıkarımla punto birleştirmeleri ile birlikte kök paso kaynak uygulamaları için de verilmektedir. Punto kaynakları arasındaki mesafeler taleplere bağlı değiştirilebilirken, her punto kaynağı en az 50 mm uzunluğunda olması gerekmektedir.

3.4.3. Isı girdisi

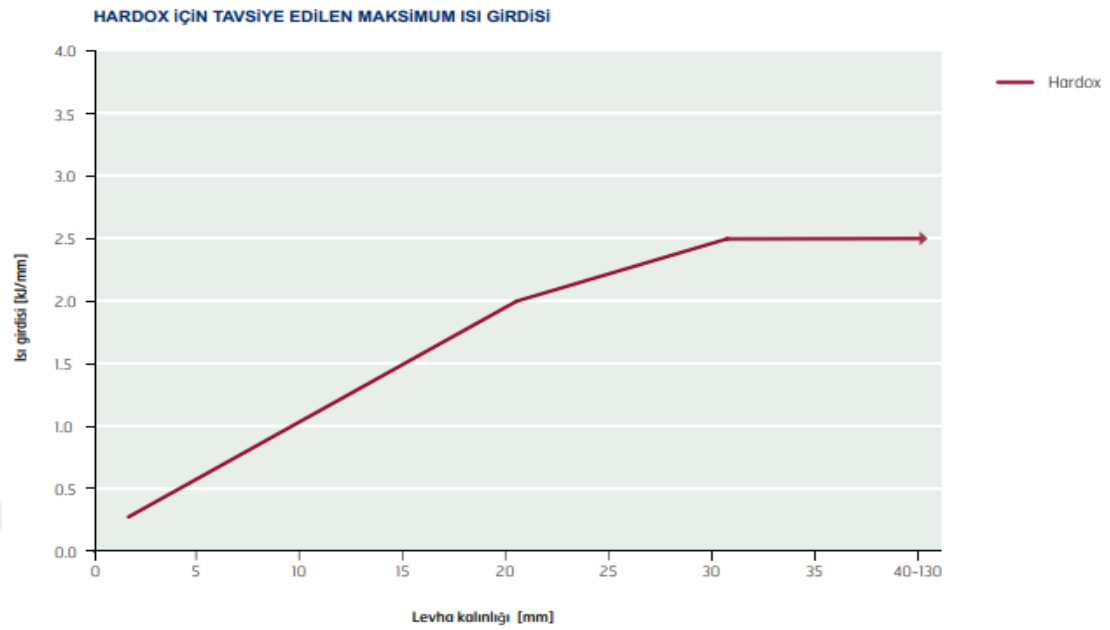
Kaynak uygulamalarında, iş parçalarında oluşan ısı miktarı kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Bu etki, Denklem 3.3 ile hesaplanabilen ısı girdisi ile belirtilir. Kaynak yöntemlerine göre termal verimlilik değişim gösterebilir.

$$Q = \frac{kxUxIx60}{vx1000} \tag{3.3}$$

Q =Isı girdisi [kJ/mm], U = Voltaj [V], I = Akım [A], v = Kaynak hızı [mm/min], k = Termal verim [MMA ve MAG için 0,8; Toz altı için 1,0; TIG kaynağı için 0,6 alınır].

Isı girdisi, kaynak üzerinde ısı girdisinin düşük ve yüksek girdi sağlaması durumuna değişmektedir. Düşük ısı girdisi sağlanırsa; mukavemet artışı yanı sıra, iyi düzeyde tokluk yakalanırken, düşük çarpılma ve deformasyon ve de daha ince ITAB elde edilir. Isı girdisinin fazlalığında ise; klasik kaynak yöntemleri için daha yüksek üretkenlik sağlanır. Tablo 3.6 da Hardox çelikleri için tavsiye edilen ısı girdisi gösterilmektedir.

Tablo 3.6 : Hardox çelikleri için tavsiye edilen maksimum ısı girdisi.



3.4.4. Kaynak ilave metalleri

Hardox çeliklerinin birleştirilmesinde ilave dolgu metali olarak paslanmaz çeliklerin yanı sıra az alaşımlı ve alaşımsız çelikler kullanılması uygundur.

3.4.4.1. Az alaşımlı ve alaşımsız ilave kaynak metallerinin dayanımları

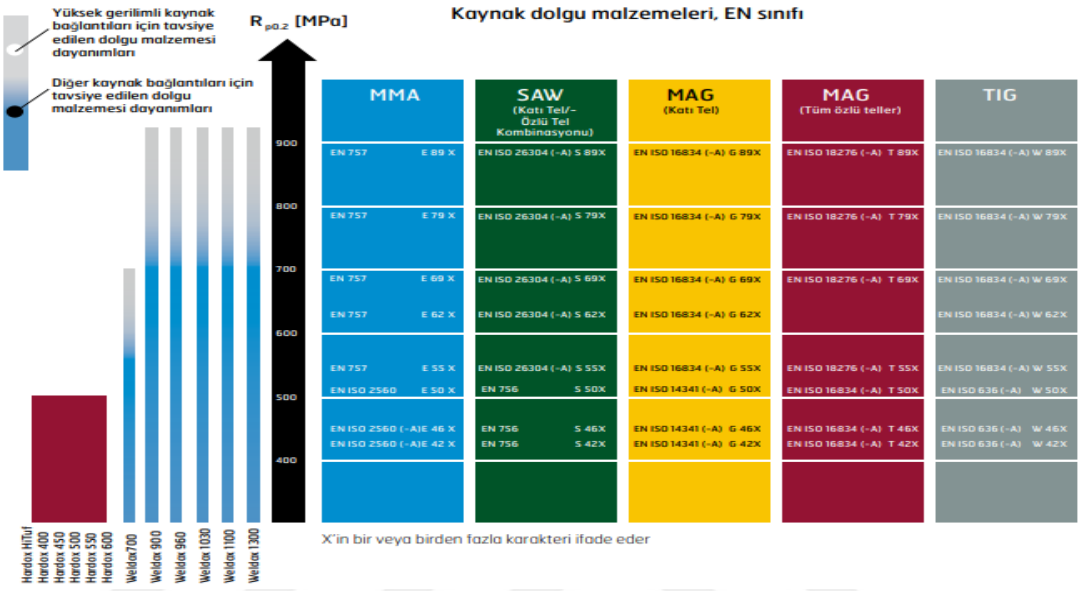
Kaynak ilave metallerinin akma dayanımları Tablo 3.7 ve Tablo 3.8 e göre belirlenmelidir. Akma dayanımı düşük ilave metaller kullanıldığında kaynak bölgesinde, yüksek tokluğa sahip, düşük hidrojen içerikli ve de gerilim ve distorsiyonlarda azalma gibi çok fazla mukavim özellikler elde edilmektedir. Kaynak metallerine göre ön tav sıcaklıkları önerildiğinde, en yüksek sıcaklığa sahip değerlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Hardox çelikleri Tablo 3.7 ve Tablo 3.8 de verildiği gibi düşük dayanıma sahip ilave kaynak metalleri ile birleştirilmelidir.

3.4.4.2. Az alaşımlı ve alaşımsız ilave kaynak metallerinin hidrojen içerikleri

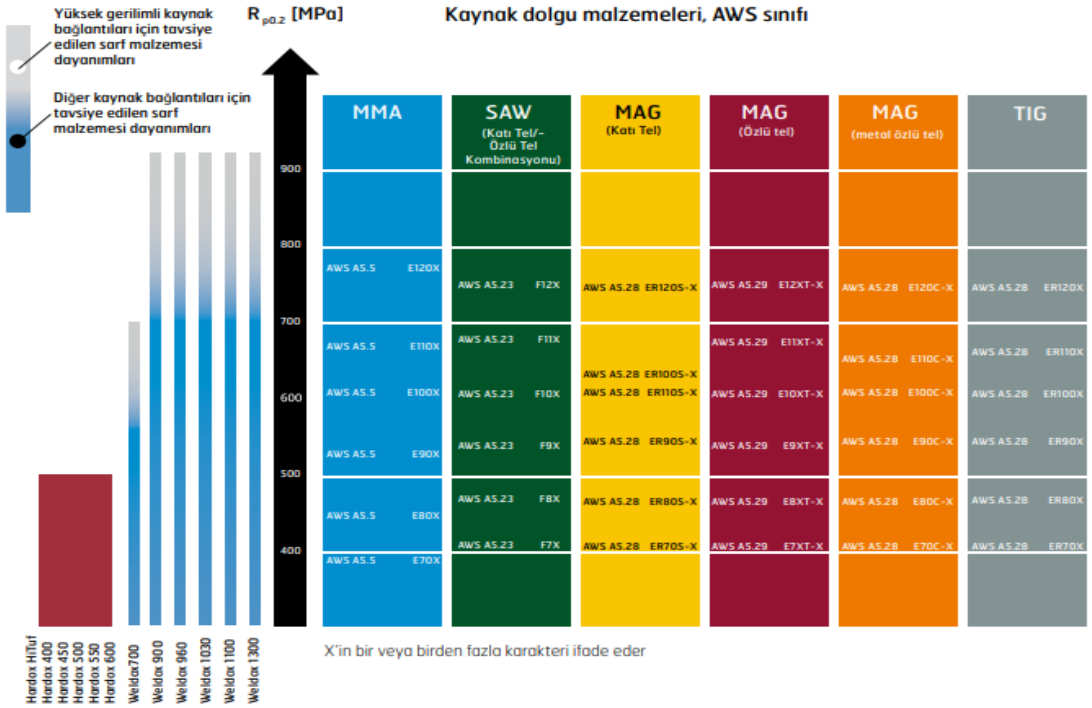
Az alaşımlı ya da alaşımsız ilave kaynak metalleri kullanıldığı durumlarda hidrojen içeriği en çok 5 ml/100g olmaktadır. Gaz altı ve TİG kaynağı uygulamalarında kullanılan ilave teller, düşük hidrojen içeriklerinin kaynak bölgesinde de yakalanmasını

sağlamaktadırlar. Kaynak telleri, üretici firmalarının önerilerine uygun olarak saklandığı durumda, hidrojen içeriği de istenilen düzeyde kalabilecektir. Tüm bu bilgiler özlü kaynak telleri ve kaynak elektrotlarını kapsamaktadır.

Tablo 3.7 : Kaynak dolgu malzemelerinin akma dayanımı, EN sınıfına göre.



Tablo 3.8 : Kaynak dolgu malzemelerinin akma dayanımı, AWS sınıfına göre.

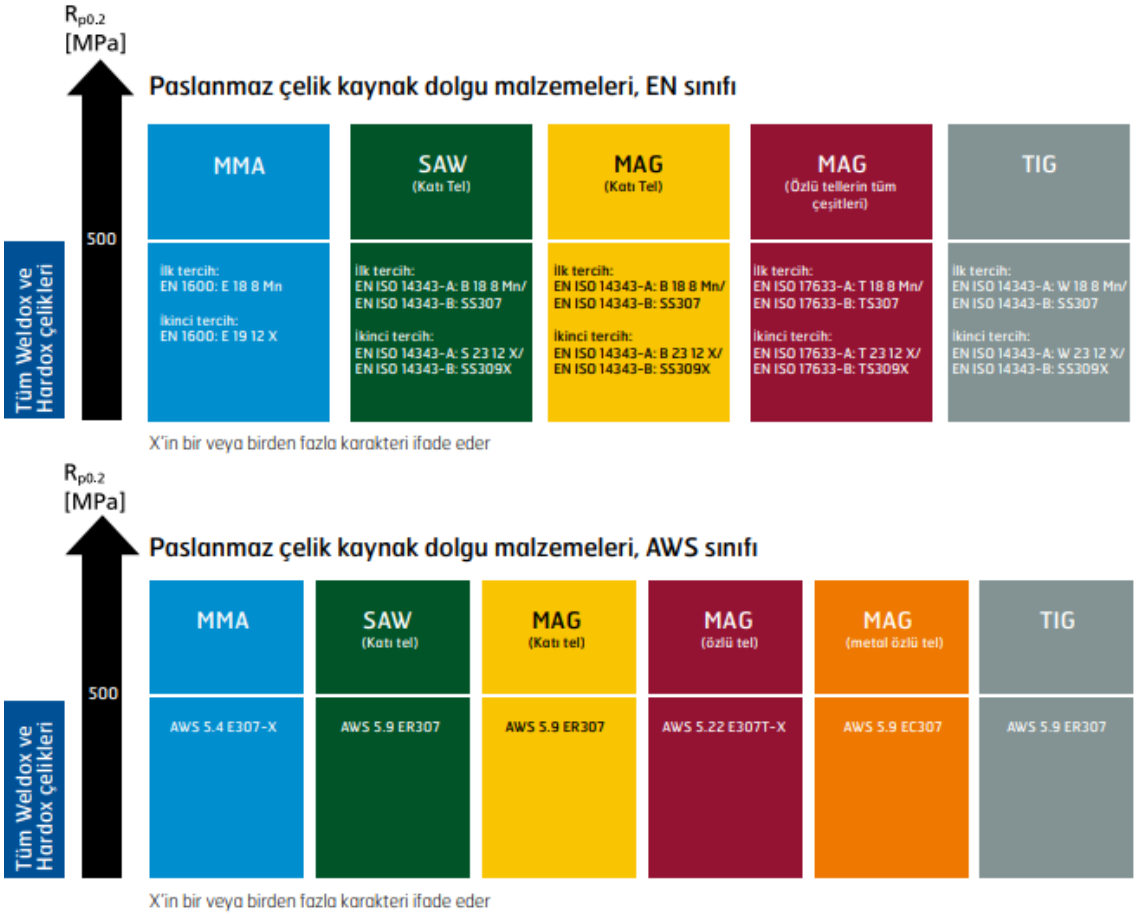


3.4.4.3. Paslanmaz çelik ilave kaynak metalleri

Östenitik paslanmaz çelikler, ilave kaynak metali olarak, Hardox çeliklerinin kaynağında kullanılabilirler. Hardox 600 çelikleri dışında, diğer Hardox çelikleri oda sıcaklığında, ön tav yapmaya gerek kalmadan Tablo 3.9 da verildiği gibi ilave paslanmaz çelik kullanılarak kaynaklanabilirler.

Paslanmaz çelikler içerisinden bu bilgiye uygun olarak, 307 ve 309 kalite de paslanmaz çelik ilave kaynak metalleri sıkça kullanılmaktadır. Bu kalitede ilave metallerinin akma dayanımları tüm kaynak metallerinin neredeyse 500 MPa ulaşmasını sağlamaktadır. 307 kalite paslanmaz çeliğin, sıcak çatlama direnci 309 kalite paslanmaz çelikten daha yüksektir. Paslanmaz çelik telleri üretici firmaları çoğunlukla hidrojen miktarlarını vermezler. Bunun sebebi ise bu çeliklerde olan hidrojen miktarı, diğer az alaşımlı ve alaşımsız ilave metallerde olduğu gibi olumsuz etkiler sağlamaz.

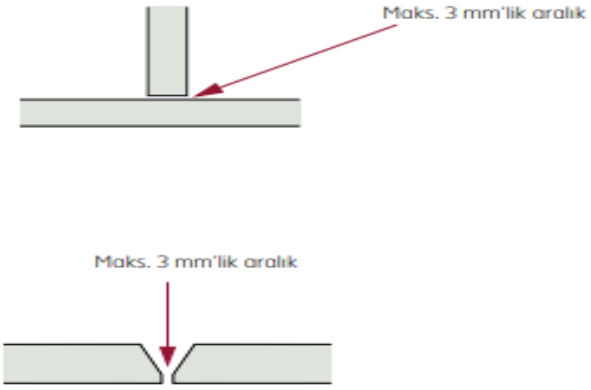
Tablo 3.9 : Paslanmaz çelik kaynak dolgu malzemeleri, EN ve AWS sınıfına göre.



3.4.5. Kaynak uygulama sırası ve ağız açıklığı mesafesi

Kaynak birleştirmelerinde, hidrojen çatlamalarının oluşmaması için şu hususlara dikkat edilmelidir;

- Kaynağın başlama ve bitiş alanları, tam köşe noktalarından seçilmemelidir. İmkan var ise, köşelerden 5 ila 10 cm mesafede olmalıdırlar.
- Birleştirilecek iş parçaları arasındaki mesafe Şekil 3.4 te verildiği gibi en fazla 3 mm olması önerilir.



Şekil 3.4 : Tavsiye edilen kaynak bağlantı aralık mesafeleri(mm).

Sıkça olmasa da, Hardox HiTuf çeliğine kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işlemi yapılabilmektedir. Gerilim giderme ısıl işlemi bazı Hardox türlerinde mekanik dayanımları doğrudan etkilediğinden, her tip Hardox çeliğine bu işlem uygulanmaması tavsiye edilmektedir.

BÖLÜM 4. ROBOT SİSTEMLERİ

4.1. Robot Sistemleri Tarihçesi

‘’Robot’’ kelimesi yaklaşık 1 asır önce, ilk olarak Çekçe de ‘hizmetçi ya da hizmet eden’ anlamında olan ‘’robota’’ kelimesinin, Çek yazar K. Capek tarafından bir piyeste kullanılması ile bugüne kadar ulaşmıştır. Günümüzde robotlar, etrafıyla iletişim kurabilen, algılayabilen, öğrenebilen, planlayabilen ve de uygulayabilen işlevlere sahip elektronik ve mekanik sistemler topluluğudur. Her mekanik ve elektronik sistem robot değildir. Robotik sistemler, üzerlerindeki algılayıcı sensörler ile verileri toparlar, devamında bu verileri doğrulama yaptıktan sonra harekete geçerler.

Toplumlar ilk çağlardan beri yaşamı kolaylaştırabilecek icatlar arayışında idi. Basit olarak tekerleğin icadıyla başlayan bu serüven, endüstriyel devrimler ve devamında dijital sanayi ile birlikte teknoloji tarihi bakımından çok büyük bir mesafe kaydetti. Dijital çağın geldiği son noktada, bilgi teknolojileri ve siber-fiziksel uygulamaların devreye alınmasına bağlı olarak, insan – robot iletişimi günümüze kadar ulaştı. Bu şekilde teknolojik gelişmelerin en üst noktası kabul edilen şüphesiz ki robot sistemleri oldu. Şekil 4.1 de genel manada çok amaçlı robot sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Çok amaçlı robot örneği.

Amerikan Robot Enstitüsüne göre, robot sistemlerini kısaca şöyle ifade edilmektedir: "Robot, farklı işlevlerin yaptırılabilmesi için, üzerine programlama yapılabilen, birden fazla fonksiyona sahip, parçaların hareket ettirilmesi için tasarlanmış, manipülatördür."

ISO 8373 standardına göre, robotun geniş kapsamda tanımı ve sınıflandırmaları yapılmıştır. Standarda göre robot şöyle tanımlanmıştır: "Sabit ve hareketli olan, endüstriyel çalışmalarda kullanılan, en az üç eksene sahip, tekrar programlanabilme özeliğinde, otomatik kontrol sağlanan, çok fonksiyonlu manipülatördür."

Robotlardaki bu gelişme, kullanım alanına bağlı olarak sanayi ve ev tipinin yanında, hobi ve eğlence amaçlı robotlar şeklinde çoğaldı. Günümüz robotlarının en önemli fonksiyonları olan çok yönlü hareket sağlamalarının yanı sıra, uzun süre garanti sağlayabilmeleridir. Bu sistemler, özellikle hayati tehlike oluşturan çalışma alanlarında ve yahut sürekli tekrarlanan işlerde önemli avantajlar meydana getirdi.

4.2. Robotik Sistemlerin Kullanım Alanları

Robotlar, kaynak, paletleme, sıcak dövme, montaj, boyama ve döküm yaparak biçimlendirme hatlarında aktif olarak yer edinmektedir.

4.3. Dünya Çapında Robotların Kullanımı

Endüstriyel robot sistemleri günümüzde, yalnızca belirli sektörlerde ve büyük firmaların değil, tüm sektörlerde, orta ve küçük büyüklükteki birçok firmalarda yoğun olarak kullanılmaktadır. 2015-2016 yıllarında, dünya çalışan nüfusuna göre, her 10.000 çalışan kişi başına düşen robot ayısı 66'dan 74'e arttı. Uluslararası Robot Federasyonu, bu artışın her geçen sene katlanacağını öngörmektedir.

Güney Kore, her 10.000 çalışan kişiye denk gelen 631 robot ile ülkeler arasında en yüksek orana sahiptir. Bu sistemlerin büyük çoğunluğu otomotiv ve elektronik sanayisinde montaj hattında çalışan robotlar olduğu bilinmektedir. Singapur ise, her 10.000 insan başına 488 robot sayısı ile Güney Kore'yi takip etmektedir. Uluslararası Robot Federasyonun verilerine göre, bu robotların 440 tanesinin elektronik sanayisinde kullanıldığı bilgisi veriliyor.

Avrupa'da en yüksek oran olan her 10.000 insan başına 309 robot sayısı ile Almanya olurken, dünya da ise üçüncü sırada yer almaktadır. Almanya, Avrupa'daki toplam robot sayısının %41 ine sahip olması ile de Avrupa'nın en yüksek sayıda robotik imalat teknolojisi bulunduran ülkesidir.

İsveç 223, Danimarka 211, İtalya 185 ve Belçika 184 adet robot sayıları ile küreselde en yüksek oranda robotik sisteme sahip olan ülkeler arasındadırlar. Bununla beraber, İngiltere, 2016 senesinde her 10.000 kişiye düşen 71 robot sayısı ile G7 ülkeleri arasından küresel ortalamaya en yakın olan tek ülkedir. Uluslararası Robot Federasyonu'na göre İngiltere'nin, endüstriyel verimliliğin arttırılması doğrultusunda yatırımlar yapması gerektiğini belirtmekte. Doğu Avrupa Bloğunda, Slovenya 137, Slovakya 135 ve Çek Cumhuriyeti de 10.000 çalışana düşen 101 robot adetleriyle, hızla ekonomik büyüme gösteren Avrupa ülkelerinden.

Evrensel yönetim danışmanlığı kuruluşu McKinsey in yayınlamış olduğu rapora göre, dünya çapında otomasyon ve robot sistemleri nedeni ile yaklaşık 800 milyon çalışanın işlerinden olabileceği belirtilmiştir.

Küreselde en güçlü ekonomiye sahip Amerika Birleşik Devletleri'nde, 2016 yılında her 10.000 çalışan kişi başına 189 robot sayısı bulunmaktadır. Amerika'nın büyük sanayi

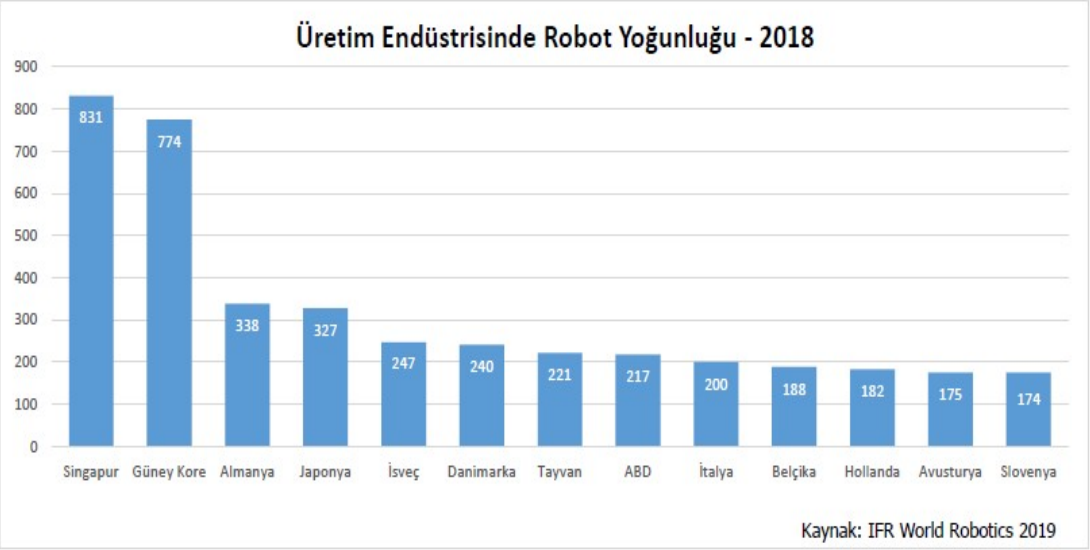
üreticileri, dünya çapında daha fazla güç sağlamak için üretimde otomatikleşme planları yapmaktaydılar. Ürettiği otomotivleri, çoğunlukla Amerika Birleşik Devletleri ne ihraç eden Meksika, her 10,000 çalışan başına 33 adet robot düşmektedir.

Çin, küresel üretim pazarında yer edinebilmek ve rekabet sağlayabilmek için robot sistemlerinde hızla atılım yapmaktadır. 2016 yılında her 10.000 işçiye 68 adet robot düşmekteyken, üç yıl öncesi ile kıyaslandığında neredeyse %300 artış yaşandı. Çin hükümeti, 2020 de dünya robot piyasasının en iyi 10 ülkesine girerek, daha fazla büyümeyi amaçlıyorlar.

Uluslararası Kaynak Federasyonu başkanı Junji Tsuda'nın Dünya Ekonomik Forumu'nda verdiği demeçte: "Üretimde robot sistemleri kullanımı, farklı ülkelerde endüstri sanayilerinin otomasyon düzeylerindeki farklılıkları kıyaslamak için iyi bir uygulamadır. Son dönemlerde Asya kıtası, yüksek gelişim oranı göstermektedir. 2010- 2016 seneleri arasında, Asya kıtasında robot kullanımı artış oranı %9 iken, Amerika kıtasında %7 ve Avrupa kıtasında ise %5 olarak ölçüldü."

Uluslararası Robotik Federasyonu'ndan alınan verilerine göre Tablo 4.1 de gösterildiği gibi ülkelerarası her 10.000 kişi başına düşen robot sayısı gösterilmektedir.

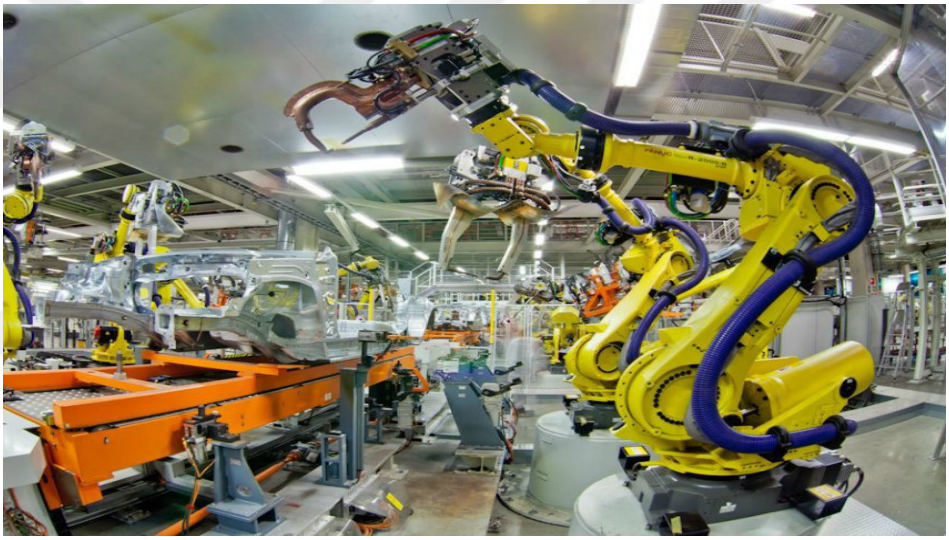
Tablo 4.1 : Ülkeler arası her 10.000 kişi başına düşen robot sayıları (IFR).



Tablo 4.1 de görüldüğü gibi, Uluslararası Robotik Federasyonu'nun 2019 yılında yayınladığı veriler doğrultusunda, 2018 yılında kıta bazında robot yoğunluğu en yüksek kıta Avrupa olurken, en düşük ise Asya oldu.

Uluslararası Robotik Federasyonu'nun verilerine göre Avrupa kıtası, endüstriyel robot sayısının en yüksek olduğu kıta oldu. Avrupa ülkelerinde ortalama her 10.000 çalışan kişi başına 114 adet robot düşerken, bu sayı Asya kıtasında 91 ve de Amerika kıtasında 99 adet robot olarak bilinmektedir.

Şekil 4.2 de ise günümüzde yoğunlukla robot sistemleri olan otomotiv üretim hattından bir robot görülmektedir.



Şekil 4.2 : Otomotiv sektöründe kullanılan robot sistemleri.

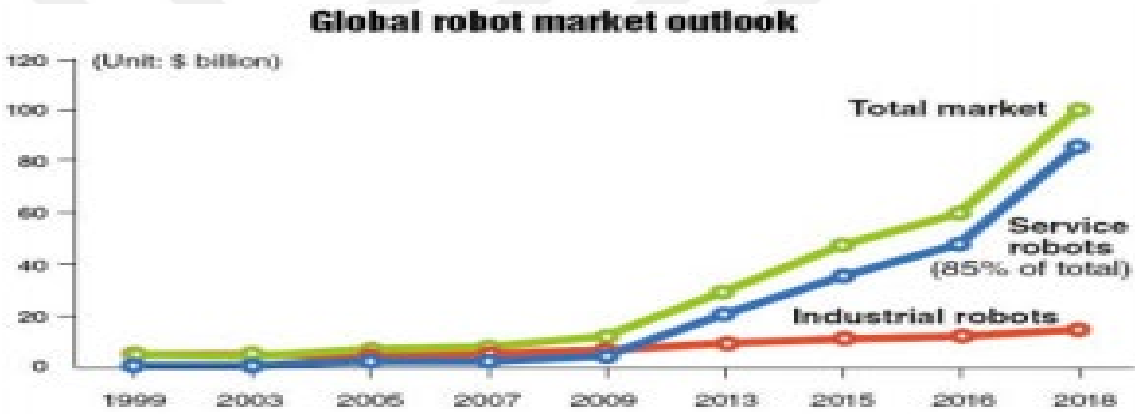
IFR'nin 2019 yılında yayınladığı veriler doğrultusunda, 2018 yılında küreselde endüstriyel alanda en fazla robot ortalamasının bulunduğu ülkeler sıralamasında birinci sıraya Singapur yerleşti.

Bu kapsamda 2017 senesinde her 10.000 çalışana 658 robot sayısı ile ikinci olan Singapur, 2018 yılında 831 adet robot sayısı ile ilk sırada yerini aldı. Listenin ikinci sırasında geçen yılki değerlendirmede birinci olan Güney Kore yer aldı. 2017 senesinde, G.Kore'de üretim endüstrisinde her 10.000 işçiye 710 adet robot düşmekteyken, 2018 senesinde bu sayı 774 olarak kaydedildi. Güney Kore'yi geçen yılki verilerde olduğu gibi yine Almanya takip etti. 2017 yılında 322 robot ile üçüncü olan Almanya, robot

yoğunluğunda artış yaşamasına rağmen sıralamada her 10 bin çalışan başına düşen 338 robot ile aynı sırada kaldı. Almanya'nın ardından 327 robot ile Japonya dördüncü ve 247 robot ile İsveç beşinci oldu. Çin Devleti, oromasyon sistemlerinde en hızlı artış gören ülke olmasına karşın, ortalama robot sayısı bakımında listede son sıralarında yer almaktadır.

Tablo 4.2 de görüldüğü gibi, 2018 – 2020 yılları arasında, küreselde robot pazarının 100 milyar dolar gibi bir düzeye gelmesi öngörülmektedir. Buna bağlı yine IFR dan alınan bilgilere dünya çapında bulunan robot firmalarının belirlenen dönemlerde Ar-Ge verileri de Tablo 4.3 te verilmektedir:

Tablo 4.2 : Küresel robot piyasası.



Tablo 4.3 : Küresel çapta bazı robot üreticilerine ait Ar-Ge harcamaları (IFR).

Şirket	Yıl	ArGe harcamaları	Çalışan sayısı	Çalışan başına ArGe harcaması
ABB	2013	$ 1.470.000.000	147700	$ 9.953
	2012	$ 1.464.000.000	146100	$ 10.021
	2011	$ 1.371.000.000	133600	$ 10.262
FANUC	2013	$ 214.340.000	5261	$ 40.741
	2012	$ 237.631.000	2674	$ 88.867
YASKAWA	2013	$ 101.970.000	10383	$ 9.821
	2012	$ 121.046.000	8246	$ 14.679
	2011	$ 125.611.000	8085	$ 15.536
KUKA	2013	$ 81.260.000	7990	$ 10.170
	2012	$ 56.240.000	7264	$ 7.742
	2011	$ 48.850.000	6589	$ 7.414

4.4. Kaynak Sektöründe Robot Teknolojisi

Endüstriyel robot sistemleri temel olarak, maliyetlerini düşürülmesi yanı sıra üretkenliğin ve kalitenin arttırılması ve de imalatı zor, kişilere fiziki zarar sağlayan, sağlıksız iş ve ortamlarda çalışılması gereken yerlerde insan gücünün yerine kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu şekilde insan gücü, beyin gücü gerektiren çalışmalarda daha fazla yer alabilecektir.

İnsanoğlu sınırlı güçleri sebebiyle, daha fazla güç sağlayabileceği ve kendisinin yönetebileceği mekanik ve elektronik sistemler geliştirmiştir. Sanayi devrimi aslında bu sistemlerin uygulama ve gelişme çağı olmuştur. Bu sistemlerin komut almadan kendi başına karar verme ve uygulama yetenekleri bulunmamaktadır. Bunun için çoğunlukla sistemi çalıştıran ve yöneten bir operatör gerekmektedir. Teknolojik gelişmeler yaşandıkça insan gücünün yerini alabilecek ve kendi çalışmasını kontrol eden tam otomatik makinalar üzerinde çalışmalar artmıştır. Bu sayede insan yalnızca kendisinde olan düşünebilme özelliğinden dolayı kendisi yerine çalışabilecek, konusunda ve alanında uzman ve iş yapabilen mekanik ve elektronik sistemler topluluğu geliştirmiştir. Bu gelişmeler gün geçtikçe artmış ve bir uygulamayı baştan sona insan eli değmeden tamamlayabilen robotik uygulama sistemleri meydana gelmiştir. Bu şekilde karmaşık sistemler topluluğu, sensörler yardımıyla çevresini algılayabilen, verileri toparlayarak kullanabilen ve herhangi bir yöneticiye gerek kalmadan verdiği kararları uygulayabilen sistemlerdir.

Endüstriyel çalışma ve rekabet şartlarında, yapılan iş kalitesi ve seriliği büyük önem arz etmektedir. Robot sistemleri kullanılarak üretimde, kalite standartları yükseltilmekte, seri ve sürekli üretim uygulanabilmekte, malzeme kayıpları azaltılırken, işçilik maliyetleri de düşmektedir. Bu sayede ileri teknoloji robotik sistemleri olan firmalar rakipleri karşısında daha rekabetçi konuma gelmektedir.

Neredeyse üretim yapan tüm firmalar küresel pazarda rekabet edebilmek için robotik otomasyona bağlı kaynak sistemlerini kullanmaktadırlar. Bu sistemleri kullanan üretici firmalar, kaynakta kaliteyi, verimliliği, sürekliliği rahatça sağlayabilmekte ve de kendilerine gelen anlık talepleri kolayca karşılayabilmektedirler.

Robot sistemi kullanılarak elde edilen kaynak düşünüldüğünde, sistemler sarf kaynak tellerinin yaklaşık 1.5 kat tekrar edilebilir hassasiyete sahip kaliteli iş parçaları elde edilmesini sağlar. İş parçaları bu şekilde tekrarlanabilir olmuyorsa, dokunma (touch), dikiş izleme (seam tracker) ya da ark sensörlerinden herhangi birisinin varlığı gerekmektedir. Kaynak dikiş çizgisinin takibi ark sensör desteği ile takip edilirken, bu sayede iş parçasının üzerinde oluşabilecek gerilme, hata vb. durumların oluşumunu düzeltmek ya da ortadan kaldırma imkânı meydana Kaynak başlangıç noktası touch sensör desteği ile rahat ve doğru bir şekilde tespit edilebilir.

Kullanılacak robot düzeneği belirlenirken ilk adım olarak kaynak prosesinin ve sistem ekipmanlarının doğru olarak tanınması ve ona göre seçilmesidir. Seçilen kaynak prosesi, kaynağın dikiş formundan, üretim hızına ve doğrudan da parça kalitesine etki edecektir. Manuel yapılan kaynak işleri bazı durumlarda robotlar tarafından gerçekleştirilemeyebilir. Robot sistemleri bazı iş parçaları için konumlama yapamayabilirken, kaynak operatörü bunu yapabilir. Robot sistemleri çoğunlukla bir kaynak operatöründen 2 ila 4 kat daha hızlı bir şekilde, daha verimli kaynak yapabilmekte ve de üst seviye kalitede birleştirmeler elde edilmesine imkân sağlamaktadır.

Sonuç olarak hangi iş parçalarının robotik kaynak sistemleri ile kaynaklanması gerektiğini doğru seçmek gerekmektedir. Yapılacak iş için gerekli parça sayısı ve çeşitliliği fazla olması halinde maliyeti çok yüksek bir robotik kaynak sistemine ihtiyaç duyulacaktır. Bundan kaçınmak için kullanılacak iş parçalarından en fazla önem arz edenlere göre planlama yapılmalıdır. Bu durum dikkate alınarak alım yapıldığında, yatırımcı, robot alımında oluşabilecek finansal fazlalıktan kurtulmuş olacaktır.

Sistem için, ilk çıkarılan maliyeti ile sonradan sistem üzerine muhtemel eklenebilecek parçalar ile birlikte oluşan maliyetler de hesap edilerek, yatırım süreleri göz önüne alınmasıyla asgari bir tercihte bulunmak gerekmektedir. Robot alımı için nihai karar verilebilmesi için aşağıdaki faktörler etkili olmaktadır;

- Robot yetkinliği,
- İş gücü potansiyeli (insan),
- Finansal durum,
- Kurulacak sistemden beklenti.

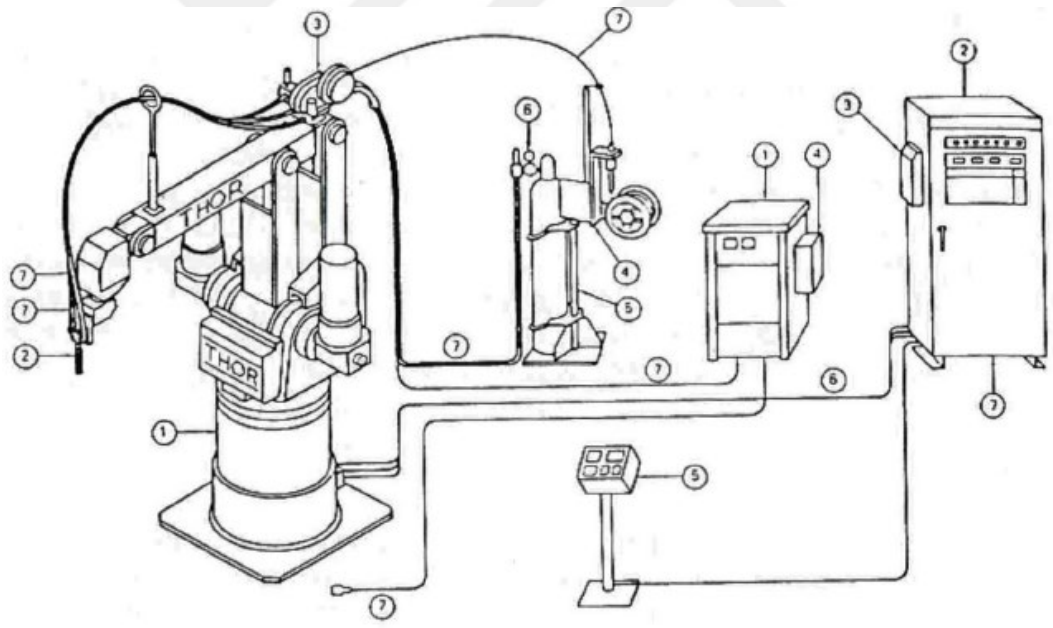
Daha fazla iş ve üretim talep edilmesi durumunda, doğal olarak maliyetin artması söz konusu olacaktır. Ancak, gelen bu talepleri de karşılayabilmek için maliyet ve risk azaltılırken, performansın dengelenmesi için farklı çözümler de bulunmaktadır.

4.4.1. Robot ile ark kaynağı uygulamaları

Robot ile ark kaynağı uygulamalarında kullanılan sistemler dört parçadan meydana gelmektedir:

- Manipülatör (Hareket mekanizması)
- Kontrol ve güç ünitesi
- Kaynak yardımcı ekipmanları
- İş parçası pozisyoner ve sliderları

Şekil 4.3 te Kaynak makine ve robotlarının bağlantılı donanımları gösterilmektedir.



Robot Donanımları :

1) Ark Kaynak Robotu
2) Robot Kontrol Ünitesi
3) Öğretme (Teaching) Kutusu
4) Kaynak Sinyal Ünitesi
5) Kontrol Ünitesi
6) Kablolar

Kaynak Makinası Donanımları :

1) Güç Ünitesi
2) Kaynak Torcu
3) Tel Besleme Ünitesi
4) Tel Kontrol Ünitesi
5) Koruyucu Gaz Ünitesi
6) Manometre
7) Kablo ve Hortumlar

Şekil 4.3 : Ark kaynak robot sistemi.

Manipülatör

Kaynak uygulamasının yapılabilmesi için gereken hareketlenmeyi veren mekanik sistemdir. Kaynak çalışmalarında en çok tercih edilen hareket sistemleri, 6 ve 5 eksenli antropomorfik ve hibrit yapıya sahip robotlardır. 6 eksenli robotlar çalışma boşluğu içerisinde olan her yörüngeyi izleyebilme kabiliyetine sahiptir ve çoğunlukla 3 boyutlu malzemelerin kaynağında kullanılır. 5 eksenli hibrit tip robotlar ise yatay ve hızlı işlenen iş parçalarının kaynaklı imalatında kullanılmaktadır.

Ark kaynağı yönteminde çoğunlukla hareketin tekrarlanması yeteneğinin +0,1 ve -0,1 mm sapmalarda olması gerekmektedir. Kullanılacak kaynak robotuna ait yük taşıyabilme kapasitesi, diğer taşıma robotları seviyesinde olması gerekli değildir. Bundan dolayı üretimde kullanılmakta olan kaynak robotlarının çoğunluğu 4,5-6 kg ağırlığında taşıma kapasitesine sahiptirler.

Kontrol ve güç ünitesi

Kaynak torcunun uygulama sırasında takip etmesi gereken sıralama, robot sistemine öğretme işlevi ile aktarılır. Robot operatörü, izlenmesi gereken yolu, parça üzerinde referans noktaları ve de bu noktalar için kaynak iş parametrelerini robot sistemi içerisindeki yazılım ile komutlar vererek oluşturur. Kontrol ve güç ünitesi de bu bilgilere bağlı olarak robotun işleyiş sırasını ve kaynak bilgisini hafızasına almış olur. Öğrenimi yapılan bu veriler ışığında ve de algılayıcılardan alınan geri bildirim sinyallerine bağlı robot hareket motorlarının dönme sayısı, hızı ve kuvvet değerleri kontrol ve güç ünitesi tarafından oluşturulur.

Kontrol ve güç ünitesinin robotta 6 ekseni kontrol edebiliyor olması yeterli gibi seviyededir. Bununla birlikte robota yardımcı ekipmanlar ilave edilmesi durumunda tek bir ek eksen kartı ile kontrol ünitesi talepleri karşılıyor düzeyde olması gerekmektedir. Bazı robot sistemleri 15 eksene kadar yükseltilebilirken talepleri fazlaca karşılayabilecek konuma getirilmektedirler.

Kaynak yardımcı ekipmanları

Robotik kaynak sistemlerinde çoğunlukla gaz altı ve tig kaynağı uygulamaları yapılmaktadır. İçerlerinde en fazla kullanılan yöntem ise karışım gaz koruması yapılan MAG yöntemidir.

MİG-MAG kaynak uygulamaları tükenen kaynak teli ile yapılırken, TİG kaynağı uygulaması ise saf Argon gazı koruyuculuğunda tükenmeyen çubuk elektrot kullanılarak yapılan kaynak yöntemleridir. MİG kaynağı uygulamasında saf Argon gazı koruyuculuk görevini üstlenirken, MAG kaynağı yönteminde Argon-Karbondioksit karışımı gazı, koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır.

Tristör modüllü konvansiyonel tip kaynak sistemlerine nazaran daha hassas akım ve gerilim değerlerini ayarlayabilen ve daha hızlı kontrol sağlayabilen, yeni nesil kartlı inverter tip sistemler de geliştirilmiştir. Bu makineler ile kaynağa başlangıç ve bitiş özellikleri iyileşmekte ve bununla beraber kısa ark oluşumu basit bir yolla sağlanabilmektedir. Yine bu sistemler sayesinde, istenen kalitede dikiş formu elde edebilmek adına, kaynak işlemi sırasında, frekans, dalga formu, darbe akım sayısı ve de metal aktarımının kontrolü yapılabilmektedir.

İş parçası pozisyoner ve sliderları

Kontrol ve güç ünitesi sayesinde robot ile bağlantılı olarak kontrolleri sağlanabilir. İş parçası pozisyonerleri, 1 ve 2 eksene sahip hareket edebilme kabiliyetleriyle, döner hareketler sergileyerek, kaynağı yapılacak parçaları sabitlemek ve istenilen konuma getirmek işlevine sahiptirler. Sliderlar üzerine adapte edilen robot mekanizmasının işlem sahasını genişletmeye yararlar. Bu sayede, robotlar, kabiliyeti olan eksen hareketlerinin, yetersiz kaldığı ya da uzanamadığı durumlarda, ilave hareket imkanı elde ederken, seri ve standart imalat kolaylığı sağlanmaktadır.

4.4.2. Robot sisteminin belirlenmesi

Kullanılacak robot sistemlerinin belirlenebilmesi için aşağıdaki faktörler önem arz etmektedir:

- İş potansiyeli,
- Tekrarlanabilme özelliği,
- Yük taşıma potansiyeli ve sistem hızı,
- Kontrol ve güç ünitesi,
- Yazılım özellikleri,
- Harici özellikler.

İş potansiyeli

Robot sisteminin duruş ve konum belirleme işlevinin yanı sıra, hareket ederek uzanabileceği çalışma sahasına uzaysal hacim denilmektedir. Robotun rahat iş yapabilmesi için çalışma sahasının geniş olması gerekir. Robot boyutlarının ve çalışma alanlarının artması, gerekli motor gücünü, tüketim miktarlarını ve de bunlara bağlı robot fiyatlarının artmasına sebep olacağından, şirketlerin yapacakları imalatlara göre, asgari yeterliliğe sahip özellikte robotu belirlemesi oldukça önemlidir. Robotların çalışma sahaları gerektiğinde konumlandırıcılar üzerinden yapılan ayarlamalar ile de arttırılabilmektedir. Bu sebeple mühim olan robotların boy uzunlukları değil, işlevsellikleridir.

Tekrarlanabilme özelliği

Robot başlangıç noktası ile robota öğretilerek belirlenen nokta arasında tekrarlanan hareketlerin sonucunda, iki nokta arasında meydana gelebilecek maksimum hata sayısı tekrarlanabilme özelliğidir. Kaynak robotlarında, tekrarlanabilme ölçütü, kullanılan kaynak teli çapının 1/2 sinden küçük olması istenirken, diğer amaçlar için kullanılan robot sistemlerinde tekrarlanabilme değeri 0,1-0,2mm aralığında olması yeterli görülmektedir.

Yük taşıma potansiyeli ve sistem hızı

Robotun asgari hızda tekrarlanabilme kapasitesini koruması suretiyle, taşıyabileceği maksimum yük taşıma yeteneği, robotun yük taşıyabilme potansiyelini verir. Nominal

taşıma kapasitesi ise, robot sisteminin yüksek çalışma hızında tekrarlanabilme değerini koruması suretiyle maksimum yük taşıma kabiliyetidir. Taşınan malzeme şekli ve boyutlarına bağlı olarak taşıma kapasiteleri de değişmektedir.

Kontrol ve güç ünitesi

Operatör bakımından kontrol ve güç ünitesinin rahat kullanımı ve işlevselliği önemlidir. Robot sistemlerinde, yeni konumlandırıcılar bağlamak ya da yeni eklentiler yapılmak istenirse, kontrol ve güç ünitesine kullanıma yönelik eksen kartları takılarak, sistemden istenen talepler karşılanabilmektedir.

Yazılım özellikleri

Operatörler, programlamaları yaparken, eksenleri robotu hareket ettirmek suretiyle tüm koordinatları öğretirler. Yazılım ne kadar ileri düzey ise robotun programlama işlemi o kadar basitleşir. Yazılımda var olan eksenel hareket sistemleri ile birlikte, çok fonksiyonlu koordinat sistemleri kaydetme özelliği yanı sıra, operatörlerin kendilerine göre koordinat oluşturabilmesi, sistemi kolaylaştıran yazılım özelliklerindendir.

Yazılımlarda kaynak uygulaması sırasında salınım vermek gibi bazı özel komutlar da bulunmaktadır. Aynı yazılımlar için, atlama ve öteleme şeklinde komutlar topluluğu ile, kayıtlı program sayıları azaltılabilmektedir. Kayıt altına alma özelliği, sadece sistemin hareket aşamalarını değil, kaynak ve salınım parametrelerini de kaydedip değiştirebilme imkanı sağlamaktadır.

Günümüz robot ve otomasyon sistemlerinin programlanması online olarak yapılmaktadır. Tekrarlanabilme yeteneği, online programlama sistemlerinde yüksek önem taşımaktadır. Robotik sistemler için gelecekte bir diğer önemli konu da mutlak hata olacaktır. Mutlak hata, ilerleyen robot ve otomasyon teknolojilerinde yerini alacak olan CAD-CAM kontrole sahip offline yazılım programlama özelliği, mühim bir konumda olacaktır.

Harici özellikler

Robotların hafif oluşları, farklı yerlere konumlandırılmalarına imkan tanımaktadır. Sistemlerin duvar ve tavanlara montajları yapılabilmesi suretiyle, düzlemsel çalışma

sahası arttırılarak, robotların en doğru vaziyette çalışabilmesi sağlanmış olur ve de büyük bir kullanım avantajı sağlanır.

Üretici firmalar, küresel pazarda yer edinebilmek için robot sistemlerini kullanmaya başlamışlardır. Kaynak robotları, diğer amaçlı robotlardan farklı olarak işlevlerine ve taleplere has özellikleri seçilerek satışa sunulmaktadır. Robot sisteminin doğru belirlenmesinde önem arz eden başka bir husus ise uygun kaynak prosesinin ve ekipmanının seçilmesidir. Üretici firmaların, bu proseslerin belirlenmesinde, dikiş formunun, kaynak hızının ve kalitesinin yanı sıra üretim kapasitesinin de dikkate almaları gerekmektedir.

4.4.3. Robot kaynağı ile manuel tip kaynağın kıyaslanması

Kaynak robot kullanılarak yapılacaksa, çoğunlukla, parçaların sabitlenebilmesi için kıskaçlara sahip döner bir tabla gerekmektedir. Operatör, öncelikle tabla üzerine iş parçalarını konumlamak suretiyle sabitler. Tablanın diğer tarafında bulunan robot, iş parçalarına kaynak işlemini gerçekleştirir. Operatörün kaynaktan zarar görmemesi için, tablanın yarısı, saydam olmayan bir perde ile ayrılmaktadır. İş parçalarına özellikle ard arda kısa kaynak işleri yapılması durumunda, yerleştirilen perdeler daha fazla amaca uygun kullanım sağlamış olacaktır. Manuel yöntemde dakikada 70cm kadar kaynak yapılabilirken, robot sistemlerinde bu ölçüt dakikada 270 cm e kadar çıkmasının yanı sıra, kaliteli ve yüksek akım kullanılmasıyla, daha verimli kaynak dikişleri sağlanabilmektedir. Robotun, iş parçasının boyutlarını ve kaynatacağı yolu düzgün takip edebilmesi için, kızıl ötesi ışınların kullanıldığı algılayıcılar geliştirilmiştir. Bu özellik sayesinde, başlama ve bitiş noktalarının 1.5 cm lik sapmada bile, iş parçasının düzgün ve sorunsuz kaynak yapılabilmesi imkanı tanınmaktadır.

Bilgisayar gövdesi üretmek isteyen, Dahlstrom firması, 35-70 cm mesafede kaynağı, kaynak teli ve makinası robot koluna entegre edilmiş, Milacron T3 robotik sistemine, kaynağını yaptırmıştır.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deneyin Amacı

Bu çalışmada, günümüz Endüstri 4.0 çalışmalarının en son ve en ileri uygulamalarından olan, insanlık yararına sunulmuş son teknolojiye sahip büyük kolaylıklar sağlayan, Robot Teknolojisi Ark Kaynağı Yöntemi kullanılarak, yine günümüz ağır sanayisinde yüksek mekanik ve aşınma dayanımına sahip özellikleri ile, işçilik ve malzeme maliyetlerini diğer çelik türleri ile kıyaslanması yapıldığında, çok büyük ölçüde en aza indiren Hardox çeliklerinin, gaz korumasını yok sayıp, açık ortamda yapılan kaynak uygulamaları da dahil yer çekimine meydan okuyan yüksek akma ve çekme dayanımlarına sahip, özlü kaynak telleri ilavesi ile birleştirilerek, kaynak kabiliyetlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu sayede son teknoloji sistemleri kullanılarak, sanayide sıklıkla kullanılan ürünler için yeni ve farklı uygulama yöntemleri denenmiş olunacaktır.

5.2. Numune Seçimi

Kullanılan plakalar 6 adet 10x150x350mm boylarında Hardox450 çeliği plakalar olup, 3.Bölüm içerisinde Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’ te darbe dayanımı ile birlikte mekanik ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Kaynaklı birleştirme işlemi için ise, vakumlu ambalajlara sahip, GeKa Elcor B70 1.20mm bazik özlü tel elektrot ve GeKa Elcor R71 1.20mm rutil özlü kaynak telleri kullanılmıştır. Tablo 5.1 de özlü tel elektrotların Gedik Kaynak tarafından yayınlanmış normları verilirken, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3 te kimyasal ve mekanik özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 5.1 : Özlü kaynak telleri normları.

	ELCOR B 70	**ELCOR R 71**
TS EN ISO 17632 - A	T 42 4 B M 2 H5	T 42 2 P C 1 H5
EN ISO 17632 - A	T 42 4 B M 2 H5	T 42 2 P C 1 H5
AWS A5.20	E 70 T-5 M J	E 71 T – 1C-J

Tablo 5.2 : Özlü kaynak tellerine ait kimyasal veriler.

	% C	**% Si**	**% Mn**	**% P**	**% S**
ELCOR B 70	0.05	0.55	1.35	<0.015	<0.015
ELCOR R 71	0.06	0.50	1.30	0.015	0.015

Tablo 5.3 : Özlü kaynak tellerine ait mekanik değerler.

				Çentik Dayanımı ISO-V		
	Isıl İşlem	**Akma Dayanımı (N/mm^2)**	**Çekme Dayanımı (N/mm^2)**	**-40°C**	**-20°C**	**Uzama ($L_0=5d_0$)(%)**
ELCOR B 70	AW veya A	Min. 420	520 - 670	Min 47J	120 J	Min. 22
ELCOR R 71	AW	Min. 420	500 - 640	Min 50J	100 J	Min. 22

AW: Isıl İşlemsiz, A: Yaşlandırma İşlemi Yapılmış

GeKa Elcor B70: Düşük alaşımlı ve alaşımsız yapı çelikleri ve ince taneli yapıda çeliklerin manuel ve otomatik kaynakları için kullanılan bazik tip özlü kaynak telidir. Gözeneksiz dikiş formu, iyi nüfuziyeti ve usulca yanan bir arkı mevcuttur. Düşük sıcaklıklardaki çentik darbe dayanımı E 71 T-1' e göre daha iyidir. Bu telde, koruyucu gaz olarak, M21 karışım gazı kullanılması uygundur. Akım türü: FCAW DC(+).

GeKa Elcor R71: Gemi, konstrüksiyon ve de makine imalatlarında, tüm kaynak pozisyonlarında kullanılan, hızlı katılaşma özelliği sağlayan rutil tip özlü kaynak telidir. Mekanik dayanımları yüksek, düzgün dikiş görünüşüne sahip, kaliteli dikişler sağlar. Tüm kaynak pozisyonlarında kullanılabilmesinin yanı sıra, yüksek akım şiddetlerindeki verimli çalışması vardır. Bu sayede oluşan yüksek ergime gücüde, işlem sırasında maliyetin düşürülmesini sağlamaktadır. Bu kaynak telinde, koruyucu gaz olarak, CO_2 gazı kullanımı önerilmektedir. Akım türü: FCAW DC (+).

Koruyucu gaz olarak Habaş marka Saf CO_2 ve HB212 (%84 Argon, %12 CO_2, %4 O_2) 50LT karışım gazları kullanılmıştır.

Kaynak sistemi olarak, GeKa Power Mig GPS WB 500L Pulse Sinerjik kaynak makinesi ve ona bağlı GeKa Robot - OTC marka kaynak robotu kullanılmıştır.

5.3. Numunelerin Gruplandırılması

Bu numunelere ait kodlama işleminde; 6 adet Hardox450 parçanın birbirleri ile alın alına kaynak edilmeleri sonucu elde edilen 3 adet numune parçası oluşturulmuştur. Birleştirme işlemi sonucu numuneler H1, H2 ve H3 olarak adlandırılmıştır. Parçaların plazma kesim tezgahında istenilen boyutlarda hazırlanması işlemi Şekil 5.1 de verilmektedir.

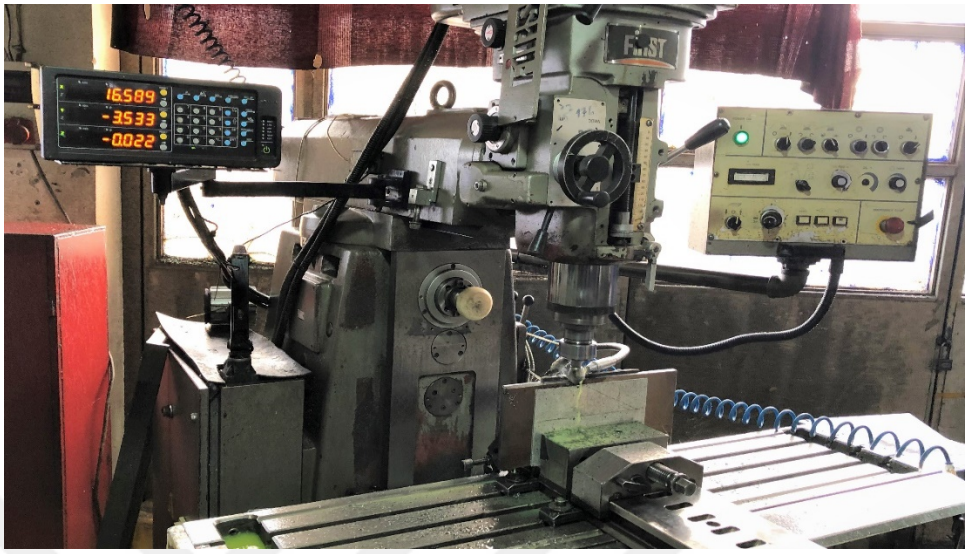


Şekil 5.1 : Hardox450 plakaların plazma kesim tezgahında boyutlandırılması.

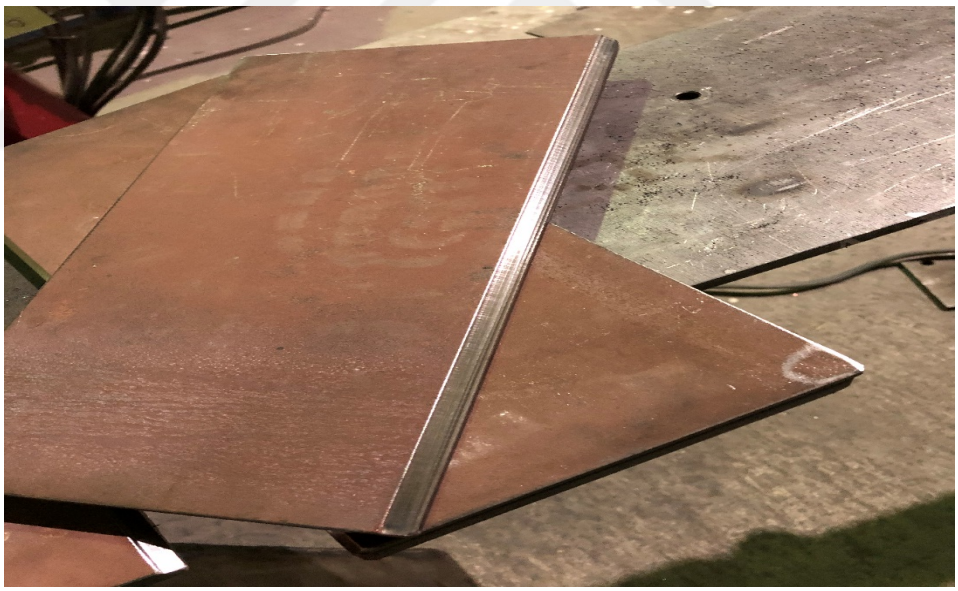
5.4. Talaşlı İşlem

6 adet numune için, Şekil 5.2 de görüldüğü gibi, 45^o açı ile 300mm boy olan kısımları üzerinden, temiz ve inklüzyonsuz bir yüzey elde etmek amacıyla, elmas uç kullanılarak, torna tezgahında alın kaynağı hazırlığı olarak, kaynak ağızları açılmıştır. Parça başına 2 adet elmas uç harcanırken, toplamda 12 adet elmas uç kullanılmıştır. Soğutma ve yağlama

suyu olarak Borlu su kullanılmıştır. İşlem sonrası 6 adet Hardox450 plaka parçası Şekil 5.3 teki son hallerini almıştır.



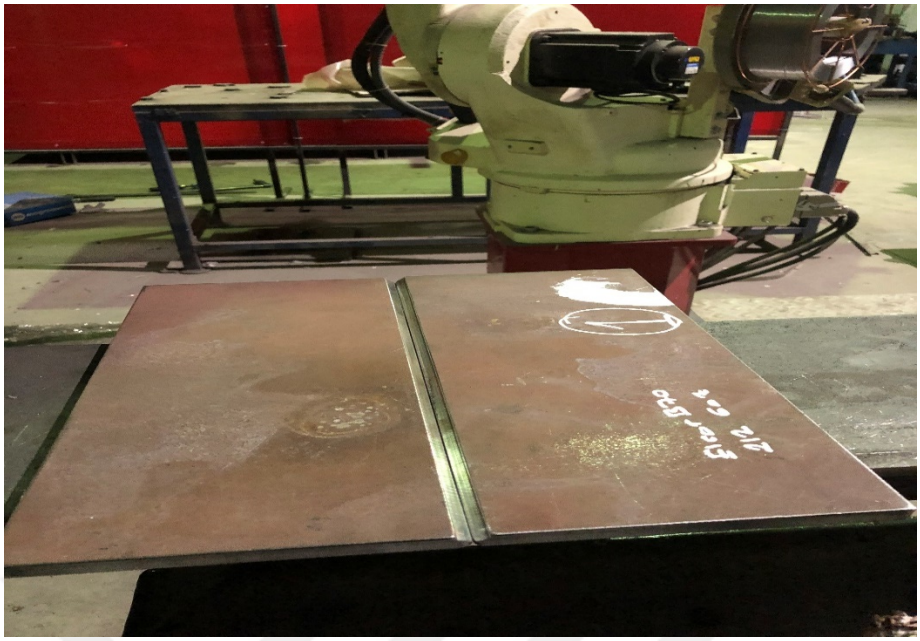
Şekil 5.2 : Hardox450 plakalara torna tezgahında kaynak ağzı açılması.



Şekil 5.3 : Kaynak ağzı hazırlığı yapılmış Hardox450 plakalar.

5.5. Kaynaklı İşlem

Kaynak ağızları açılma işlemi ve daha sonrasında temizlikleri yapılarak, ön hazırlıkları yapılmış ikişerli gruplar haline getirilen 6 adet plaka, robot sisteminde kaynaklı birleştirilme işlemi için sırasıyla H1, H2 ve H3 kodlarıyla belirtilmek üzere Şekil 5.4 te gösterildiği gibi robotik kaynak tezgahına ikili parçalar olarak yerleştirildi.



Şekil 5.4 : Plakaların kaynak tezgahı üzerinde konumlandırılması.

Plakaların sabitlenmesi işlemi sonrası, tüm plakalarda tekrardan ayarlanması suretiyle, Şekil 5.5 te gösterildiği gibi robot sistemi üzerinden başlangıç ve bitiş noktaları belirlenerek, kaynak sistemine kumanda ile işlendi. Tablo 5.4 te numunelere ait kaynak parametreleri verilmiştir.



Şekil 5.5 : Kaynak parametrelerinin sisteme girilmesi.

Tablo 5.4 : Numunelere ait kaynak parametreleri

	H1 Numunesi	**H2 Numunesi**	**H3 Numunesi**
Kaynak teli cinsi	Bazik Özlü	Bazik Özlü	Rutil Özlü
Kaynak teli çapı	1.20 mm	1.20 mm	1.20 mm
Koruyucu gaz cinsi	HB212	Saf CO_2	Saf CO_2
Gaz debisi	12,5 Lt/dk	12,5 Lt/dk	12,5 Lt/dk
Kök paso kaynak gerilimi	20 Volt	20 Volt	20 Volt
Kök paso kaynak amperi	200 Amper	200 Amper	200 Amper
Kök paso tel iletime hızı	30 cm/dk	30 cm/dk	30 cm/dk
Kök paso serbest tel uzunluğu	6 mm	6 mm	6 mm
Tampon kaynak gerilimi	21 Volt	21 Volt	21 Volt
Tampon kaynak amperi	230 Amper	230 Amper	230 Amper
Tampon tel iletime hızı	20 cm/dk	20 cm/dk	20 cm/dk
Tampon serbest tel uzunluğu	6 mm	6 mm	6 mm
Son kapama kaynak gerilimi	21 Volt	21 Volt	21 Volt
Son kapama kaynak amperi	220 Amper	220 Amper	220 Amper
Son kapama tel iletime hızı	6 mm	6 mm	6 mm
Son kapama serbest tel uzunluğu	20 cm/dk	20 cm/dk	20 cm/dk
Kaynak yüksekliği	4 mm	3 mm	2.70 mm
Torç çalışma açısı	90º	90º	90º
Kaynak frekansı	1.5 Hz	1.5 Hz	1.5 Hz
Akım türü	DC	DC	DC
Pulse/Darbe	Açık	Açık	Açık
Çalışma şekli	7mm salınım	7mm salınım	7mm salınım

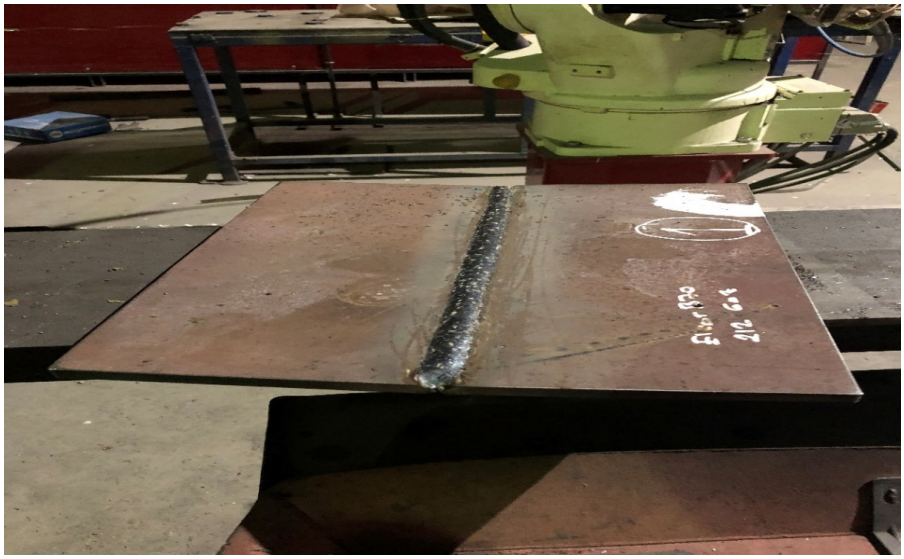
Numuneler 2 şer adet Hardox450 plakadan oluşmakta olup tüm kaynak işlemlerinde, kaynak torç açısı 90º lik hale getirilerek itme yönünde kaynak işlemi yapılmıştır. Zig – Zak diye tabir edilen kaynatma işlemi uygulanmış olup, Frekansı 1.5 Hz olan, 7 mm sağ-sol salınımı ile kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynak makinesinin özelliği olan DC Wawe Pulse özelliği de yine tüm kaynak işlemleri üzerinde uygulanmıştır. Şekil 5.6 da parçaların robotik kaynak uygulaması görülmektedir.



Şekil 5.6 : Hardox450 parçaların robotik kaynağı.

Hardox450 çeliğinin kendine has özelliğinden dolayı, kaynak öncesi ve sonrası hiçbir plakaya herhangi bir ısıtma işlemi yapılmamıştır. Yüzeyinde bulunan kaplama yüzey kaynak için herhangi bir olumsuz etkisi olmamasına rağmen, kaynak ağzı kısmında bu yüzey kaldırılmıştır.

Şekil 5.7 de kaynak işlemi sonrası oluşan H1 plakası görülmektedir.



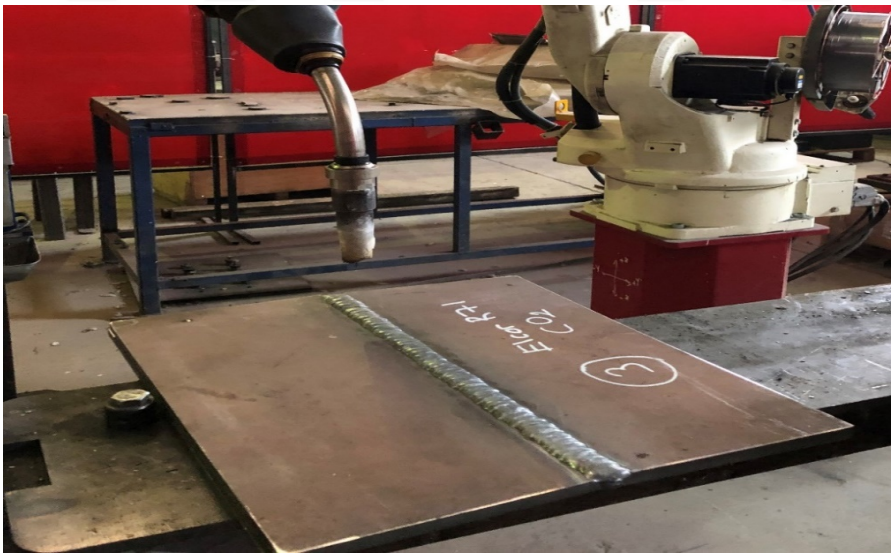
Şekil 5.7 : Kaynak işlemi sonrası H1 plakası.

Şekil 5.8 de Kaynak işlemi sonrası oluşan H2 plakası görülmektedir.



Şekil 5.8 : Kaynak işlemi sonrası H2 plakası.

Şekil 5.9 da H3 plakasının kaynak işlemi sonrasında oluşan görüntüsü verilmektedir.



Şekil 5.9 : Kaynak işlemi sonrası H3 plakası.

Her uygulama sonrası, kaynak yapılan alanlar kabuk kaldırma işlemi sonrasında, yüzeyler flap ile temizlenmiştir. Bu işlemin yapılmasındaki amaç, kaynak işlemi sonrası yüzeyde

kalabilecek inklüzyon ve kirliliklerin ortadan kaldırılarak, ortaya çıkabilecek kaynak hatalarına büyük ölçüde engel olmaktır.

Kaynak işleminde pasolar arası sıcaklık kontrol altında tutulmuş olup, her işlem sonrası yüzey sıcaklığının, oda sıcaklığına kadar soğuması beklendikten sonra, devamında kaynak işlemi bir üst katman olarak uygulanmıştır.

5.6. Mekanik Testler

H1, H2 ve H3 plakaları, Sakarya Üniversitesi tarafından çentik ve sertlik testlerine; Gedik Test Merkezi tarafından, çekme testlerine tabi tutulmuştur. Test edilecek çekme numuneleri 37 mm genişlikte hazırlanmıştır. Çentik testleri için ise, numuneler 10x10x55mm boyutlarında hazırlanarak, sisteme yerleşimleri sağlanıyor. Tablo 5.5 te numunelere ait Charpy darbe çentik test sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.5 : Charpy darbe çentik testleri.

	-20 ºC	**0 ºC**	**+20 ºC**
H1 numunesi	16	20	26
H2 numunesi	20	34	21
H3 numunesi	16	12	10

Tablo 5.5 te verilen Charpy çentik testi sonuçlarına göre, en iyi çentik değeri H2 numunesinde elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak ise, sünek yapı sağlayan bazik esaslı özlü tel kullanımı ve CO_2 gazının sebep olduğu düşünülmektedir.

Tablo 5.6 da numunelere ait ana metal ile birlikte kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölgeler için 50gr yük altında Vickers sertlikleri verilmiştir.

Tablo 5.6 : Sertlik (Vickers) testleri.

	Kaynak Metali	**ITAB**	**Ana Metal**	**Hardox450**
H1 numunesi	450 HV	344 HV	505 HV	480 HV
H2 numunesi	477 HV	284 HV	503 HV	480 HV
H3 numunesi	459 HV	315 HV	502 HV	480 HV

HV: Vickers sertliği

Tablo 5.7 de numunelere ait çekme test sonuçları verilmiştir. Üç numune de kaynak bölgesinden kopma meydana gelmiştir.

H1 ve H2 numuneleri aynı bazik özlü tel kullanılmalarına rağmen, kaynak metalinde farklı sertlikler görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise, H2 nunumesinde CO_2 gazı kullanılırken, H1 numunesinde HB212 karışım gazı kullanılması olarak yorumlanmıştır. Yine aynı şekilde H3 numunesinde kaynak metalinin sertliği H2 numunesinden düşük olduğu göülmüştür. Bu durumda aynı gaz kullanılıyor olmasına rağmen, çekme değerleri birbirinden farklı H2 de bazik özlü tel, H3 te ise rutil özlü tel kullanılmış olmasıdır.

ITAB da ise, kaynak metali ve ana metale oranla çok daha düşük sertliklerin olduğu görülmüştür. Burada kaynak metali sertliklerinin aksine, CO_2 gazının getirdiği daha fazla ısı girdisi sebebiyle, H2 ve H3 numunlerinin ısı tesiri altındaki bögelerinde daha düşük sertlik meydana gelmiştir.

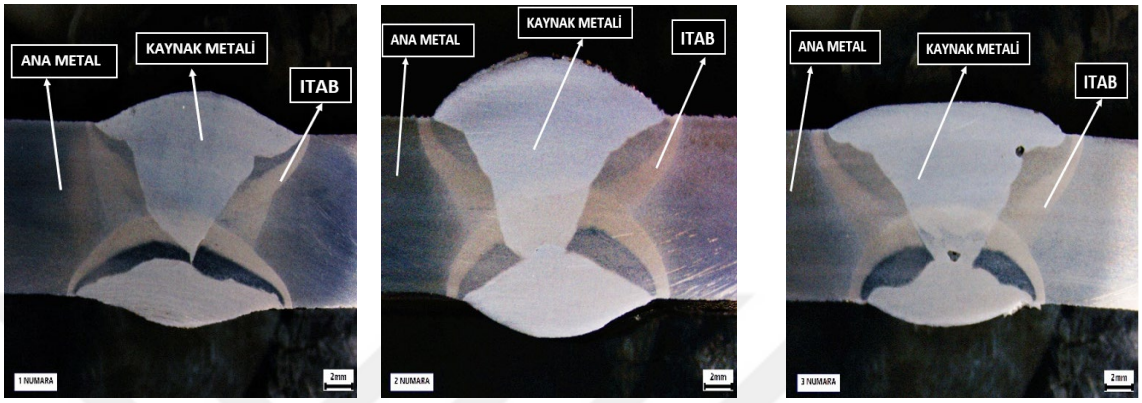
Tablo 5.7 : Çekme testleri.

	% Uzama (mm)	**Akma Dayanımı (N/mm^2)**	**Çekme Dayanımı (N/mm^2)**	**Elastik Modül (GPa)**
H1 numunesi	5,66	631,68	713,69	212
H2 numunesi	4,53	556,64	674,64	214
H3 numunesi	4,23	597,13	699,53	214

Tablo 5.7 de % uzama verilerine göre, H2 numunesinde en fazla uzama olduğu görüldü. Bu durum rutil özlü tele göre, daha sünek olan bazik özlü telden kaynaklanıyor olabilir. Yine akma ve çekme dayanımları dikkate alındığında, H1 numunesi diğer numunelere göre daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmekte. Bu durumda özlü telin bazik olması ve de karşım gaz kullanımı ile malzemenin sünek davranış gösterebileceği ile ilişkilendirilebilir. CO_2 gazının malzemeye gevrek davranış kattığını da söyleyebiliriz. Bu teste ve oluşabilecek sapmalar göz önüne alındığında bazik esaslı özlü tel ve C oranı düşük bir karşım gaz ile en iyi sonuç elde edilebilir.

5.7. Makro ve Mikro Yapı Görüntüleri

H1, H2 ve H3 plakalarının, makro ve mikro yapı görüntüleri, Sakarya Üniversitesi ve Gedik Test Merkezi tarafından alınmıştır. Şekil 5.10 da sırasıyla H1, H2 ve H3 numunelerine ait makro yapı görüntüleri verilmektedir.



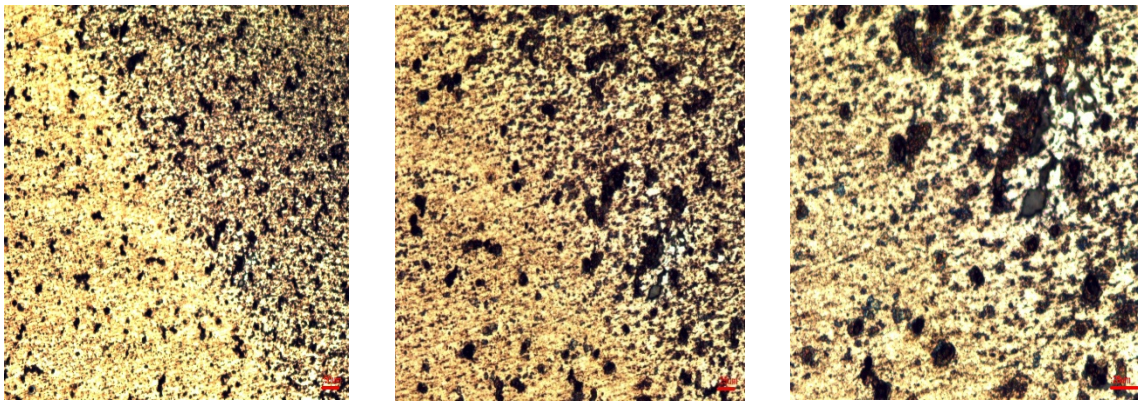
Şekil 5.10 : Numunelere ait makro yapı görüntüleri (soldan sağa H1, H2 ve H3; 2mm büyütme)

H1, H2 ve H3 plakalarının, makro yapı görüntüleri incelendiğinde yalnızca H2 numunesinde %100 e yakın kök nufuziyeti sağlandığı görülmektedir. Bu durum öncelikle CO_2 gazının nufuziyete etkisi ile birlikte bazik özlü tel kullanımı ile alakalı olduğu düşünülüyor. Diğer numunelerde oluşan eksiklikler ise kullanılan tel ve gaz ile direkt alakalı olup, kaynak işlemi sırasında, kaynak torcunun plakaya yakınlaşma açısında olabilecek sarsıntılara da bağlı olabilir.

Ayrıca ısı tesiri altında kalan bölgelerde alan genişliklerinin hemen hemen aynı olması da, sinerjik robot kaynağı teknolojisinin getirdiği homojen geçişler ve düşük ısı girdilerinden kaynaklanıyor olmasındandır.

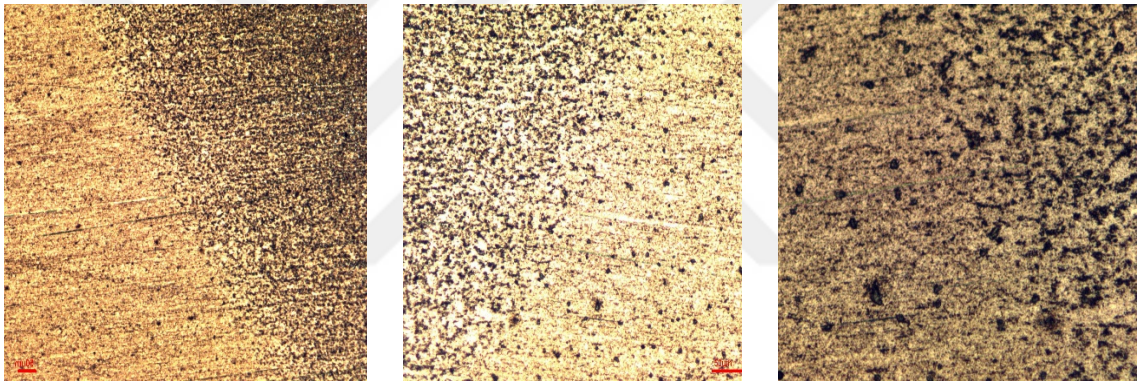
H2 numunesinin kök dolgusunun ve yayılmasının diğer plakalara göre daha iyi olduğu görülmektedir. Bu durumda yine bazik özlü tel ve CO_2 gazı kullanılıyor olmasına bağlanmaktadır.

Şekil 5.11 de H1 numunesine ait mikro yapı görüntüleri verilmektedir.



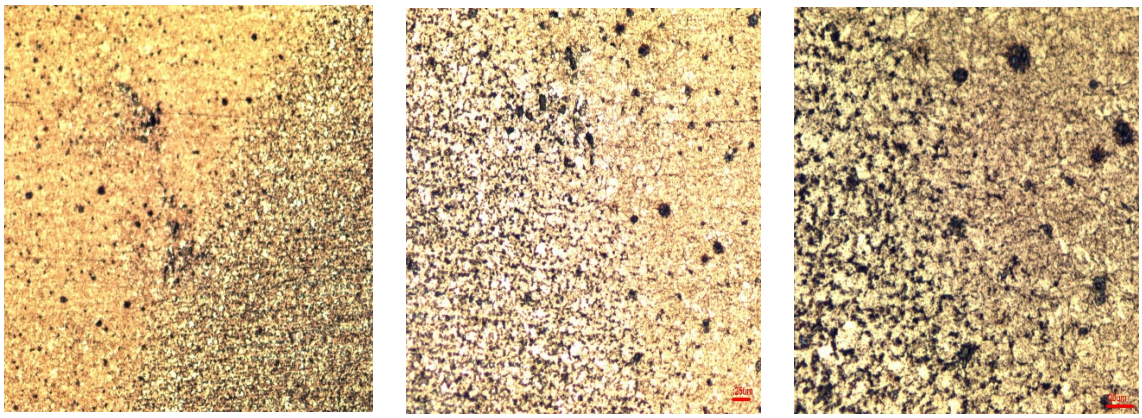
Şekil 5.11 : H1 numunesine ait ITAB mikro yapı görüntüleri (soldan sağa 50x,100x ve 200x büyütme)

Şekil 5.12 de H2 numunesine ait mikro yapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 5.12 : H2 numunesine ait ITAB mikro yapı görüntüleri (soldan sağa 50x,100x ve 200x büyütme)

Şekil 5.13 te H3 numunesine ait mikro yapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil 5.13 : H3 numunesine ait ITAB mikro yapı görüntüleri (soldan sağa 50x,100x ve 200x büyütme)

Mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, koyu kısımlar ITAB ı gösterirken, açık renkli kısımlar ile ana malzemeyi göstermektedir. Isı tesiri altında kalan bölgelerde, ısının etkisi ile malzeme yapısında bozulma oluşmakta ve tane irilikleri olduğu görülmektedir. Ancak genel olarak yapınının östenit yapıda olduğu da görülmektedir.

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Günümüz kaynaklı imalat beklentilerini karşılamakta zorlanan, örtülü çubuk elektrotlar yerine, bu beklentilere yanıt verebilen özlü tel elektrotlar oldukça fazla avantaja sahiptir. Seri imalata uygunluğu ile öne çıkan özlü tel elektrotlar sayesinde, örtülü çubuk elektrot kullanımlarından kalan artıklar, dur – kalk şeklindeki zaman kayıpları, yeri geldiğinde gaz koruması gerektirmeyen ve içerisinde sahip olduğu özün değişiklikler yapabilme imkanı tanıyor olmasıyla, birden fazla avantajı beraberinde getirmektedir. Çalışan firmaların sistemleri göz önüne alındığında, en büyük gider kalemleri olan, malzeme ve zaman kayıpları, özlü teller sayesinde minimize edilmektedir.

Farklı tiplerde üretilebilen özlü tel elektrotlar, çalıştığı kaynak pozisyonları ve de sağladığı kaynak dikiş formlarından dolayı yüksek kalitede ve verimlilikte birleştirmeler elde edilmesini sağlamaktadır. Kullanımı giderek yaygınlaşan özlü tel elektrotlar, birleştirme, kaplama ve sert dolgu gibi amaçlara uygun olarak yeni çalışma sahalarında da kendisine yer bulmuştur.

Üretim ve satış hedeflerine bağlı olarak, hangi ölçekte oldukları fark etmeksizin, tüm üretici kuruluşlar, piyasa içerisinde rekabet edebilmek ve varlıklarını kanıtlamak amacıyla, robota dayalı üretim sistemlerini tercih etmektedirler. Endüstri 4.0'ın gereklilikleri arasında en başta yer alan robotik ve seri imalat yöntemleri, kazandırdığı hız ve sağladığı avantajlar sayesinde, sektörün olmazsa olmaz gelişmelerinden olmuştur.

Doğru ekipmanların bir araya getirilerek oluşturulduğu, amaca uygun yarı ve tam otomasyona sahip robotik kaynak sistemleri üzerinden, seri parça imalatları yapılabilmektedir. Robotik kaynak sistemleri, seri imalat, enerji tasarrufu, personel

giderleri ve verimlilik konuları göz önüne alındığında, giderek daha fazla kullanım alanına sahip olacağa benziyor.

Robotik kaynak sistemleri, özlü teller ile birlikte düşünüldüğünde, yakalanan yüksek ilerleme hızı, elde edilen kaynak görünümü, kaynak genişliği, üretim kapasitesi ve ortaya çıkan parça kalitesinin iyiliği ve de ekonomiklik olma durumu sayesinde, kaynaklı imalatta birden fazla avantajı aynı anda üreticiye sağlayabilmektedir. Kaynak Teknolojisi 2. Ulusal Kongresi'nde yer alan ''Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi, Gökhan Vargın GÖK, Çağatay Afyon'' adlı bildiride de yer verildiği üzere, robot teknolojisinin geldiği ve de gideceği uygulamalardan örnekleriyle birlikte sıkça bahsedilmiştir. Bu hususta söz konusu entegre robot sistemlerinden ileri ki yıllarda mecburi olarak da faydalanmak ve kullanmak zorunda kalınacaktır.

Bu çalışmada, seri imalat yöntemlerine uygun olarak, çelik sektöründe aşınma dayanımı ve yüksek mukavim özelliklere sahipliğiyle bilinen Hardox450 çeliği, robotik kaynak yöntemiyle ve farklı özlü teller kullanılarak birleştirilmeye çalışılmış, gerekli mekanik testler yapılarakta, yöntemin verimliliği ve avantajları saptanmaya çalışılmıştır.

Hardox çeliği üzerinde bulunan, koruyucu astar, kaynak ağzı işlemi uygulanan kısımda kaldırılmış ancak ITAB içerisinde, kalacak olan kısımda herhangi bir yüzey kaldırma işlemi yapılmamıştır. Koruyucu astarın kaldırılmamış olması, kaynağı ve yöntemi etkilememiştir.

Robotik kaynak sistemi ile birlikte, her iki özlü tel tipinde de oldukça verimli, düzgün yapıda, hızlı, ekonomik, düşük çapak, düşük sıçrantı ve malzeme kaybı oranlarına sahip, kaynak dikişi elde edildi.

Koruyucu gaz olarak, kullanılan saf CO_2 gazının, 212 karışım gazına göre daha fazla sıçrantı oluşturması beklenirken, robotik sinerjik kaynak sistemi sayesinde hemen hemen fark yok denecek kadar az sayıda sıçrantı olduğu görüldü. Bu da, maliyet hesabı işin içine girdiğinde, robotik sinerjik kaynak sistemlerinde özlü tel kullanılarak yapılan birleştirmelerde, koruyucu gaz olarak 212 karışım gazının bilinen 3'te 1 fiyatına olan, saf CO_2 koruyucu gazı tercih edilerek, maliyetlerin düşürülebileceğini ve kaynağın etkilenmeyeceğini rahatlıkla söyleyebiliriz.

Özlü tel kullanımı sayesinde, kaynak nüfuziyetinin beklentileri karşıladığı, koruyucu gaz olarak saf CO_2 gazı kullanımı ile de nüfuziyetin bir miktar daha arttığı saptandı. 24-25 Aralık 2004 yılında düzenlenen Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu'nda ''Tersanelerde Uygulanan ve Uygulanabilecek Kaynak Yöntemleri, Müh.Muharrem ASARKAYA'' yazısında da özlü tellerin ağır çalışma şartlarında sağladığı verim üzerine uygulama örnekleri verilmiştir.

Kaynak işlemleri sırasında, pasolar arası yüzey temizliğinin, yeterli yapılmadığı durumlarda, kaynak içerisinde inklüzyon ve empürüteler mevcut olduğu görüldü. Eğme testinde sonuç alınamayan parçalarda bu hataların etkisi olduğu düşünüldü.

Plakaların çekme testlerinde, beklendiği üzere Hardox450 karşısında akma ve çekme dayanımları düşük kalacak olan özlü tellerin sahip olduğu kaynaklı kısımlardan kopma olduğu görüldü. Burada, bazik tip özlü telin, rutil tip özlü telden bir miktar daha fazla dayanıma sahip olduğu saptandı. Ayrıca bazik özlü tellerin, koruyucu gaz tipinde, 212 karışım gaza göre saf CO_2 gazı kullanılan plakanın, birbirlerine çok yakın skalada olmasına rağmen, daha iyi çekme dayanımı verdiği görüldü. Koruyucu gaz içerisinde CO_2 miktarının artışının nüfuziyet ve mekanik dayanımlara olumlu yönde katkısı olduğu saptandı.

Plakaların kaynağı sırasında, parça ısı girdilerinden dolayı burulmaların olduğu görüldü. Plakaların işkence gibi malzemeler ile öncesinde sabitlendikten sonra, kaynağının yapılması bu burulmalar kısmen de olsa ortadan kaldırılabilecektir.

Kaynak görselleri dikkate alındığında, 212 karışımı koruyucu gaz kullanılan bazik tip özlü tel elektrot kullanılan parçada, daha parlak kaynak görüntüsü elde edildi.

ITAB bölgelerinin her üç plaka içinde, aynı genişlik yüzeyine sahip olduğu görüldü. Robotik sinerjik kaynağın sağladığı düşük ısı girdisi avantajlarından biri olduğu düşünüldü.

Açılan 45^o lik kaynak ağzı ve 10mm plaka kalındığına göre, standart masif tellerde bilinen kapatma işlemi dahil tel çapına göre kaynağın 4 pasoda bitirilmesi beklenirken, 3 pasoda kaynak işlemi bitirildi. Bu da, özlü tellerin yüksek verimlilik ve yığma oranlarını bizlere göstermiş oldu.

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Genel Sonuçlar ve Öneriler

- Hardox450 çeliği için, rutil ve bazik tip özlü tellerin çekme ve akma dayanımlarında düşünüldüğü gibi, beklentileri karşılayamayacağı, bunun yerine yüksek dayanıma sahip özellikteki kaynak tellerinin, kullanılabileceği önerilir.
- Kaynak işlemi sırasında, düşük sıçrama ve çapak isteniyorsa, saf karbondioksit gazı yerine, karbondioksit ve argon karışımı gazların kullanılması önerilir.
- Hardox malzemelerin üzerindeki çinko astar her ne kadar kaynak işlemini etkilemesede, parçaların en ufak hatayı kaldıramayacak ve özel konumlarda kullanılacak olması halinde, birleştirmelerin hatasız ve emniyetli olması bakımından, bu astarın yüzeyden kaldırılması önerilir.
- Birden fazla paso uygulanması durumunda, özlü tel kullanımları sonrası kaynak dikişi üzerinde kalan kabuk kısımlarının, flap ile iyi bir şekilde temizlenmesi önerilir.
- Pasolar arası geçiş sıcaklıklarının kontrol edilmesi faydalı olacaktır.
- Özlü tel kullanımlarında, zirkonyum esaslı akım memesi kullanılması halinde daha yüksek akımlarda çalışıldığı göz önüne alınırsa, daha uzun ömürlü ve yüksek iletim sağlayacağından, zirkonyum esaslı akım memesi kullanılması önerilir.
- Kaynak parçalarında, burulma, çarpılma gibi durumların yaşanmaması için, parçaların tezgah üzerine sabitlenmesi önerilir.
- Kaynak öncesi ön tav yapılması, kaynak yüzeyinde bağlantının daha homojen olmasını sağlayacaktır. Bundan dolayı, kaynak öncesi ön tav süresi olabildiğince uzun tutulması önerilir.
- Kaynak ağzı hazırlığında, 45^{o} açıdan daha küçük olacak şekilde, en düşük 30^{o} lik değerlere yakın açıda kaynak işlemi yapılması halinde, kaynak dikişini daha mukavim yapıda olması sağlanabilir. Bundan dolayı mümkün olduğunca dar açıda, kaynak ağzı

hazırlığı yapılması önerilir.

- Sinerjik robot kaynağı uygulaması ile, saf karbondioksit gazı kullanımı dahil çok az seviyede çapak ve sıçrantı olduğu görüldü. Bu durumda özellikle özlü tel kullanımlarında maliyeti düşürmek için saf karbondioksit gazı kullanılmasında sakınca olmayacaktır.
- Robot sistemleri ile özlü tellerde, daha seri ve daha verimli kaynak elde edilebileceği görüldü. Bu sayede bazı üretimlerde Pozisyoner kullanmak yerine, özlü tel kullanılmasıyla, pozisyon kaynağını rahatça yapmak mümkün hale gelmektedir.
- Sertlik testi sonuçlarına göre, ısı girdisi CO_2 gazı kullanımı ile birlikte artmakta olup, buna oranla da ITAB da bariz sertlik düşüşleri görülmüştür.
- Gaz karışım oranı artışı ile kaynak dikiş görüntüsü daha parlak ve daha az sıçrantılı bir görüntü vermektedir.
- Çekme testlerine göre, bazik özlü tel kullanımı çekme ve akma dayanımı değerlerini net bir şekilde arttırmaktadır.
- Makro yapı görüntülerinde, CO_2 ile birlikte bazik özlü tel kullanılmış numune de en iyi kök nufuziyeti elde edildiği görüldü. Bu durum, CO_2 gazının kaynak metalini diğer karışım gaza göre daha derinlere götürebilmesine ve de bazik özlü telin yayınma kabiliyetinin daha fazla olmasına bağlı olabilir.
- Çentik – darbe dayanımı testlerine göre ise, bazik özlü tel ile birlikte CO_2 gazı beraberinde en iyi çentik sonuçları elde edilmiştir.
- Mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, ısı tesiri altında kalan bölgenin ağırlıklı iri taneli ostenit yapıda olduğu görüldü. Bu yapı sertlik ile de doğru orantılı sonuçlar verdi.

KAYNAKLAR

Prof. Dr. İ. Barlas ERYÜREK, İTÜ Makine Fakültesi, Makina Malzeme ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı Başkanı. ‘’Gaz Altı Ark Kaynağı’’, ASKAYNAK Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş Yayınları 2007.

Prof. Dr. Selehattin ANIK, Doç. Dr. Kutsal TÜLBENTÇİ, Kaynak Teknolojisi 1, ‘’Elektrik Ark Kaynağı’’. GEDİK KAYNAK SAN. VE TİC. A.Ş. Gedik Eğitim Vakfı Yayınları.

Doç. Dr. Selehattin YUMURTACI, Arş. Gör. Tolga MERT, YTÜ Makine Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, ‘’Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri, Kaynak Teknolojisi’’, IV. Ulusal Kongresi 24 – 25 Ekim 2003 – Kocaeli, TMMOB Makine Mühendisleri Odası.

Mühendis Mehmet TOPRAK, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019 Şanlıurfa, ‘’Katı Borlamanın Hardox450 ve Hardox Hituf Çeliklerin Yüzey Özelliklerine Etkisi’’, Yüksek Lisans Tezi.

Edib SARAÇOĞLU, Didem GENÇKAN, GEDİK KAYNAK A.Ş. , ‘’Özlü Tel Kaynak Teknolojisi’’, Mühendis ve Makina, Cilt 50, Sayı: 599, sayfa 74 - 77.

Liu S. ‘’Arc Welding Consumables- Convered and Cored Electrodes A Century of Evolution’’, Proceedings of the 5th İnternational Conference, 1998, June 1-5, 505 – 515.

MEGEB, Metal Teknolojisi, ‘’MIG Kaynağı’’, Ankara, 2006.

Gülsöz,A. ‘’Özlü Tel Elektrotların Önemi ve Kaynak Özellikleri’’ TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:488, sayfa 35 – 40.

Gürkan GÜRGÜZE, İbrahim TÜRKOĞLU, Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, ‘’Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması’’, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi 31(1), 53-66, 2019.

SSAB. Swedish Steel Çelik Dış Ticaret Ltd. Şti. ‘’Hardox ve Weldox Saçların Kaynak Edilmesi’’, https://www.ssab.com.tr/products/brands/hardox.

Mehmet Arda MEVLÜTOĞLU, ‘’Robotik, Otomasyon ve Yapay Zekâ: Genel Bakış ve Değerlendirmeler’’, Robotik Teknolojileri Sektör Raporu, 9. Robotik Teknolojileri, 2016.

Arş. Gör. Dr. A. Gamze ÇİFTÇİ AYTEKİN, ‘’Robotik Gaz Altı Köşe Kaynak İşleminin Taguchı Yöntemi ile Eniyilenmesi’’, Akademik Fener.

Apler GÜLSÖZ, ‘’Özlü Tel Elektrotların Önemi ve Kaynak Özellikleri’’, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.

Gökhan Vargın GÖK, Çağatay AFYON, ‘’Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi’’, Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi, Sayfa : 221 – 230.

Burhan OĞUZ, ‘’Özlü Tel Elektrotla Birleştirme ve Dolgu Kaynakları’’, Kaynak Bilimi, OERLİKON YAYINI, 1988, Sayı:3.

Burhan OĞUZ, ‘’Özlü Tel Elektrotlar’’, Ark Kaynağı, OERLİKON YAYINI, 1989.

Müh. Muharrem ASARKAYA, İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, ‘’Tersanelerde Uygulanan ve Uygulanabilecek Kaynak Yöntemleri’’, Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu, 24-25 Aralık 2004.

Burhan OĞUZ, ‘’Kaynak Ağızlarının Hazırlanması’’, Ark Kaynağı El Kitabı, OERLİKON YAYINI, 1975.

Arzu YILDIZ, ‘’Metalin Ateşle Buluşması: Kaynak’’, Mühendis ve Makina, Cilt : 48, Sayı: 573, Makale, Sayfa: 57 – 73.

Ahmet Fazıl ÖZSOYLU, ‘’Endüstri 4.0’’, Çukurova Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt: 21. Sayı:1. Haziran 2017, Sayfa: 41-64.

Makine Müh. Tolga MERT, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Blimleri Enstitüsü, ‘’Kaynaklı Yapımlarda Robotik Uygulamalar ve Türkiye’deki Durumu’’, İstanbul, 2004.

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI, Arş.Gör. Tolga MERT, ‘’Ark Kaynak Robotunun Sahip Olması Gereken Özellikler ve Robotik Ark Kaynak Hücresinin Elemanları’’, Mühendis ve Makina, Cilt: 50, Sayı: 591, Makale, Sayfa: 2-7.

Müh. Muharrem ASARKAYA,’’Tersanelerde Uygulanan ve Uygulanabilecek Olan Kaynak Yöntemleri’’, Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu, 24-25 Aralık 2004.

Gökhan Vargın GÖK, Çağatay AFYON, ‘’Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi’’ Kaynak Teknolojisi II.Ulusal Kongresi.

Howard B. Cary, ‘’Modern Welding Technology’’, 4th Edition, 1998.

http://www.habas.com.tr/Category/Alias/oksi-asetilen-kaynagi

https://www.millerwelds.com/resources/article-library/the-history-of-welding

http://www.lindegaz.com.tr/tr/products_and_supply/

https://malzemebilimi.net/hardox-asinma-direnciyle-one-cikan-ozel-bir-celik.html

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : **Rafet KAYBOLMA**

Doğum Tarihi ve Yeri : [redacted]

E-posta : [redacted]

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2014, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2014 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde AA6082 Alüminyum alaşımları üzerine çalıştı.
- Aynı yıl Lisans eğitimini tamamlayarak Metalurji ve Malzeme Mühendisi ünvanını aldı.
- 2016 yılında Gedik Holding bünyesinde bulunan, Gedik Kaynak A.Ş. de Eskişehir Bölge Satış Müdürü olarak çalışma hayatını sürdürmekte.
- 2017 yılı itibariyle Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans Eğitimine başladı.

LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Zeytin S., Kaybolma R., Aktitiz İ,. Sakarya University 2014**. The Effect of Solutionizing Time and Temperature on Microstructure and Hardness of AA6082 Aluminium Alloy. *16th International Materials Symposium (IMSP'2016) – October 12-14, 2016 Pamukkale University, Denizli, Turkey.*