

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**AISI 316 PASLANMAZ ÇELİĞİN,
TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE OPTİMUM KAYNAK
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vedat ŞİMŞEK

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Savunma Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı

EKİM 2022

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



AISI 316 PASLANMAZ ÇELİĞİN,
TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE OPTİMUM KAYNAK
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vedat ŞİMŞEK
(200002001)

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Savunma Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Polat TOPUZ

EKİM 2022



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz, Savunma Teknolojileri Yüksek Lisans Programı 200002001 numaralı öğrencisi Vedat ŞİMŞEK'in "AISI 316 Paslanmaz Çeliğin, TIG Kaynağı ile Birleştirilmesinde Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi" adlı tez çalışması 04/11/2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aşağıdaki jüri tarafından **Oy Birliği** ile Yüksek Lisans tezi olarak **Kabul** edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

Tez Savunma Tarihi: 04/11/2022

- 1) Tez Danışmanı:** Doç. Dr. Polat TOPUZ
- 2) Jüri Üyesi:** Dr. Emine GÜNDOĞDU İŞ
- 3) Jüri Üyesi:** Dr. Öğr. Üyesi Ali Kemal EYÜBOĞLU
- 4) Jüri Üyesi:** Dr. Öğr. Üyesi Özlem AYDIN

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “AISI 316 paslanmaz çeliğin, TIG kaynağı ile birleştirilmesinde optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya ’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim (17/10/2022).

Vedat ŞİMŞEK

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı, bugünkü eğitim seviyesine gelmeme vesile olan, bugüne kadar bana maddi, manevi desteklerini esirgemeyen başta ailem olmak üzere akrabalarım ve tez süresince desteğini hep yanımda hissettiğim Barış KORLU 'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca tezin oluşturulması aşamasında her türlü desteği veren hocam, tez danışmanım Doç. Dr. Polat Topuz'a teşekkür ederim.

Tezimi bitirebilmem için elindeki tüm imkânları kullanmama izin veren işyerim Evyap Sabun Yağ ve Gliserin' e, yapılan deney çalışmaları boyunca tecrübelerinden sürekli yararlandığım ve aynı zamanda deneyleri gerçekleştiren Bena Çataloluk'a ayrıca Fatih Demir'e son olarak bünyesinde bulunan makine ve teçhizatını kullanmamıza izin veren BİLTEK firmasına teşekkür ederim.

Ekim 2022

Vedat Şimşek
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	3
2.1. Paslanmaz Çelikler Hakkında Genel Bilgi.....	3
2.2 Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri.....	7
2.3 Paslanmaz Çelikler İçerisindeki Alaşım Elementleri ve Etkileri.....	8
2.4 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması.....	10
2.4.1 Östenitik paslanmaz çelikler	12
3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI	20
3.1 Kaynak Hakkında Genel Bilgi	20
3.2 Kaynak Edilebilirlik Kavramı	21
3.3 Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	25
3.4 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	30
3.4.1 Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti.....	31
3.4.2 Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti.....	31
3.4.3 Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti.....	32
3.4.3.1 Krom karbür oluşumu	32
3.4.3.2 Sıcak çatlak oluşumu	34
3.4.3.3 Sigma fazı oluşumu	36
3.4.4 Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti...40	
3.4.5 Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti.....	41
4. PASLANMAZ ÇELİKLERE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ...43	
4.1 Gaz Ergitme Kaynağı.....	44
4.2 Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı	44
4.3 TIG Kaynağı	46
4.3.1 TIG kaynak donanımı	49
4.3.2 TIG kaynak elektrotları.....	50
4.3.3 TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar.....	52
4.3.4 TIG kaynak yönteminin uygulama alanları	56
4.3.5 TIG kaynak yönteminin avantajları ve dezavantajları.....	56
4.3.6 TIG kaynak yönteminde kullanılan ilave kaynak metalleri.....	57
4.3.7 TIG kaynak yönteminde kullanılan kaynak parametreleri.....	57
4.3.7.1 TIG Kaynak yönteminde erimeyen Elektrot	58
4.3.7.2 Birinci derecede ayarlanabilir parametreler	59
4.3.7.3 İkinci derecede ayarlanabilir parametreler	59
4.3.7.4 Kaynak işleminde enerji ve ısı	60
4.4 MIG Kaynağı.....	60
4.4.1 MIG kaynak donanımı.....	63
4.4.2 MIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar	66
4.4.3 MIG kaynağında kullanılan tel elektrotlar.....	68
4.4.4 MIG kaynağının avantajları ve dezavantajları	69

4.5 Plazma Ark Kaynağı	70
4.6 Toz altı Kaynağı	71
4.7 Lazer Işın Kaynağı	74
4.8 Elektron Işın Kaynağı	76
4.9 Direnç Basınç Kaynağı	77
4.10 Sürtünme Kaynağı	79
4.11 Difüzyon Kaynağı	80
5. DENEYLER ve SONUÇLARI	81
5.1 Kaynak İşlemi	82
5.2 Numune Hazırlama	84
5.3 Çekme Testi	85
5.4 Eğme Testi	86
5.5 Charpy Çentik Darbe Testi	88
5.6 Sertlik Testi	90
5.7 Makroyapı ve Mikroyapı İncelemeleri	91
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	96
7. EKLER	99
KAYNAKLAR	112
ÖZGEÇMİŞ	116

KISALTMALAR

A	: Amper
AC	: Alternatif Akım
AISI	: American Iron and Steel Institute
Ar	: Argon
AWS	: American Welding Society
DC	: Doğru Akım
DIN	: Deuchland international norms
EN	: European Norms
eV	: Elektrovolt
GTAW	: Gas Tungsten Arc Welding
I	: Akım
Inertgas	: Soygaz
ISO	: International Standard Organization
J	: Joule
K	: Kelvin
MAG	: Metal Active Gas
MIG	: Metal Inert Gas
Q	: Isı
TiC	: Tungsten karbür
TIG	: Tungsten inert gas
TS	: Türk Standardı
W	: Watt
Ω	: Ohm
ASTM	: American Society for Testing Materials
ITAB	: Isının tesiri altındaki bölge
MPa	: Megapascal
SEM	: Taramalı electron mikroskobu
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
A	: Ferrit
a'	: Kromca zengin ferrit
γ	: Östenit
δ	: Delta ferrit
σ	: Sigma fazı
Ni	: Nikel
Cr	: Krom
Mo	: Molibden

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Paslanmaz Çelik Gruplarına Ait Fiziksel Özellikleri.....	5
Çizelge 2.2 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Türleri ve Kullanım Alanları.....	15
Çizelge 2.3 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Kimyasal Analiz Değerleri..	17
Çizelge 2.4 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Mekanik Özellikleri	18
Çizelge 3.1 : Çift Fazlı Paslanmaz Çeliklerin Nominal Kimyasal Analiz Değerleri.	41
Çizelge 3.2 : Duplex ve Süper-duplex Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı İçin Önerilen Isı Girdisi ve Pasolar Arası Sıcaklıkla.....	42
Çizelge 4.1 : Gaz Altı Kaynak Yöntemlerinde Kullanılan Gazların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	54
Çizelge 4.2 : Bazı Paslanmaz Çeliklere ait TIG İlave Tellerin Kimyasal Bileşenleri.	57
Çizelge 4.3 : EN 439' a Göre Gazların Özellikler	67
Çizelge 5.1 : AISI 316 malzemenin kimyasal bileşimi	82
Çizelge 5.2 : Kaynak İşlemi Esnasında Uygulama Parametreleri	83
Çizelge 5.3 : Çekme Deneyi Test Sonuçları	86
Çizelge 5.4 : Eğme Deneyi Test Sonuçları	87
Çizelge 5.5 : Charpy Çentik Darbe Test Sonuçları	89

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Fe-Cr Alaşımlarında Cr Miktarının Korozyon Direncine Etkisi.....	4
Şekil 2.2 : Paslanmaz Çelik Yüzeyinde Oluşan Koruyucu Krom Oksit Tabakası.....	4
Şekil 2.3 : Paslanmaz Çelik Yüzeyinde Oluşan Koruyucu Krom Oksit Tabakası.....	5
Şekil 2.4 : 20-800°C'da Çeşitli Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Uzama Kabiliyeti	6
Şekil 2.5 : 20°C'da Çeşitli Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Özgül Elektrik İletme Direnci	7
Şekil 2.6 : Krom ve Nikel Miktarlarına Göre Farklı Paslanmaz Çelik Türleri.....	11
Şekil 2.7 : Paslanmaz Çeliklere Ait Mikro Yapı Görüntüleri	12
Şekil 2.8 : Östenitik Çelikler ve İlave Edilen Alaşım Elementleri.....	14
Şekil 2.9 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Diğer Paslanmaz Çeliklere Göre Darbe Dayanım Değerleri	18
Şekil 2.10 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin mikro yapısı.....	19
Şekil 3.1 : Kaynak Çeşitleri.....	20
Şekil 3.2 : Kaynak Kabiliyetinin Malzeme, Üretim Yöntemi ve Konstrüksiyona Bağımlılığının Şematik Olarak Gösterilmesi (DIN 8528).....	23
Şekil 3.3 : DIN 8528' e Göre Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Faktörler (Şematik).	24
Şekil 3.4 : Kaynak Metalinin Katılma Evreleri.....	27
Şekil 3.5 : Alın ve Köşe Birleştirmelerinde Kaynak Dikişinde Segregasyon Bölgesi.....	27
Şekil 3.6 : Isının Tesiri Altındaki Bölgedeki (ITAB) Tane Yapısı.....	29
Şekil 3.7 : Tane Sınırlarında Oluşan Karbür Çökmesi.....	33
Şekil 3.8 : Krom Karbür Çökmesi Sonucu Hassas Bölgede Oluşan Korozyon....	34
Şekil 3.9 : Katılma Faz Sınırlarını da İçeren WRC-1992 Diyagramı.....	35
Şekil 3.10 : 20 Cr / 10 Ni'li ve % 3 Ferrit İçeren Paslanmaz Çelik.....	37
Şekil 3.11 : Farklı Sıcaklıklarda Isıl İşlem Uygulanan ve 780°C'da 300 Saat Süresince Tutulan, 20 Cr/10 Ni ve 1 Nb'lu Östenitik Bir Yapıda Bulunan Ferrit Miktarının Gösterdiği Etki.....	37
Şekil 3.12 : Deney Sonucunda Oluşan ve Çökelen Sigma Fazı Çizgileri.....	38
Şekil 4.1 : Örtülü Metal Ark Kaynağı Prosesinin Prensibi.....	46
Şekil 4.2 : TIG Kaynağının Prensip Şeması.....	47
Şekil 4.3 : TIG Kaynağının Prensibi.....	48
Şekil 4.4 : TIG Kaynağının Donanımı.....	49
Şekil 4.5 : Elektrot Hazırlama Süreçleri.....	51
Şekil 4.6 : Aynı Akım Şiddetiyle Yapılan TIG Kaynağında, Elektrot Ucunun Dikiş Formu Üzerindeki Etkisi	51
Şekil 4.7 : Elektrot Çeşitleri.....	52
Şekil 4.8 : Koruyucu Gazların Kaynak Dikişinin Şekline ve Nüfuziyetine Etkisi.....	53
Şekil 4.9 : Argon ve Helyum Gazlarının TIG Kaynak Yöntemindeki Davranışlarının Karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.10 : MIG Yöntemi ile Paslanmaz Çelik Bir Parçanın Kaynağı.....	62
Şekil 4.11 : MIG Yönteminde Parçaların Altına Konulan Altlık.....	62
Şekil 4.12 : MIG Kaynak Prosesinin Donanımı.....	63
Şekil 4.13 : Torç Bağlantı Paketi ve Kesiti.....	64

Şekil 4.14 : MIG Kaynak Prosesinde Kutuplamanın Tesiri.....	66
Şekil 4.15: Plazma Ark Kaynağı Prosesi.....	71
Şekil 4.16 : Tozaltı Ark Kaynağının Prosesi.....	74
Şekil 4.17 : Kaynak İçin Kullanılan CO ₂ Lazerinin Prensibi.....	75
Şekil 4.18 : Prosesin Şematik Gösterimi.....	77
Şekil 4.19 : Elektrik Direnç Kaymağının Biçimsel Gösterimi.....	79
Şekil 4.20 : Sürtünme Kaynağında, Parçaların Hareketlerinin Türleri.....	79
Şekil 5.1 : 316 Paslanmaz Çeliğin Kaynağı Sonrası Olası Problemler	81
Şekil 5.2 : AISI 316L ITAB Bölgesinde Oluşabilen Fazlar	82
Şekil 5.3 : Kaynak İşleminin Yapılışı	83
Şekil 5.4 : Kaynak İşlemi Esnasında Sırasıyla 1-2-3. Paso	83
Şekil 5.5 : Kaynak İşlemi Esnasında Sırasıyla Ağız Açma ve Taşlama İşlemleri...84	
Şekil 5.6 : Kaynak İşlemi Esnasında Sırasıyla Fırça İle Temizle, Sulama Öncesi ve Sonrası Durum	84
Şekil 5.7 : Numune Çalışmasının Detayları	85
Şekil 5.8 : Standart Çekme Testi İçin Numunesi Ölçüleri	86
Şekil 5.9 : Standart Eğme Testi İçin Uygulama Şekli	86
Şekil 5.10 : Kaynaklı Malzemelerde Yüz ve Kök Eğme Deneyi(Şematik)	87
Şekil 5.11: Standart Çentik Darbe Testi İçin Uygulama Şekli(Şematik)	88
Şekil 5.12 : Standart Charpy Çentik Darbe Numunesi(Şematik)	89
Şekil 5.13 : Kaynaklı Malzemelerin Sertlik Ölçüm Bölgeleri.....	90
Şekil 5.14 : 150A Akım Değerinde Kaynaklanmış Malzemenin Sertlik Ölçümleri..90	
Şekil 5.15 : 175A Akım Değerinde Kaynaklanmış Malzemenin Sertlik Ölçümleri..91	
Şekil 5.16 : 200A Akım Değerinde Kaynaklanmış Malzemenin Sertlik Ölçümleri..91	
Şekil 5.17 : 150A Akım İle Kaynaklanmış Plakanın ITAB ve Kaynak Mikroyapısı92	
Şekil 5.18 : 150A Akım İle Kaynaklanmış Plakanın Makroyapısı.....	93
Şekil 5.19 : 175A Akım İle Kaynaklanmış Plakanın ITAB ve Kaynak Mikroyapısı93	
Şekil 5.20 : 175A Akım İle Kaynaklanmış Plakanın Makroyapısı.....	94
Şekil 5.21 : 200A Akım İle Kaynaklanmış Plakanın ITAB ve Kaynak Mikroyapısı94	
Şekil 5.22 : 200A Akım İle Kaynaklanmış Plakanın Makroyapısı.....	95
Şekil 6.1 : 175A İle Kaynaklanmış Numunenin Kaynak Bölgesinde Oluşan Fazlar.....	96
Şekil 6.2 : Numunenin Ortalama Çekme ve Akma Mukavemetleri	98

AISI 316 PASLANMAZ ÇELİĞİN, TIG KAYNAĞI ile BİRLEŞTİRİLMESİNDE OPTİMUM KAYNAK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, kaynak akımı değeri, akım türü ve kaynak hızı gibi kaynak parametrelerin kaynak nüfuziyetine, mekanik özelliklere ve mikro yapıya olan etkileri araştırılmıştır. Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. AISI 316 östenitik paslanmaz çelik malzemelerin üzerine TIG (Tungsten Inert Gaz) kaynak cihazı ile düz dikişler çekilmiş, kaynak parametrelerin kaynaklı malzemenin nüfuziyetine, sertlik dağılımına ve mikro yapısına etkileri araştırılmıştır.

SEM çalışmalarında mekanik deneylerde oluşan kırılma yüzey morfolojileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda hem kaynak parametrelerinin hem de paslanmaz çelik malzemelerin kimyasal kompozisyonlarının nüfuziyet değerlerini etkilemekle birlikte, kaynak parametreleri sertlik değerlerini, kaynak metalinin mikroyapısını da etkilemektedir. TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerde kaynak parametrelerinin mikroyapıya, sertlik dağılımına, çekme dayanımına, çentik darbe tokluğuna ve yorulma davranışlarına etki ettiği görülmüştür. TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen farklı türlerdeki östenitik paslanmaz çelikler farklı mekanik davranışlar gösterdiklerinden, kaynak parametrelerinin seçiminde paslanmaz çeliklerin kompozisyonları dikkate alınmalıdır.

Anahtar kelimeler: Kaynak Parametreleri, Mekanik Özellikler, Mikroyapı, Nüfuziyet, Östenitik Paslanmaz Çelikler, TIG, Yorulma

DETERMINING THE OPTIMUM WELDING PARAMETERS FOR JOINING AISI 316 STAINLESS STEEL WITH TIG WELDING

ABSTRACT

In this study, the effects of welding parameters such as welding current value, current type and welding speed on weld penetration, mechanical properties and microstructure were investigated. The study was carried out in three stages. Straight seams were drawn on AISI 316 austenitic stainless steel materials with a TIG (Tungsten Inert Gas) welding device, and the effects of welding parameters on the penetration, hardness distribution and microstructure of the welded material were investigated.

Fracture surface morphologies formed in mechanical experiments were investigated in SEM studies. In experimental studies, both the welding parameters and the chemical composition of stainless steel materials affect the penetration values, but also the welding parameters affect the hardness values and the microstructure of the weld metal. It has been observed that welding parameters affect microstructure, hardness distribution, tensile strength, notch impact toughness and fatigue behavior of austenitic stainless steels joined by TIG welding method. Since different types of austenitic stainless steels joined by TIG welding method exhibit different mechanical behavior, the composition of stainless steels should be considered in the selection of welding parameters.

Key Words: Welding Parameters, Mechanical properties, Penetration, Austenitic stainless steel, GTAW, Fatigue

1.GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkemiz endüstrisinin paslanmaz çeliklere olan gereksinimi her geçen gün artarak devam etmektedir. Başta genel manada kimya endüstrisi olmak kaydıyla; gıda, ilaç ve petro kimya endüstrisinde fazlaca tercih edilmektedir. Bilhassa basınçlı kaplar, depolama tankları ve paslanmaz boruların üretiminde çok farklı ve çeşitli türlerde paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Ayrıca bahse konu malzemelerin konstrüksiyonlarının oluşturulmasında eskiden alışılmış şimdilerde ise modern kaynak yöntemleri kullanılmaktadır.

Kısaca paslanmaz çeliklerden bahsetmek gerekirse, mükemmel korozyon dirençlerinin yanında, farklı mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, hem düşük hem de yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesi, şekil verme kolaylığı, gibi özelliklere sahiptirler. Dünyada çoğunluğu yassı mamul olmak üzere yıllık 20 milyon ton civarı paslanmaz çelik tüketilmektedir. Tüm paslanmaz çeliklerin korozyon direnci konusu, çok yoğun ve koruyucu bir krom oksit (ince pasif yüzey) tabakasının oluşmasına dayanır. Kısaca açıklamak gerekirse; herhangi bir çeliğin yüzeyindeki pasif tabaka kırıldığında; çelik bölgesel olarak korozif saldırıya maruz kalır ve bu şekilde aktif hale gelen bölgede metalin korozyonu devam eder. Bu sebeple ilave bazı alaşım elementleri, bölgesel saldırılara karşı koyabilme özelliği kazandırmaktadır.

Paslanmaz çelik grupları içinde; östenitik paslanmaz çelikler en çok kullanım alanı bulanlardan bir tanesidir. Başlıcaları AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerdir ve AISI 304'ün yetersiz kaldığı klorürlü ortamlar gibi çok daha ciddi korozif ortamlarda AISI 316 grubu kullanım alanı bulurlar. Östenitik paslanmaz çeliklerin diğer önemli özelliklerinden birisi de, genellikle diğer çeliklerde görülen aksine manyetik özelliği olmamasıdır [1].

Günümüzde paslanmaz çelik türlerinin kaynak işlemleri ark kaynak yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir ayrıca en yaygın kullanılan yöntem ise TIG kaynak yöntemidir. Bazı sınırlamalar dışında diğer çelikler için kullanılan tüm kaynak yöntemleri ekseriyetle paslanmaz çelikler için de kullanılabilir. Paslanmaz çelikler; TIG kaynağı, MIG kaynağı, plazma ark kaynağı, elektrik ark kaynağı ve lazer ışın kaynağı ile kaynaklanabilmektedirler. Günümüzde, paslanmaz çeliklerin birleştirilmelerinde en yaygın kullanılan kaynak yöntemi, TIG kaynak yöntemidir.

TIG kaynağı; başta paslanmaz elik olmak üzere, alüminyum, magnezyum, bakır ve diğer demir dışı metaller gibi özellikle kaynak işlemi zor olan metallerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kaynak parametreleri hem kaynak işlemini hem de elde edilen kaynak kalitesini belirleyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Kaynak parametrelerinin kıstaslarının başında; kaynak edilen metalin ve alaşım ile kaynak metalinin cinsi ayrıca kaynak ağız geometrisi üzerinden saptanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, paslanmaz çeliklerin özellikleri incelenmiş olup, uygulanan kaynak yöntemleri açıklanmiş ve kaynak parametrelerinin birleştirmelere olan etkisi araştırılmış ve tez haline getirilmiştir.



2. PASLANMAZ ÇELİKLER

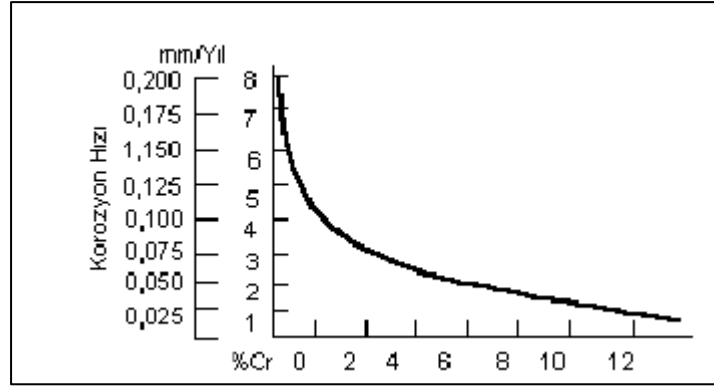
2.1 Paslanmaz Çelikler Hakkında Genel Bilgi

Paslanmaz çelikler alaşımsız ve/veya az alaşımlı çeliklerle karşılaştırıldığında korozyon dirençleri sebebiyle günümüz endüstrisinin vazgeçilmez malzemelerinin başında gelmektedir, asıl manada oksitleyici ortamlarda paslanmayan çeliklere verilen genel addır ve endüstrinin birçok dalında yaygın olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler üstün korozyon dayanımlarının yanında, farklı mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, hem yüksek ve hem de düşük sıcaklıklarda kullanılabilmeleri, şekil verebilmedeki kolaylıkları ve de estetik görünümleri gibi avantajlı ayrıcalıklı özelliklere sahiptirler [3,4].

Artık toplumlarda refah seviyesinin bir göstergesi olarak paslanmaz çeliklerin tüketimi dikkate alınmaktadır. Daha az miktarlarda ise; boru, tel, çubuk, dövme parça ve döküm parça olarak kullanılmaktadır [10].

Paslanmaz çelikler diğer çelik türleri ile karşılaştırıldıklarında fiyat bakımından dezavantajlı olmakla birlikte, daha ucuz ve kolay bakımlı olmasının yanında uzun ömürlülük, tümüyle geri kazanılabilirlik ve çevreye dost bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu sebeple de genel yapılan tasarım ve fiyat analizlerinde parçanın tüm ömrü dikkate alınarak paslanmaz çelik kullanımının daha ekonomik olduğu görülmektedir.

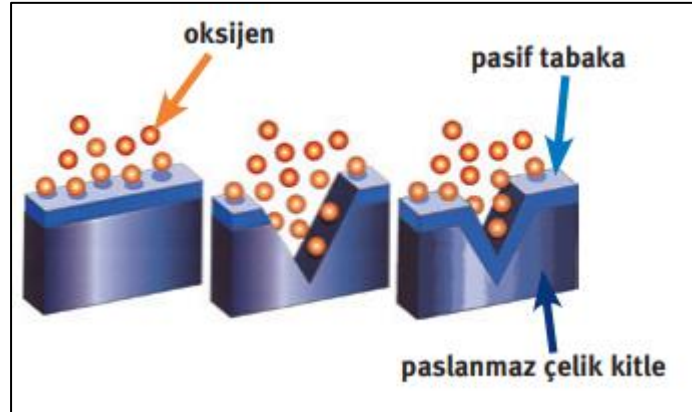
Paslanmaz çelikler ekseriyetle yüksek miktarda krom içeriklidir ayrıca paslanmaz olarak nitelendirilebilmeleri için bu malzemelerin kimyasal bileşiminde en az %10,5-12 Cr bulunması gerekmektedir [3,4]. Çünkü, demir-krom alaşımlarının oksitleyici ortamlarda korozyon dirençleri, alaşımın kimyasal içeriğinde bulunan krom artısına paralel olarak arttığı krom miktarının azalması ile mevcut alaşımın daha fazla korozyona maruz kaldığı yapılan deneylerde görülmektedir. Oda sıcaklığında püskürtme su içindeki ortamda malzeme içerisindeki krom miktarının %10,5 değerine ulaştığında korozyonun durduğu görülmektedir. Şekil 2.1'de krom miktarının korozyon direncine karşı etkisi görülmektedir. Kısacası ayrıcalıklı mekanik özelliklerinin yanında korozyon dayanımlarından sebeple günümüz endüstrisinin en önemli malzemelerinden birisinin olması yanında toplamda 200 civarı farklı türü bulunmaktadır [1],[2].



Şekil 2.1 : Fe-Cr Alaşımlarında Cr Miktarının Korozyon Direncine Etkisi [3],[4]

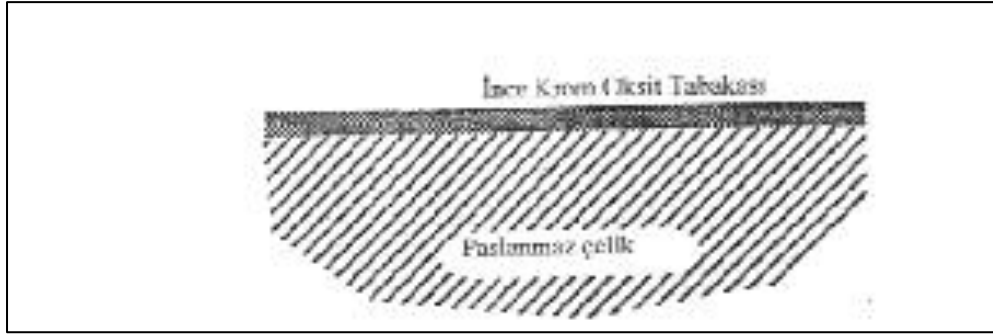
Paslanmaz çeliklerin mükemmel korozyon dirençlerinin nedeni yüksek krom içermesinden kaynaklanmaktadır. Demire az miktarda örneğin yaklaşık %5 krom katılması ile bir miktar korozyon direncinde artış sağlanır. (Ancak paslanmaz çelik üretmek için min. %12 Cr bulunması gerekmektedir). Çelikte bulunan kromun korozyona karşı koruyucu kabiliyeti, kromun oksijene olan ilgisinden ileri gelmektedir. Paslanmaz çelikteki kromun oksijene büyük bir yakınlığı vardır.

Malzeme içerisindeki krom yeterli miktarda olduğunda ve oksijenle karşılaştığında çeliğin yüzeyinde moleküler düzeyde 130 Angström inceliğinde bir krom oksit (Cr_2O_3) film tabakası oluşturmaktadır. (Şekil 2.2) Böylece yüzey pasif bir hale gelmektedir ve malzemeyi çevrenin olumsuz etkisinden korumaktadır [5,8].



Şekil 2.2 : Paslanmaz Çelik Yüzeyinde Oluşan Koruyucu Krom Oksit Tabakası [9]

Korozyona karşı mukavemetin gerçekleştirilebilmesinin sebebi olan bu oksit tabakası; ince, sıkı, geçirgen olmayan ve metalin yüzeysel davranışlarında çok önemli elektrokimyasal değişiklikler yaparak çeliği, korozif ortamdan muhafaza eden özelliklere sahiptir ve dış etkiler sebebiyle (aşınma, kesme veya talaşlı imalat vb.) bozulsa dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur [3],[6],[7].



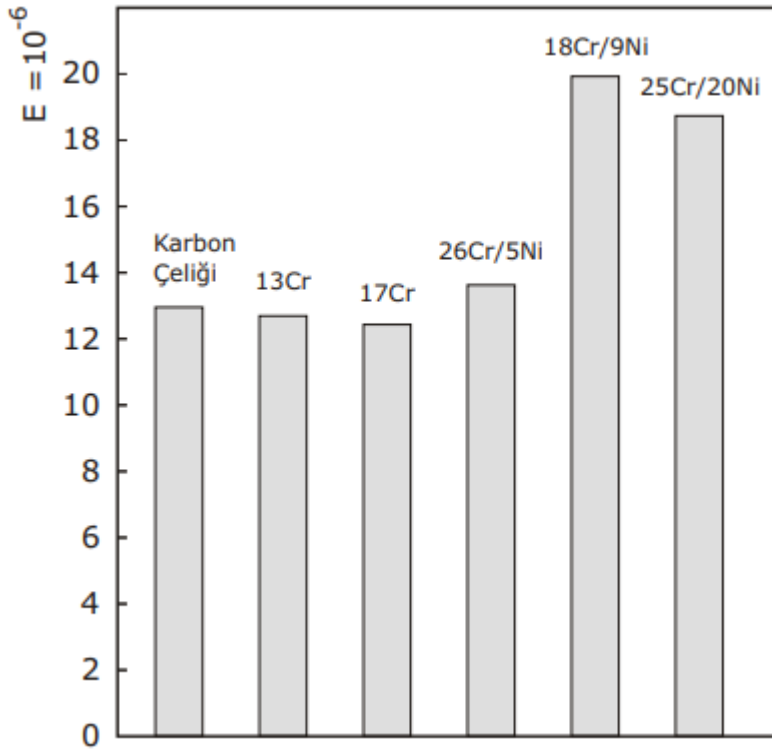
Şekil 2.3 : Paslanmaz Çelik Yüzeyinde Oluşan Koruyucu Krom Oksit Tabakası [6]

Genel olarak paslanmaz çelik grubuna ait ortalama fiziksel özellikler Çizelge 2.1' de gösterilmiştir. Burada elastisite modülü, özgül sıcaklık, elektriksel direnç, yoğunluk, ısıl genleşme katsayısı, ısıl iletkenlik, manyetik geçirgenlik ve ergime aralığı gibi veriler bulunmaktadır. Bu değerlerden daha detaylı mühendislik gereksinimi için talep olursa ASM Handbook, 9. Baskı, Cilt 3' ten yararlanılabilir [19].

Çizelge 2.1 : Paslanmaz Çelik Gruplarına Ait Fiziksel Özellikler [19]

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	ÖSTENİTİK PASLANMA Z ÇELİKLER	FERRİTİK PASLANMA Z ÇELİKLER	MARTENZİTİ K PASLANMAZ ÇELİKLER	ÇÖKELME İLE SERTLEŞEBİLE N ÇELİKLER
Elastisite Modülü (Gpa)	195	200	200	200
Yoğunluk(g/m ³)	8	7,80	7,80	7,80
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	16,6	10,4	10,3	10,8
Isıl İletkenlik (W/mk)	15,7	25,1	24,2	22,3
Özgül Isı (J/k °K)	500	460	460	460
Elektriksel Direnç (µΩcm)	74	61	61	80
Manyetik Geçirgenlik	1,02	600-1100	700-1000	95
Ergime Aralığı (°C)	1375-1450	1425-1530	1425-1530	1400-1440

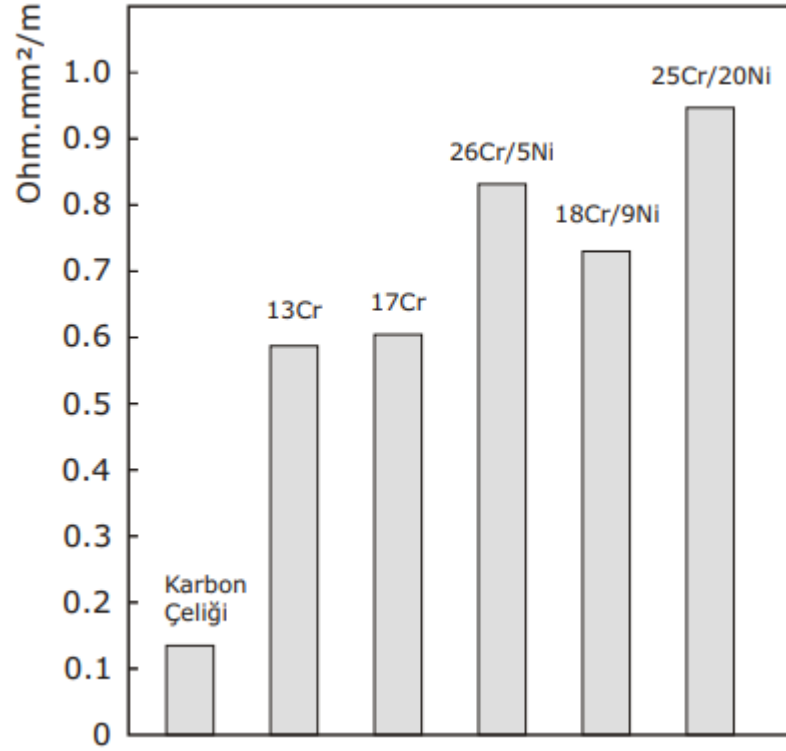
Yüksek kromlu paslanmaz çelikler ile karbon çelikleri genellikle aynı genleşme katsayısına sahiptir. Aynı değer; östenitik tip paslanmaz çeliklerde karbon çeliklerinkinden %50 daha fazladır. Bahse konu durum bu sebeple sadece kaynakçıyı değil aynı zamanda konstrüksiyonu yapan mühendisi de yakından ilgilendirmektedir[19].



Şekil 2.4 : 20-800°C'de Çeşitli Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Uzama Kabiliyeti [19]

Elektrik iletme direnci açısından değerlendirdiğimizde; alaşımsız karbon çeliklerinin düşük olmakla birlikte paslanmaz çeliklerin karbon çeliklerine nazaran 4-7 kat daha yüksektir. Bu durum paslanmaz çelik örtülü elektrotların konvansiyonel olanlara nazaran daha hızlı kızarmasının da izahıdır . Bu sebeple paslanmaz çelik elektrotların alaşımsız ve düşük alaşımlı demir elektrotlardan boy olarak daha kısa üretilirler ve %25 kadar daha düşük akım şiddeti ile yüklenme gerçekleştirilir [19].

Östenitik paslanmaz çeliklerin ısı iletim kabiliyeti ise karbonlu çeliklere nazaran 3 kat daha düşüktür. Bundan dolayı kaynak işlemi esnasında oluşan sıcaklığın kaynak bağlantısında daha uzun süre kalacağından bazı sıkıntılarla karşılaşmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerde ısıl genleşme katsayısı, karbon çeliklerine nazaran %50 daha fazladır. Böyle bir durum özellikle kaynaklı konstrüksiyon tasarımlarda kritik öneme sahip olup bazı sınırlamalar gerekmektedir [1].



Şekil 2.5 : 20°C'de Çeşitli Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Özgül Elektrik İletme Direnci [19]

2.2 Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri

Paslanmaz çeliklerin tercih sebepleri arasında; yüksek ve düşük sıcaklıklara dayanım, korozyon dayanımı, mekanik dayanım, imalat kolaylığı, görünüm, hijyenik özellik ve uzun ömür başlıkları ile sıralanabilir:

- **İmalat Kolaylığı:** Paslanmaz çeliklerin tamamına yakını kaynak, kesme, soğuk ve sıcak şekillendirme ve talaşlı imalat işlemleri ile kolaylıkla şekillendirilebilirler.
- **Mekanik Dayanım:** Paslanmaz çeliklerde ekseriyetle soğuk şekillendirme ile pekleşme görülür ve bu sebeple dayanım artar. Dolayısıyla tasarımlarda malzeme kalınlıkları azaltılarak parça ağırlığı ve de fiyatta önemli düşüşler sağlanabilir. Bazı farklı çeşitlerde ise ısıtım işlemleri ile malzemeye çok yüksek bir dayanım kazandırmak mümkün olabilir.
- **Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar:** Paslanmaz çeliklerin bazı türlerinde, yüksek sıcaklıklara çıkılan durumlarda dahi tufallenme ve malzemenin mekanik dayanımında ciddi bir düşme görülmez. Bazı türlerinde ise çok düşük sıcaklıklarda dahi tokluklarını koruyarak gevrekleşme göstermezler.

· **Korozyon Dayanımı:** Paslanmaz çeliklerin tamamında korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona dayanım gösterirken, yüksek alaşımlı olan türleri de asit, alkali çözeltiler ile klorür içeren ortamlara bile dayanım gösterirler. Ayrıca yüksek basınçlarda ve sıcaklıklarda kullanılabilirler.

· **Görünüm:** Paslanmaz çelikler çok farklı kalitelerde yüzey görünümlerine sahiptirler. Bu yüzeylerin kalitesi, görünümü ve de bakımı kolay olduğundan kolaylıkla uzun süreler korunabilme özelliklerine sahiptirler.

· **Hijyenik Özellik:** Paslanmaz çelikler kolay temizlenebilir oldukları için; hastane, mutfak, gıda ve ilaç sanayinde yaygın olarak kullanılabilirler.

· **Uzun Ömür:** Paslanmaz çelikler bakımı kolay ve dayanıklı malzemeler oldukları için, üretilen parçanın tüm kullanım ömrü göz önünde bulundurulduğunda ekonomik malzemelerdir [11].

2.3 Paslanmaz Çelikler İçerisindeki Alaşım Elementleri ve Etkileri

Paslanmaz çeliklerin bileşiminde, paslanmazlık özelliğini temin eden elementlerin yanında, diğer bazı ihtiyaçları da karşılamak adına katılan başka alaşım elementleri de bulunmaktadır.

- ❖ Krom; korozyon ve tufallaşma dayanımını arttırmanın yanında karbür ve ferrit yapıcıdır. [12].
- ❖ Nikel; kuvvetli bir ostenit yapıcı olmanın yanında dengeleyici özelliğini korumaktadır. Yüksek sıcaklıktaki direnci, sünekliği ve korozyona karşı dayanımı arttırır. Kaynak metalinin tokluğunu yükseltici etkisi olmasının yanında mekanik özellikleri de iyileştirirler [14].
- ❖ Karbon; kuvvetli bir ostenit yapıcıdır. Krom ile birlikte tanelerarası korozyonda ana rol oynayan karbürlerin oluşumuna sebebiyet verirler [12].
- ❖ Alüminyum; kuvvetli bir ferrit yapıcı olmanın yanında %12 C içeren kaynak metaline katılması durumunda yapıyı ferritik yani sertleşmez hale getirir. Yüksek sıcaklıklarda tufallaşma direncinde artışa sebep olurlar. Kuvvetli bir nitrür yapıcıdır. Titanyum ile birlikte yüksek mukavemetli alaşımlara katılması, yaşlanma sertleşmesinin etkisini azaltır [13].

- ❖ Azot; kuvvetli ostenit yapıcı olma konusunda çoğu zaman nikel kadar etkilidir. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini önlemek için katılır. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda kaynak metalinin tokluğu konusunda mukavemet artırıcıdır [13].
- ❖ Bakır; bazı ortamlardaki korozyon dayanımlarını arttırmak için paslanmaz çeliklere katılır. Gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyeti azaltıcıdır ve yaşlanma yoluyla sertleşmeyi teşvik etmektedir [15].
- ❖ Kobalt; paslanmaz çelik alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda hem mukavemet özelliklerini ve hem de sürünme geliştirmek amacıyla katılır [12].
- ❖ Mangan; östenit yapıcı özelliktedir. Bazı ostenitik alaşımlarda kaynak metalinin çatlama dayanımını artırır. Oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda ostenitin kararlı olmasını sağlar. Ancak yüksek sıcaklıklarda ferrit ve Manganez sülfat oluşturur [13].
- ❖ Molibden; ferrit oluşumunda etkilidir. Yüksek sıcaklıklarda dayanım arttırıcıdır ve redükleyici ortamlarda korozyona karşı dayanım sağlar [15].
- ❖ Niyobyum: kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerinde krom karbür çökmesine karşı dengeleyicidir. Orta şiddette ferrit yapıcı özelliğe sahiptir [14].
- ❖ Fosfor, Kükürt, Selenyum; bu elementlerden biri, az miktarda molibden veya zirkonyum ile birlikte paslanmaz çeliğe katılma durumunda, paslanmaz çeliğin talaşlı işleme kabiliyetini arttırlar. Ancak kaynak metalinde çatlama sebebiyet verebilirler [15].
- ❖ Silisyum; bir ferrit yapıcı olması sebebiyle, bileşimde %1'den daha fazla olması durumunda ferrit ve sigma fazı oluşumuna sebep olur. Ostenitik çeliklerde korozyon direncini arttırmak için de kullanılır. Yüksek sıcaklıklarda tufallaşma direncini arttırmasının yanında, her tür paslanmaz çeliğe oksit giderici olarak eklenir. Akışkanlığı arttırarak kaynak metalin ana metali daha iyi ıslatmasını sağlar [12].
- ❖ Titanyum; kuvvetli bir karbür ve nitrür yapıcı olduğu için östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbürlerin çökmesini önlemek için dengeleme elementi olarak tercih edilirler. Kuvvetli bir ferrit yapıcı olmasının yanında yüksek

sıcaklığa dayanımlı alaşımlarda mukavemet ve sertlik arttırıcıdır. Alüminyum ile birlikte yüksek mukavemetli alaşımlara ilave edilerek yaşlanma sertleşmesinin etkisini azaltırlar [13].

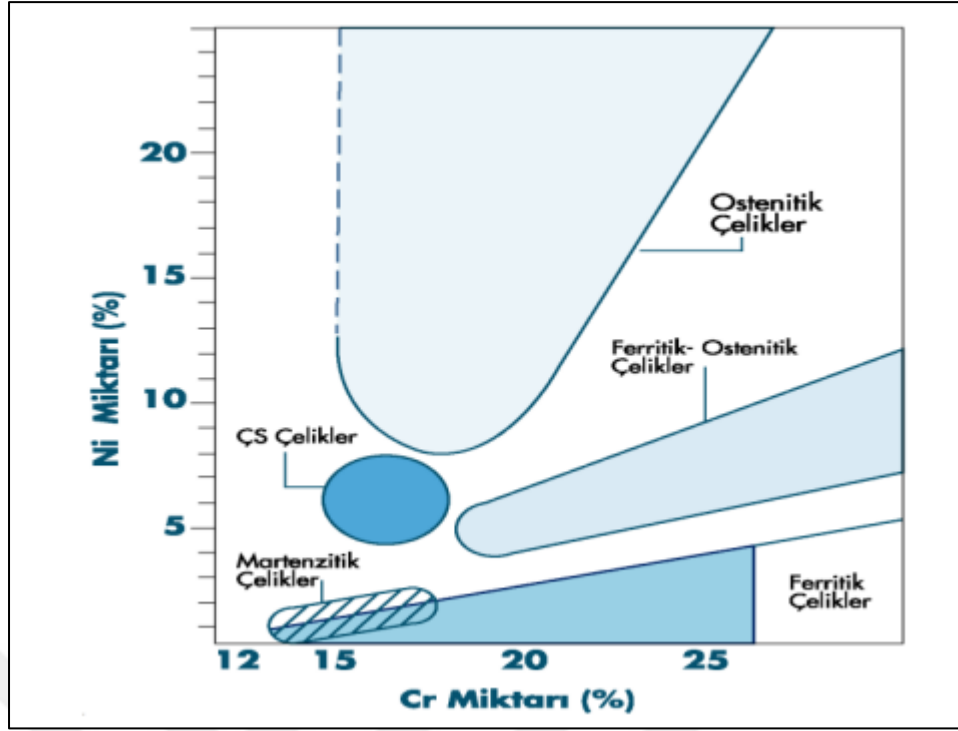
- ❖ Tungsten (Wolfram); kuvvetli bir ferrit yapıcıdır ayrıca bazı yüksek sıcaklık alaşımlarında sürünme ve mukavemet direncini arttırmak için tercih edilirler [14].

2.4 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Günümüz endüstrisinde yaygın olarak tercih edilen paslanmaz çelikler, içerdiği ilave elemanlara göre değişen ve tamamen ferritik ile tamamen östenitik özellikler aralığında sıralanan beş farklı türde paslanmaz çelik çeşidi bulunmakta olup bunlar aşağıda gibi sıra ile verilmiştir:

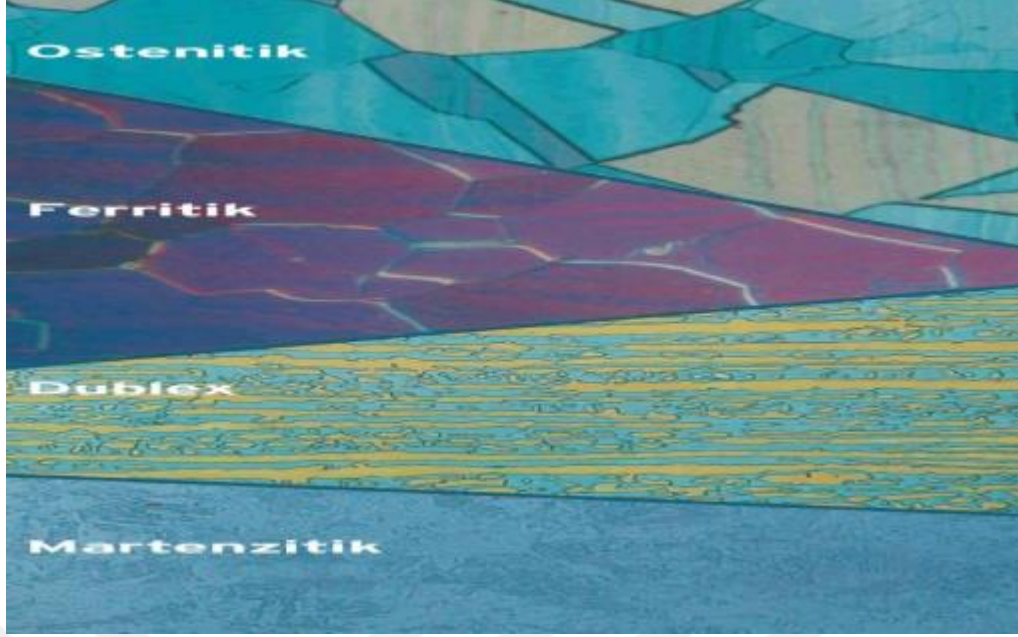
1. Ostenitik paslanmaz çelikler
2. Ferritik paslanmaz çelikler
3. Martenzitik paslanmaz çelikler
4. Çift fazlı paslanmaz çelikler
5. Çökelme yolu ile sertleşmeli paslanmaz çelikler [2].

Aşağıdaki şekil 2.4' te mevcut paslanmaz çelikte krom ve nikel oranlarına göre mevcut olan paslanmaz çelik türleri verilmiştir. İç yapısına göre değerlendirildiğinde en yaygın olarak ostenitik ve ferritik çelikler tercih edilmektedirler ve tüm paslanmaz çelikler içinde %95 oranına tekabül etmektedirler [17].



Şekil 2.6 : Krom ve Nikel Miktarlarına Göre Farklı Paslanmaz Çelik Türleri [8]

Paslanmaz çeliklerde içeriğin belirlenmesinde ana rol oynayan alaşım elementleri, öncelik sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Krom ve nikel içyapımın östenitik veya ferritik olmasını belirler. Beş ana grup şeklinde bulunan paslanmaz çeliklere ait mikro yapı görüntüleri Şekil 2.5’ de gösterilmiştir. Anlaşılacağı üzere östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapısı östenit tanelerinden oluşurken, ferritik paslanmaz çeliklerin yapısı ince ferrit tanelerinden meydana gelmektedir. Martenzitik paslanmaz çeliklerin yapıları ferrit tane yapısı içerisinde karbür dağılımları şeklinde görülecektir. Duplex paslanmaz çeliklerin yapısına gelindiğinde; östenit matriks içerisinde uzanmış ferrit levhaları görülecektir [17].



Şekil 2.7 : Paslanmaz Çeliklere Ait Mikro yapı Görüntüleri [17]

Paslanmaz çeliklerin türleri içerisinde özellikle sade kromlu olanları manyetikler fakat östenitik krom nikelli paslanmaz çelikler incelendiğinde anti manyetik özellik gösterdiği görülmüştür. 100-500 °C aralığında incelemeler yapıldığında görülmüştür ki östenitik paslanmaz çeliklerin ısıl genleşme katsayıları, ferritik paslanmaz çeliklere kıyasla %60 daha fazladır.

Ferritik paslanmaz çeliklerin ısıl iletkenlikleri, karbonlu çeliklere nazaran takribi olarak %50 daha düşüktür. Isıl iletkenlikleri konusuna gelince, östenitik paslanmaz çeliklere göre %40 daha fazladır. Ayrıca elektrik iletme dirençleri %20 ve özgül ısıları da yine kıyasla %10 daha aşağıdadır. Ancak tüm paslanmaz çeliklerin elektrik dirençleri karbonlu çeliklere nazaran takribi olarak 4-7 kat daha fazladır. Ferritik kromlu çelikler yoğunluk olarak östenitik krom nikelli paslanmaz çeliklerden daha aşağıdadır [18].

2.4.1 Östenitik paslanmaz çelikler

Bu tür paslanmaz çelikler hem kullanım hem de alaşım kalitelerinin fazlalığı açısından en geniş gruptur. Bu çelikler manyetik değildirler. Gerek oda sıcaklığında gerekse de yüksek sıcaklıklarda kübik yüzey merkezli sistemine sahip östenitik içyapılarını koruduklarından, sertleştirme ve normalleştirme ısıl işlemi yapılamaz. Tavlanmış halde olunca toklukları, süneklikleri ve şekillendirilebilme kabiliyetleri düşük

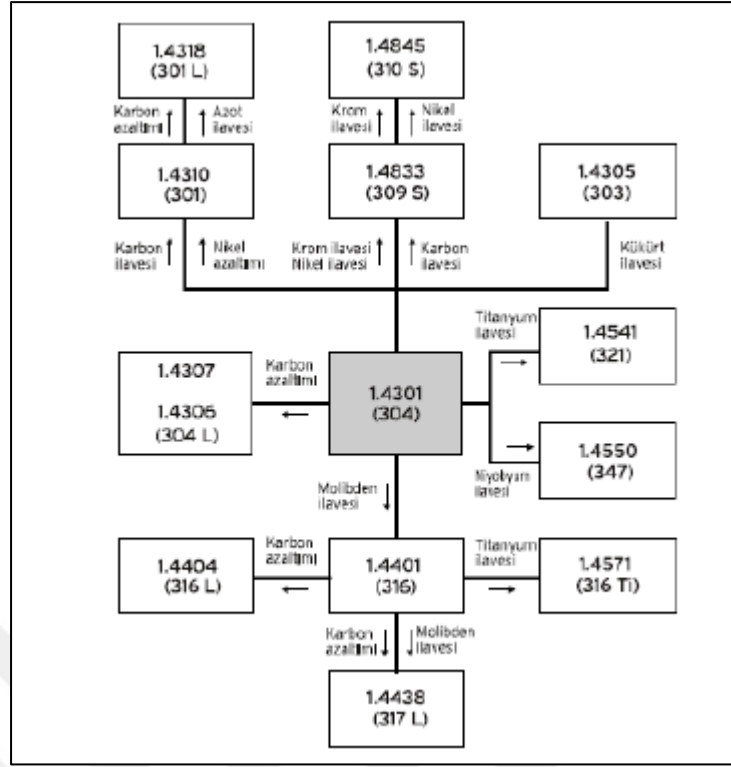
sıcaklıklarda bile mükemmel derecededir. Mukavemetleri ancak soğuk şekil verme ile artırılabilir [20].

Östenitik paslanmaz çelikler % 10-24 Ni+Mn, % 16-26 Cr, % 0.40'a kadar C ve düşük miktarda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi diğer alaşım elementlerini içerir. Cr ve Ni+Mn oranları arasındaki denge, % 90-100 östenitten oluşan bir mikro yapının elde edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık skalasına sahip oldukları için yüksek dayanım ve tokluk değerleri ile ön plana çıkarlar ve oksidasyona karşı dirençleri 540°C'a kadarki sıcaklıklarda görülebilir. Bu grupta mevcut yaygın malzemelerin başında 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 gelmektedir [19].

Östenitik paslanmaz çeliklerin en bilinen alaşımı X12CrNi18.8' dir. Bu alaşımın yapısında ısıtılmalardan sonra 1050 °C' den suya çekilir veya havada bırakılırsa, ince östenit taneleri oluşur. Bahse konu bu yapı oda sıcaklığında kararlı iken yüksek sıcaklıklara doğru kararlılığını kaybeder. Oda sıcaklığında çeliğin mikro yapısında östenit + (-)ferrit ve (Cr,Fe)₄C karbürleri mevcuttur. Bunun dışında, -fazı da yapıda görülebilir [23].

Östenitik paslanmaz çelikler, özellikle redükleyici veya oksitleyici ortamlarda iyi korozyon direncine sahiptir. Bahse konu paslanmaz çelikler, orta dereceli ve şiddetli korozif ortamlar için geliştirilmiştir. Aynı zamanda 0- 600 °C' ye kadar yüksek tokluk gösterirler [13].

Şekil 2.6'da östenitik paslanmaz çeliklerin türleri ile ilave edilen alaşım elementleri hakkında bilgiler verilmiştir.



Şekil 2.8 : Östenitik Çelikler ve İlave Edilen Alaşım Elementleri [21].

Östenitik paslanmaz çelikler martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklere nazaran daha yüksek korozyon direncine sahiptirler. Hem çok düşük ve hem de yüksek sıcaklıklardaki korozyon dirençlerinin yanında üstün mekanik özellikleri bahse konu bu çeşit çelikleri farklı birçok alanda ayrıcalıklı yapmaktadır. Bundan dolayı ABD (Amerika Birleşik Devletleri) çelik üretiminin %70 östenitik paslanmaz çeliklere aittir. Bu malzemelerin yüksek korozyon direncinin olması yanında şekillendirilebilme kabiliyetlerinden de dolayı birçok mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedirler [20].

Östenitik paslanmaz çeliklere ait bazı malzeme kodları, türleri ve endüstrideki kullanım alanları Çizelge 2.2' de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Türleri ve Kullanım Alanları [20]

Tür	Tipik uygulamalar
301	Yüksek pekleşme hızı, yüksek dayanım, yüksek sünekliğin gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Tren yolu arabaları, treyler gövdeleri uçak parçaları, sıkma bilezikleri otomobil tekerlek kapakları, çeşitli süslemeler
304	Kaynak sırasında karbür çökmesi sınırlamak için tip 302'nin düşük modifikasyonu. Kimyasal ve yiyecek işleme ekipmanları, soğuk kaplar, sac kaplamalar
304L	Kaynak sırasında karbür çökmesi sınırlamak için tip 304'ün daha fazla düşük karbon modifikasyonu. Kömür silo hatları, sıvı gübreleme tankları
309	Yüksek sıcaklık dayanımı ve oksitlenme direnci, uçak ısıtıcıları, ısı işlem ekipmanları, tavlama kapakları, fırın kaplamalar, pompa parçaları.
310	309'dan daha yüksek oksitlenme direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı, ısı değiştiricileri, kaynak dolgu metalleri, gaz türbin bıçakları
316	304'den daha yüksek korozyon direnci, yüksek sürünme dayanımı, kimyasal taşıma ekipmanları, maya tüpleri.
316L	Tip 316'nın daha fazla karbon modifikasyonu taneler arası karbür çökmesini önlemek zorunda olduğu kaynaklı yapılar, 316L yoğun kaynak gerektiren yerlerde kullanılır.
321	Çok şiddetli korozyon şartlarına maruz kaynaklı bağlantılar, kaynatma kazanları, kabin ısıtıcıları.
347	Yüksek sürünme dayanımıyla birlikte tip 321'e benzer, uçak egzost bacaları, jet motor parçaları, kimyasal maddeler için kaynaklı tanker arabaları.

2XX serisinde, maksimum % 7 Nikel, %5-20 arasında mangan bulunur. Azotun östenit içinde çözünürlüğü sebebiyle dayanım artırıcı etkisi olabilir. Katı çözeltilerde yer alan kristal kusurlarının içerisine yerleşen azot, östenitik içyapının mukavemetini artırır.

3XX serisi ise daha fazla Nikel ve maksimum %2 Mangan içerir. 301 ve 304 kaliteleri 3XX serisinin temel alaşımlarıdır ve en az alaşıma sahip türlerdir. X5CrNi1810 (304) serisi çelikler gerek korozyon direnci gerekse de şekillendirilebilme kabiliyeti gibi ayrıcalıklarından sebeple en yaygın tercih edilen türlerdir. Bahse konu çeliklerde korozyonu engellemek için gerekli olan kromun ferrit yapıcı tesiri, östenit yapıcı alaşım elementleri ilave edilerek giderilir. 304 kalite çeliklere molibden ilave edilerek 316 ve 317 kaliteleri üretilir ve klorürlü ortamda noktasal korozyona karşı dayanım sağlanır. 309 ve 310 kaliteleri gibi yüksek kromlu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda ve oksitleyici ortamlarda tercih edilir. Yüksek nikelli alaşımlar bilhassa indirgeyici asidik ortamlarda kullanılırlar yalnız burada güçlü bir östenit yapıcı olmasına keza karbon miktarı karbür oluşumuna sebebiyet vereceği ve korozyon dayanımını zayıflatacağı için artırılmamalıdır. Burada nikel oksitleyici ve indirgeyici asitlere dayanıklı olduğu için tercih edilir. Süper östenitikler, yüksek oranda nikel, takribi %6 molibden ve %20 azot içerirler. Yüksek sıcaklıkta tanelerarası korozyonu önleme ve karbonu kararlı hale getirme maksatlı 321 ve 347 kalite çeliklere titanyum ve niyobyum ilave edilir.

“L“ ve “S” ile biten alaşımlarda (304L, 309S gibi) tanelerarası korozyonu engellemek için karbon oranını düşük tutma tercih edilmiştir [13].

Östenitik paslanmaz çeliklerde mukavemeti artırmak için genellikle soğuk şekil verme yönteminden yararlanır. Bu çeliklerde pekleşme ferritlere nazaran daha fazladır. Bu arada şekil değiştirme ile martenzit yapı da meydana gelebilir ve malzeme manyetiklik elde eder. Mukavemetin artması için farklı bir prosesle alaşımlama yapılmalıdır. Bu süreçte en etkili elementler karbon ve azottur. Kükürtsüz östenitik çelikler korozif ortamlarda ferritlere göre daha iyi sonuç verirler. Molibden ilave edilmesi ile organik ve çeşitli mineral asitlere karşı dayanımları artar. Tam östenitik çelikler asitlere ve ısıya dayanıklı olmanın yanında yüksek sıcaklıkta özellikleri iyi olan malzemelerdir fakat sıcak yırtılma eğilimi gösterebilirler. Östenitik çeliklerin tok ve sünek olmasının yanında ısı etkisiyle sertleşmediklerinden kaynak bağlantıları için gayet makul durumdadırlar ancak ısınan ve soğuyan bölgede karbür çökmesinin önüne geçilmesi için kararlı yapıda olan türleri tercih edilmelidir. Öte yandan ısı iletimlerinin düşük, genleşmelerinin yüksek olması sebebiyle ısı girdisi; kaynakta çarpılmayı önlemek için düşük olarak tercih edilmelidir. Östenit fazı içeren çeliklerde en yaygın görülen sorunların başında krom karbür çökmesi gelmektedir. Kritik sıcaklıklar yani 400-850°C arasında yüksek enerjili tane sınırları boyunca ayrılmak suretiyle yan yana dizilen zengin kromlu karbürler, malzemenin korozif ortamlara maruz kalması durumunda tanelerarası korozyona ve de tane ayrılmasına sebebiyet verirler. Bunun sebebi karbür bünyesine geçen krom nedeniyle, katı çözültideki krom miktarının korozyona dayanıklılık sınırının (%10,5) altına düşmesidir. Bunu önlemek amaçlı çeliğe stabilizatörler katılır ve içyapı kararlı hale getirilir. Bahse konu stabilizatörler, karbona ilgileri kromunkinden daha fazla olan titanyum, tantal ve niyobyum gibi elementlerdir. Böylelikle karbon, yüksek sıcaklıklara gelindiğinde dahi krom karbür meydana getirmeyecek şekilde bağlanır. ELC (extra low carbon- çok düşük karbonlu) çelikler kullanılabilir. Östenitik çeliklerde 650°C sıcaklıkta çözünebilir karbon miktarı takribi olarak %0,05'tir. Karbon miktarı bu değerden düşük olduğunda; çözünen karbon karbür meydana getiremez. Çözme tava uygulanabilir. 1050-1150°C sıcaklıkları arasında tavlama yoluna gidilerek çökelmiş karbürler çözündürülür. Hızlı soğutulma yoluna gidilerek de yeniden çökme önlenmiş olunur [21].

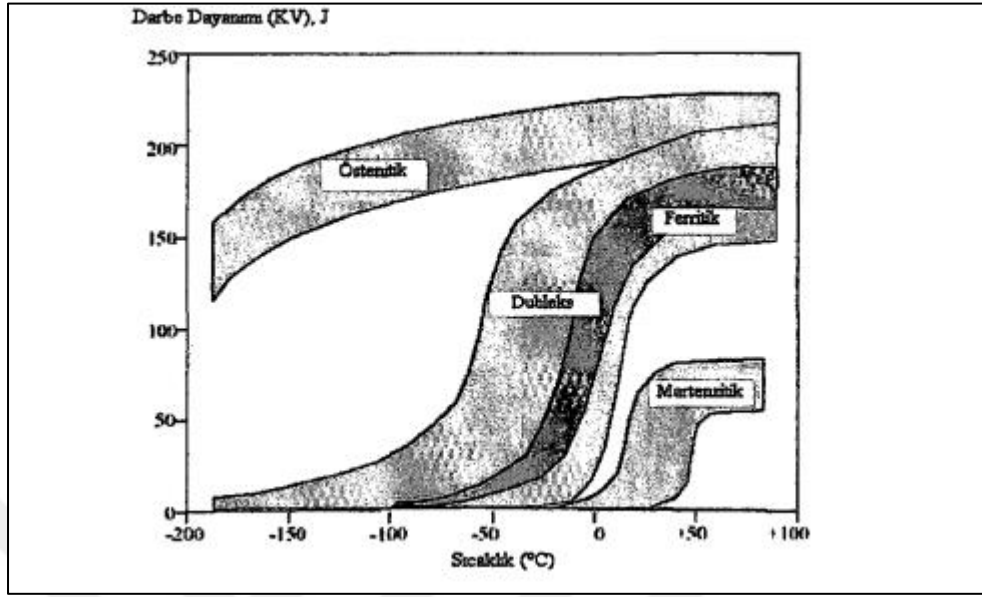
Östenitik tip paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analiz değerleri aşağıdaki gibidir [19].

Çizelge 2.3 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Kimyasal Analiz Değerleri
(ASM Metals Handbook, 9. Baskı, Cilt 3) [19]

AISI/ASTM İsmi	C	Si	Mn	P max	S	N	Cr	Mo	Ni
409	≤0,030	≤1,00	≤1,00	0,04	≤0,015		10,50 - 12,50		
	≤0,030	≤1,00	≤1,50	0,04	≤0,015	≤0,030	10,50 - 12,50		0,30 - 1,00
410S	≤0,08	≤1,00	≤1,00	0,04	≤0,015		12,00 - 14,00		
430	≤0,08	≤1,00	≤1,00	0,04	≤0,015 ^d		16,00 - 18,00		
441	≤0,030	≤1,00	≤1,00	0,04	≤0,015		17,50 - 18,50		
444	≤0,025	≤1,00	≤1,00	0,04	≤0,015	≤0,030	17,00 - 20,00	1,80 - 2,50	
410	0,08 - 0,15	≤1,00	≤1,50	0,04	≤0,015		11,50 - 13,50		≤0,75
420	0,16 - 0,25	≤1,00	≤1,50	0,04	≤0,015		12,00 - 14,00		
420	0,26 - 0,35	≤1,00	≤1,50	0,04	≤0,015		12,00 - 14,00		
304	≤0,07	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	≤0,11	17,50 - 19,50		8,00 - 10,50
304L	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	≤0,11	17,50 - 19,50		8,00 - 10,00
304LN	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,12 - 0,22	17,50 - 19,50		8,50 - 11,50
321	≤0,08	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015		17,00 - 19,00		9,00 - 12,00
303	≤0,10	≤1,00	≤2,00	0,045	0,15 - 0,35	≤0,11	17,00 - 19,00		8,00 - 10,00
305	≤0,06	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	≤0,11	17,00 - 19,00		11,00 - 13,00
304L	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	≤0,11	18,00 - 20,00		10,00 - 12,00
316	≤0,07	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	≤0,11	16,50 - 18,50	2,00 - 2,50	10,00 - 13,00
316L	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	≤0,11	16,50 - 18,50	2,00 - 2,50	10,00 - 13,00
316	≤0,05	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	≤0,11	16,50 - 18,50	2,50 - 3,00	10,50 - 13,00
316L	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	≤0,11	16,50 - 18,50	2,50 - 3,00	10,50 - 13,00
316LN	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,12 - 0,22	16,50 - 18,50	2,00 - 2,50	10,00 - 12,50
316LN	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,12 - 0,22	16,50 - 18,55	2,50 - 3,00	11,00 - 14,00
316Ti	≤0,08	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015		16,50 - 18,50	2,00 - 2,50	10,50 - 13,50
316L	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	≤0,11	17,00 - 19,00	2,50 - 3,00	12,50 - 15,00

Östenitik tip paslanmaz çeliklerin tavllanmış durumdaki nominal mekanik değerleri aşağıdaki gibi görülebilir. Bu paslanmaz çelikler diğer paslanmaz çelik türleri ile karşılaştırdıklarında; mükemmel tokluk ve süneklik özelliklerinin yanında orta derecede dayanıma sahiptirler. Bu konu özelinde darbe dayanımının ön plana çıktığı konstrüksiyonlarda bahse konu çeliklerin kullanımı tercih edilmektedir. Ayrıca bu özelliklerinden dolayı dolgu metali olarak diğer paslanmaz çeliklerin kaynağında da

tercih edilirler. [19].



Şekil 2.9 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Diğer Paslanmaz Çeliklere Göre Darbe Dayanım Değerleri [22]

Çizelge 2.4 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Mekanik Özellikleri (ASM Metals Handbook, 8. Baskı, Cilt 1 ; ve 9. Baskı, Cilt 3 ve ASTM Standartları) [19]

Çelik Türü (AISI)	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı % 0.2 (MPa)	Uzama (%)	% Kesit Daralması	Sertlik (Rockwell)
304	Tavlı	586	241	55	65	B 80
304L	Tavlı	552	207	55	65	B 76
309	Tavlı	620	276	45	65	B 85
310	Tavlı	655	276	45	65	B 87
316	Tavlı	586	241	55	70	B 80
316L	Tavlı	538	207	55	65	B 76
317	Tavlı	620	276	50	55	B 85
317L	Tavlı	586	241	50	55	B 80
321	Tavlı	599	241	55	65	B 80
347/348	Tavlı	634	241	50	65	B 84

Yapılacak herhangi bir uygulamada; paslanmaz çelik seçimi yapıldıktan sonra, kaynak ağzının tasarımı ve kaynak sırasında dolgu metalinin tercih edilmesinin yanında; kaynak yönteminin ve proses seçiminden kaynağı yapan sorumludur [19].

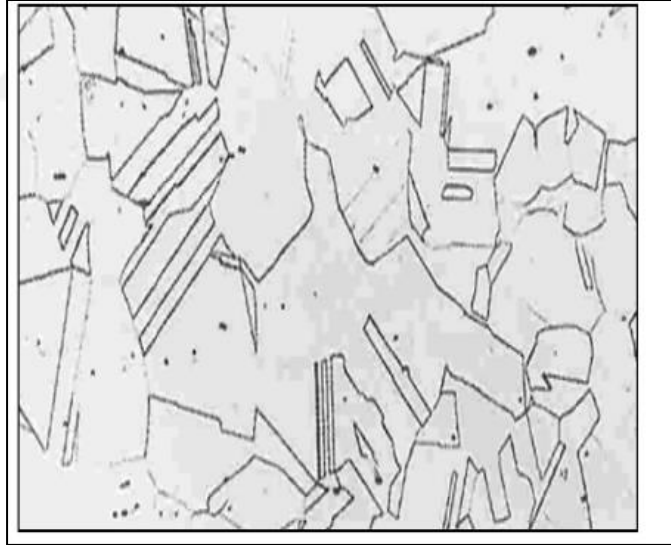
Östenitik paslanmaz çeliklerin genel tercih alanları nemli ortamlardır zira yüksek krom ve molibden miktarları agresif çözeltilere karşı korozyon dayanımlarının artmasına

katkı sağlamaktadırlar. Özellikle içerikteki nikel miktarı gerilmeli korozyon sebepli çatlama riskini azaltmaktadır. Kimyasal içerikte mevcut olan molibden ve krom miktarının arttıkça, çukurcuk ve aralık korozyonuna karşı dayanım da artar [6],[24].

Östenitik paslanmaz çeliklerin genel özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Muazzam korozyon dayanımı,
- Kaynak edilebilirlik konusunda mükemmel kabiliyet,
- Kolay şekillendirilebilirlik,
- Temizlik ve bakımı kolaylığının yanında hijyeniklik,
- Yüksek ve düşük sıcaklıklarda muazzam mekanik değerler,
- Manyetik olamama (tavlandığı zaman)
- Yalnız pekleşme ile artan dayanım gibi özelliklere sahiptir [13].

Östenitik çeliğin mikro yapısı aşağıdaki gibi görülmektedir. Paralel çizgilerin bulunduğu yerler ikizlenmenin olduğu noktaları göstermektedir.



Şekil 2.10 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mikro Yapısı [17]

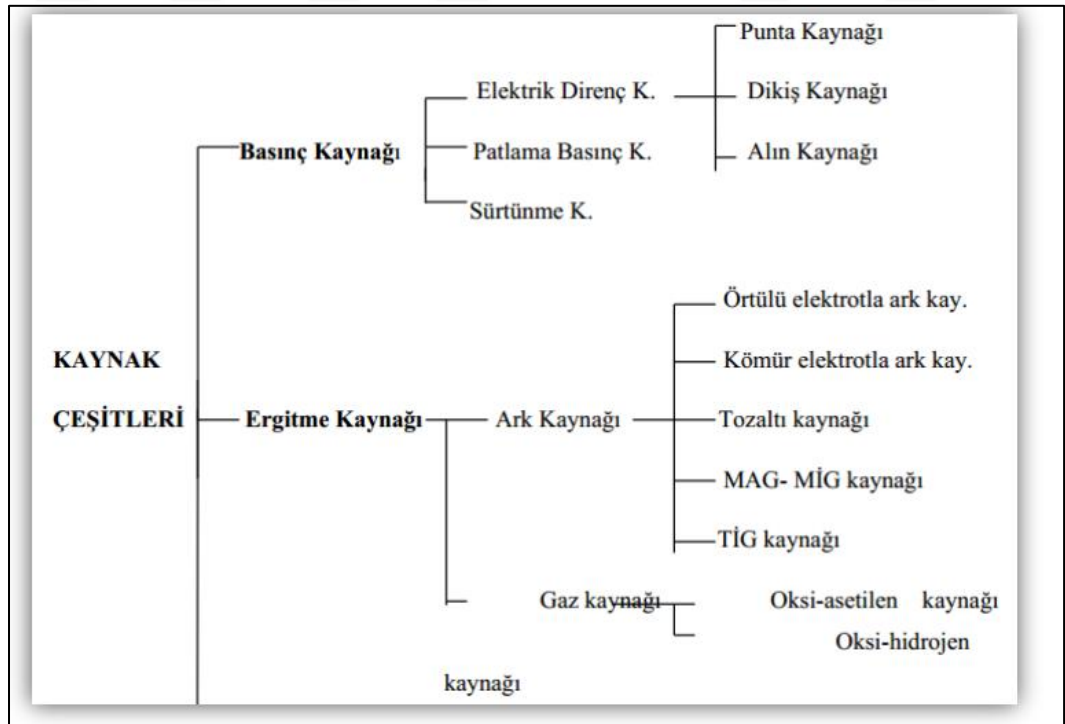
BÖLÜM 3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI

3.1 Kaynak Hakkında Genel Bilgi

Kaynak günümüz endüstrisinde farklı birçok alanda tercih edilen uygulanacağı malzemenin cinsine göre değişen bir imal usulüdür. Metalik malzemelerin ısı, basınç veya her ikisinin birden kullanılmasıyla ve aynı türden erime aralığı aynı veya benzer bir malzeme ilavesi yoluyla veya katmadan birleştirme usulüne "metal kaynağı" denir.

Proses amacına göre; birden fazla parçayı bir bütün haline getirme maksatlı yapılması durumuna birleştirme kaynağı adı verilirken; bir iş parçasının hacmini büyütme veya hacmindeki eksikliği tamamlamak, ilaveten korozyona veya aşındırıcı etkilere karşı koruma amaçlı üzerine sınırlı bir alan dahilinde yapılması durumunda da doldurma kaynağı adını alır.

Proses cinsine göre; malzemeyi sadece sıcaklığın etkisi ile belirli bir bölgede eritip, bir ilave metal eklemeye veya eklemeyi birleştirildiği yöntemle eritme kaynağı ismi verilir. Eğer malzemeyi genellikle ilave metal katmadan basınç altında bölgesel olarak ısıtıp birleştirilmesi durumuna basınç kaynağı ismi verilir [25].



Şekil 3.1 : Kaynak çeşitleri [27]

Diğer üretim yöntemlerine göre karşılaştırılırsa; perçine kıyasla olumlu yönleri;

Ağırlık ve işçilikten tasarruf sağlamanın yanında daha iyi sızdırmazlık elde edilmesi ayrıca kolay ve ucuz bağlantı elde edilmesinin yanında üstün mukavemet sağlamasıdır.

Aynı şekilde döküme nazaran;

Model ve kalıp masrafının olmamasının yanında göreceli olarak daha basit bir proses olması son olarak da ağırlık tasarrufu sağlaması olumlu yönlerindedir [25].

3.2 Kaynak Edilebilirlik Kavramı

İmalat tekniğinde genel olarak amaç, sadece malzemelerin birleştirilmesi yoluyla parça elde edilmesi süreci değildir aynı zamanda bahse konu parçanın uygulama şartlarında bozulmaması ve çalışması zorunludur. Bundan dolayı; kaynaklı bağlantılardan yerine getirmesi gereken esasların gerçekleşme durumuna, kaynaklanan malzemenin "kaynak kabiliyeti" denilir. Kaynak uygulanan metal ve alaşımlar, uygulama esnasında genellikle tüm kaynak yöntemlerinde kaynak bölgesinin erime sıcaklığına yakın bir değere kadar ısıtılmak zorundadır.

Bu süreçte uygulamada kullanılan ısı kaynağının ve kaynak yönteminin tesirli olduğu aşıkardır. İşlem esnasında yüksek sıcaklıklara varıldığı için kaynak ve de kaynağa komşu bölgelerinde, gerek kimyasal gerekse de metalurjik bir çok değişim oluşmaktadır. Yüksek karbonlu çeliklere kaynak uygulandığında, yüksek soğuma hızı kaynağa komşu bölgede çok yüksek sertlikte bir yapıya sebebiyet verir.

Kaynak edilebilirlik net ve ölçülebilir yolla izah edilemez.

Milletlerarası Kaynak Enstitüsü (IIW-IIS)* IX numaralı "Kaynak Kabiliyeti" Komisyonu'na göre kaynak kabiliyeti:

"Bir metalik malzeme, verilen bir usul ile bir amaç için bir dereceye kadar kaynak edilebilir diye kabul edilir. Uygun bir yöntem kullanarak kaynaklı metalik bağlantı elde edildiğinde, bağlantının yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyona etkileri bakımından tayin edilmiş bulunan şartları sağlamalıdır."

IIW) : International Institute of Welding

IIS) : Institut International de la Soudure

Özetle kaynak kabiliyeti sadece malzemeye bağlı olmamakla birlikte kaynak

yöntemine ve konstrüksiyon yapısıyla da ilintilidir. Kısacası, bir metal veya alaşımın herhangi kaynak usulünde iyi seviyede kaynak kabiliyeti olabilirken, diğer bir yöntemde çok zayıf olabilir

Eğer bir malzemenin yüksek kaynak kabiliyeti varsa, kaynak koşulları geniş bir ölçüde değişmiş olsa dahi herhangi bir önleme gerek duymadan makul seviyede kaynak kalitesinin elde edebilir.

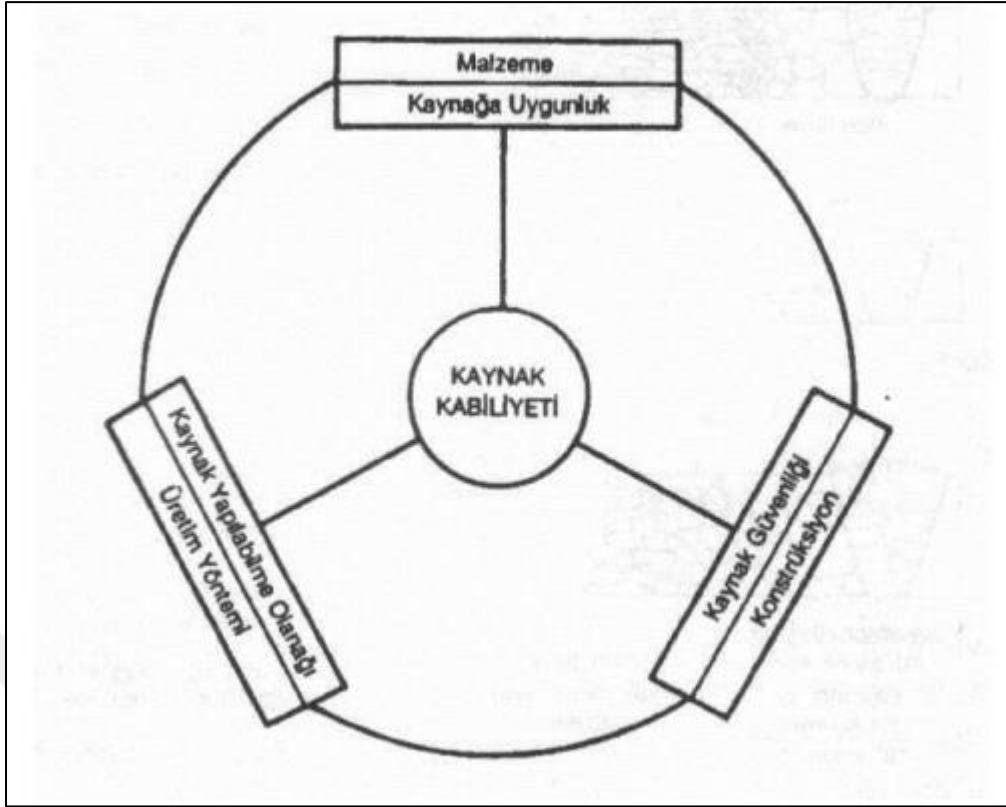
Düşük derecede kaynak kabiliyeti için eğer tatmin edecek bir netice alınması istenirse özel tedbirlere ihtiyaç olur ve bu sebeple de kaynak şartlarının çok dar sınırlar arasında tutulması gerekir.

Kaynak kabiliyetinin derecesini belirten nitelikler, malzemeye göre değişkenlik gösterir. Örneğin; genel olarak kaynak işleminde iyi mekanik özellikler eldesi öncelikliken, östenitik paslanmaz çeliklere gelindiğinde ise ısının tesiri altındaki bölge için korozyon dayanımı önceliklidir.

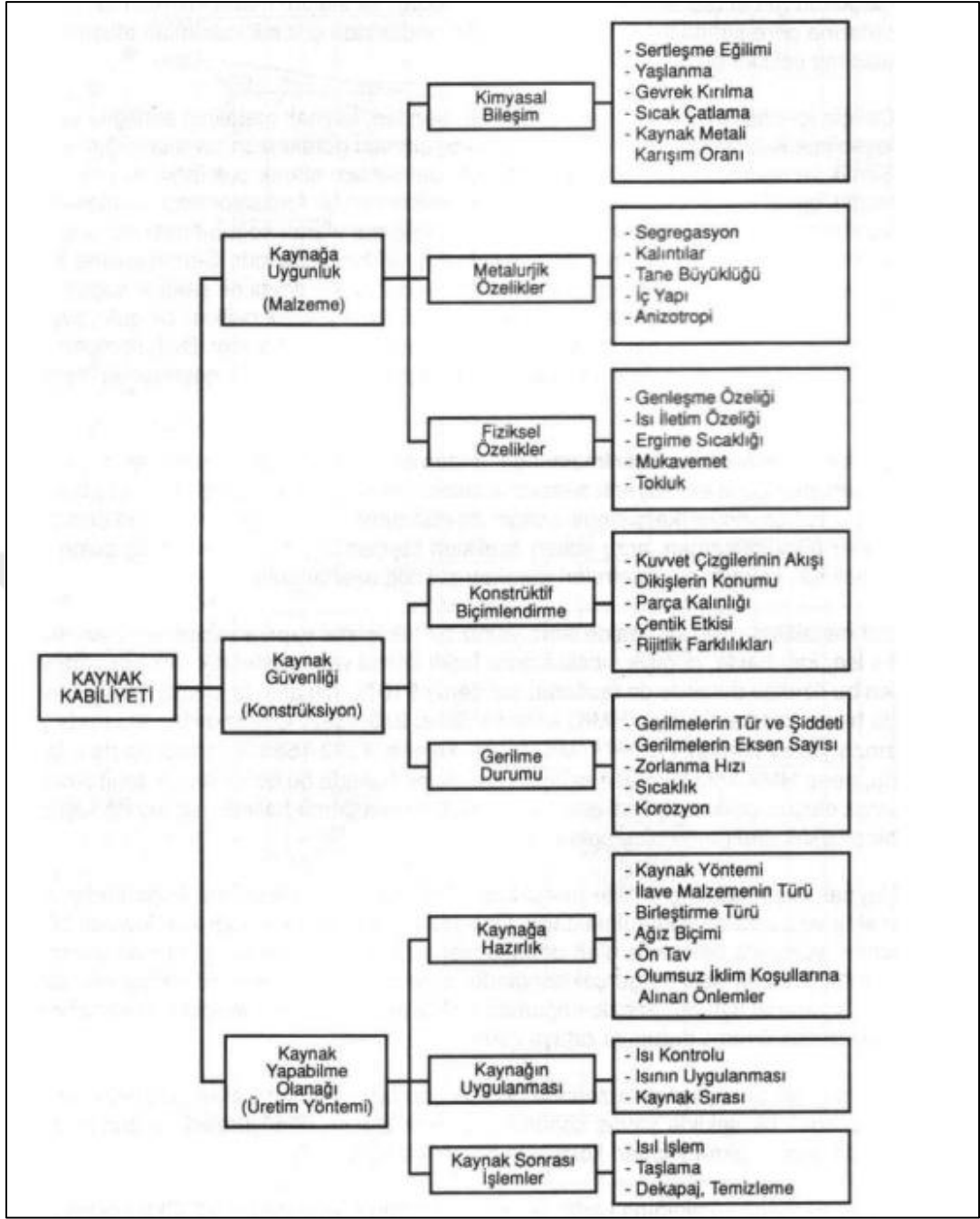
Özetle; kaynak edilebilirlik, prosese uygunluk, konstrüksiyonun kaynak emniyeti ve imalâta kaynak yapılabilme olgularını kapsar. Burada malzeme, imâl yöntemi ve konstrüksiyonun tesiri altındadır. (Şekil 3.2). Özetle;

a-) Parçaların belirlenmiş kaynak yöntemi vasıtası ile birleşimi olası olmalıdır, (Kaynağa uygunluk deyimi).

b-) Kaynak edilen malzeme, karışılacağı zorluklara dayanıklı olmalıdır (Kaynak emniyeti deyimi) [25].



Şekil 3.2 : Kaynak Kabiliyetinin Malzeme, Üretim Yöntemi ve Konstrüksiyona Bağımlılığının Şematik Olarak Gösterilmesi (DIN 8528) [28]



Şekil 3.3 : DIN 8528' e Göre Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Faktörler (Şematik) [29]

Uygulamada kaynak kabiliyetinin izahatı olarak "iyi kaynak edilebilir", "kaynak edilebilir" ve "şartlı olarak kaynak edilebilir" ibareleri kullanılabilir. Bu ibareler çelik malzeme için şöyle anlama gelmektedir:

- İyi kaynak edilebilir: Malzemenin herhangi bir ön ve nihai tavlamaya gereksinim duymadan kaynak edilebileceğini anlatır.
- Kaynak edilebilir: Kaynak uygulanacak malzemenin kalınlığı arttıkça, bir ön tavlama lazım gelmektedir. Bu tür malzeme için, kaynak edilebilir ibaresi

kullanılır.

- Şartlı olarak kaynak edilebilir: Bu tür malzemeler için ya karbon oranı yüksektir veya bileşiminde çeşitli alaşım elemanları mevcuttur. Kaynaklı bağlantının geçiş bölgesinde sertleşme ve çatlama tehlikeleri sebebiyle, özel önlemler alınmalıdır. Ön tavlama uygulanmalı ve soğuma kontrollü gerçekleşmelidir [25].

3.3 Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Çelik menşeli malzemeler kaynak edilebilirliği üzerinden incelendiğinde; alaşımı olmayan veya az alaşımlı aynı zamanda yüksek dayanımlı bir çeliğin kaynak kabiliyetinin iyi olduğunu demek için iki şartın sağlanması gereklidir:

- ✓ Kaynak ile esas metal karıştığında gevrek olmayan kimyasal içerik elde edilmelidir.
- ✓ Kaynak önce ve sonrası iyi bir sünekliğe haiz olmalıdır,

Bu iki şartın gerçekleşmesine etki eden faktörler:

Esas metal için; malzeme kalınlığı, kimyasal bileşim, süneklik, ısıl işlem durumu, sıcaklık ve homojenite.

İlave metal için; akma sınırı, süneklik, bileşim, hidrojen içeriği, homojenite, elektrot çapı (kaynak esnasında parçaya verilen ısı yönünden).

Ayrıca ağız formu ve geçiş durumu da bahse konu etmenlerdendir [25].

Kaynak bağlantısında yer alan ve uygulama esnasında oluşan sıcaklıktan etkilenen bölgelerin tamamına kaynak bölgeleri denir ve ergime-ısıdan etkilenmiş bölge olarak iki ayrı yerden meydana gelir.

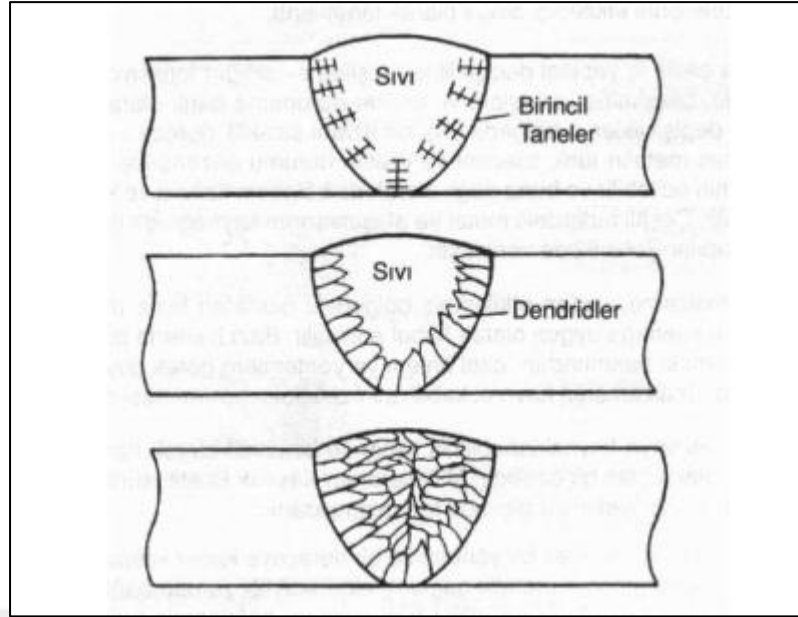
Ergime bölgesi; kaynak sırasında oluşan ısının etkisi ile ergiyen ve kaynaktan sonra katılaştıran bölgenin adıdır. Isıdan etkilenmiş bölgeden, ergime çizgisi adını verilen ergimemiş ve ergimemiş bölgeler arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır bir kaynak bağlantısından çıkartılarak dağlanan ve parlatılan enine kesit üzerine çıplak gözle dahi takip edilebilir.

Ergime bölgesi; kaynak metali ve esas metalin karışımından meydana gelir. Tek pasolu kaynakların dikişlerinde, esas metal ve kaynak metali, kaynak banyosundaki şiddetli

türbülansız olarak iyice karışmıştır ve bu sebeple homojen bir bileşim gösterir. Buna nazaran çok pasolu kaynaklarda, her pasonun esas metalle karışma oranı farklıdır. Örneğin; kalın parçaların çok pasolu kaynak dikişleri incelendiğinde, orta kısımlarında esas metal görülmeyebilir.

Ergime bölgesinde, esas metalin kaynak metaline oranı, gerek uygulanan kaynak biçimi gerekse de paso sayısına bağlı olarak geniş bir aralık içinde değişkenlik göstermektedir. Ergime bölgesinde esas metal ve kaynak metali oranı tam olarak elde edilmiş olsa dahi; birçok alaşım elementlerinin kaynak esnasında yanma sebebi ile kaybolduğu için, hesaplama ile ergime bölgesinin bileşiminin belirlenemez. Bu kayıpların azaltılmasında kaynak bölgesinin kaynak sırasında atmosferin etkisinden korunması makul bir yoldur. Oluşan kimyasal ve metalurjik reaksiyonlar kontrol altına alınarak iyi bir kaynak bağlantısı elde edilebilir.

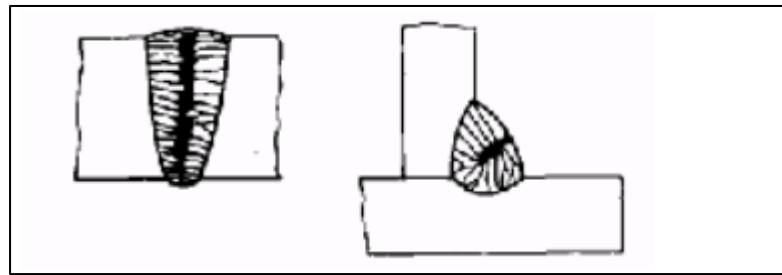
Oksijenle olan reaksiyonların kontrol edilebilmesi için ergime bölgesine çeşitli usullerle (örtüye, toza, tele katılarak) dezoksidasyon maddeleri ile yanan alaşım elementlerinin karşılanacağı kadar elementler ilave edilir. Bir cüruf örtüsü veya oluşturulan kontrollü bir atmosferle bu bölge korunabilir. Sıvı fazda bulunan metal içerisindeki atomlar birbirleri arasına hareket serbestliğine sahiptirler. Soğutma esnasında; sıcaklık, metal veya alaşımın katılma noktasına kadar gelince, atomların kristal kafeslerini meydana getirmek amaçlı birleşmeleri ile çekirdekler oluşur. Bu esnada metalden ısı çekilir ve soğutmaya devam edilme durumunda çekirdekler taneleri oluşturmak üzere yeni atomların ve kristal kafeslerin eklenmesi ile büyümeye devam eder. Katılma esnasında meydana gelen ergime ısısı doğal olarak soğuma hızını etkiler ve tanelerin fazla büyümesini engeller. Tanelerin büyüebilmesi için metalden sürekli olarak ısının çekilmesi gereklidir. Kaynak halinde ısının büyük bir kısmı ergime bölgesinden kondüksiyonla esas metale iletilir, dolayısı ile soğuma yönünde paralel, oldukça iri silindirik taneler oluşur. Ergime çizgisine dik doğrultuda oluşan bu iri taneler, bir kalıp içinde katılan döküm yapısına benzemektedirler [29].



Şekil 3.4 : Kaynak Metalinin Katılaşma Evreleri (Kalın parçalara derin nüfuziyetli kaynak uygulandığında, segregasyon menşeli bir boşluk eriyen bölgenin ortasında oluşur.) [29]

Kaynak sırasında ergime bölgesinde tanelerin irileşmesinin sebepleri olarak; ısı girdisinin artması, parçanın yüksek sıcaklıkta daha uzun süre tutulması, ön tav uygulanması gibi etkenler sayılabilir. Eğer kaynak bölgesinde soğuma hızı artarsa, tane yapısının incelir ama gevrek ve kırılğan bir yapı olduğu için uygulamada tercih edilmez.

Kaynak metaline ilave edilmiş olan dezoksidasyon elementleri ile diğer bazı ilaveler, ergime bölgesinde tane yapısının incelenmesine destek olur. Özellikle kalın parçalarda, tek paso ile yapılmış kaynak dikişlerinde, bu iri silindirik tanelerin birleştiği orta kısımlarda hem ilave elementlerin hem de kalıntıların segregasyonuna rastlanır; bu durum, bağlantının zayıflamasına sebep olur [29].



Şekil 3.5 : Alın ve Köşe Birleştirmelerinde Kaynak Dikişinde Segregasyon Bölgesi (Siyah kısımlar) [29]

Isı tesiri altındaki bölge (ITAB); kaynak metali ile esas metalin birleştiği ergime çizgisi olarak isimlendirilen sınırdan başlamakla birlikte, kaynak işlemi sırasında sıcaklığın

iç yapıyı ve bu sebeple de metalin özelliklerine tesir ettiği bölge olarak tanımlanır. Burası, ergiyen bölgenin ana metal ile birleşim yerinden itibaren yaklaşık olarak 1400-700 °C arasında bir sıcaklığın tesirindeki alandır. Burada sıcaklığın hareketi, kaynak koşullarına göre değişkenlik göstermektedir [25],[29].

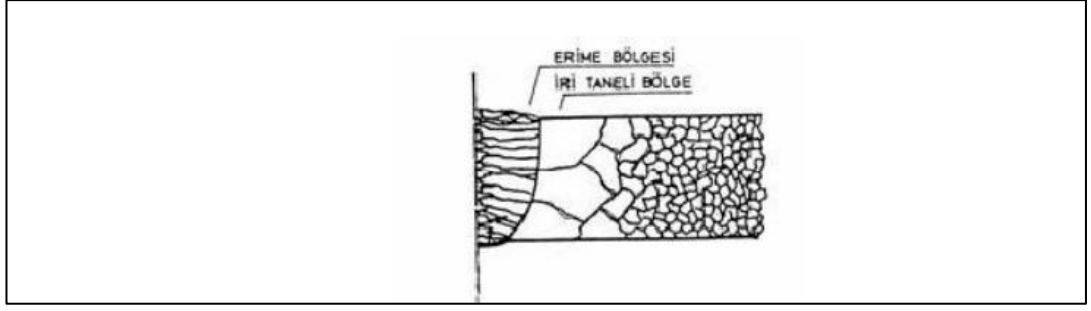
ITAB' da sıcaklığın dağılımı ve de soğuma hızının tespit edilmesi durumunda, kaynak uygulamasının akabinde; burada oluşacak iç yapının anlaşılması olasıdır, karbon içeriği %0,25 den fazla olan alaşımsız yapı çelikleri ve yüksek dayanımlı hafif alaşımlı yapı çeliklerinde ITAB' da 900 °C'nin üzerinde tavlanan kısımlarında çok sert bir yapı meydana gelir ve bahse konu bu yapı gevrek kırılmalıklara maruz kalmak için gayet idealdir. ITAB' da çatlak oluşumunun önüne geçebilmek adına Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün Kaynak Kabiliyeti Komisyonu; bahse konu alan için maksimum sertliği 350 Vickers olarak önermiştir [25].

ITAB' ının tokluk ve dayanımını etkileyen etmenler arasında; kaynak yöntemi, ana metalin tipi ve kaynak işleminin kendisi yer alır. Uygulamadan etkilenmiş olan ana metallerde yüksek sıcaklıklara çıkılması ısı işlem etkisi o da dolayısıyla tavlama tesiri veya dayanım artışı gözlenir.

ITAB' da kaynak ısısının farklı tesirlerini anlamak için, en uygun kaynak yapılabilecek değişik tipteki alaşımları görmek gerekir:

- Katı ergiyik vasıtasıyla mukavemet kazandırılan alaşımlar,
- Soğuk şekillendirme ile dayanım kazandırılan alaşımlar,
- Çökelme sertleştirilmesi ile dayanım kazandırılan alaşımlar,
- Dönüşüm vasıtasıyla dayanım kazandırılan alaşımlar (Martenzit gibi),
- Şiddetli reaktif malzemeler

Bazı alaşımlar için yukarıdaki listenin biri veya daha fazlasıyla mukavemet kazandırılabilirler.



Şekil 3.6 : Isının Tesiri Altındaki Bölgedeki (ITAB) Tane Yapısı Değişimi [26]

1.İri Taneli Bölge: Erime bölgesine bitişik ve kaynak sırasında 1450-1150 °C arasındaki bir sıcaklığın etkisi altında kalmış olan bölgedir. Yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa ısıtılan metallerde, tane büyümesi meydana gelir. Bazıları büyür ve kısmi olarak veya tamamıyla küçük tanelerin yerine geçer. Böylelikle ortalama tane boyutu büyür. Tane büyümesi hızı sıcaklıkla paralel olarak artar ve metalin solidüsüne yaklaşıldığında büyüme çok hızlanır. İri taneli yapılar, ince taneli yapılara göre daha gevrek ve kırılgan oldukları için varlıkları istenmez. Östenit tane büyümesi için lazım gelen tane sınırı ilerlemesi, ciddi bir şekilde tane sınırlarına çökelmiş bulunan titanyum, alüminyum, vanadyum ve niyobyum nitridler ayrıca karbonitridleri tarafından önlenir. Bu özellikle modern çelik imalatı sırasında tane büyümesini önlemek için geniş çapta kullanılır; bu önlem daha ziyade alçak sıcaklıklar için de geçerlidir. Zira nitrid ve karbonitridler 900°C civarında tümüyle çözelti haline geçer dolayısıyla da bunların tane büyümesine engel olma olasılıkları ortadan kalkar.

2.İnce Taneli Bölge: Kaynak sırasında 900-1150 °C arasında bir sıcaklıkta bölgede tane büyümesi görülmez. Bu bölgede de östenit meydana gelmiş olduğundan, soğuma sırasında; soğuma hızı ve çeliğin bileşimine bağlı olarak aynı şekilde iri taneli bölgede görülen iç yapıya benzer bir iç yapı oluşur.

3.Kısmen Dönüşmüş Bölge: İnce taneli bölgenin devamı olan bu bölge, kaynak işlemi esnasında A3-A1 arası bir sıcaklığa kadar ısınmıştır. Bundan dolayı kısmi bir östenitizasyona uğramıştır ve soğuma sırasında östenit dönüşüme uğrar. Sonuç olarak yapısındaki östenit miktarına göre değişmekle birlikte ilk iki bölgeye benzer bir iç yapı görülebilir.

4.İç Yapı Değişikliğine Uğramayan Bölge: Bahse konu alan A1'in altındaki bir sıcaklık derecesine kadar ısınmıştır. Bundan dolayı ısınma esnasında çelikte bir dönüşüm oluşmamıştır. Bu bölgede sadece bazı iç yapılarda hafif bir temperleme tesiri görülebilir. Kaynak işlemi sırasında, genellikle metal ilk aşamada likidüsünün

üzerinde bir sıcaklığa kadar çıkıp sonrasında soğumaktadır; bu sebeple çeliklerin kaynağında, kaynak bölgesinde, yukarıda bahsi geçmiş olan bütün bu dönüşümler sıra ile oluşacaktır. Isıtmanın sonrasındaki soğuma yavaş bir şekilde olduğunda veya çeliğin karbon ve alaşım elementi içeriği sertleşmeyi oluşturacak kadar değilse, elde edilen iç yapı tane büyüklüğü hariç ilkel iç yapının benzeridir. Buna karşılık olarak sertleşme meyilli olan çeliklerde ise, soğumanın hızlı olduğu durumlarda öncesinde bahsedilmiş olan ve genellikle arzu edilmeyen özellikleri barındıran iç yapılar görülür ki, işte çeliklerin kaynağına tesir eden en önemli etken de budur. ITAB, eritme kaynağında sürekli olarak görülür ve bundan kaçınılması mümkün değildir. Ne kadar büyük olduğu ise; soğuma hızı, kaynak sırasında uygulanan enerji, parçanın şekli-boyutları ve sıcaklığı ile malzemenin ısıyı iletme yeteneğinin etkisi altındadır. Bu etmenlerden değiştirilmesi mümkün olanlar yardımı ile ITAB bir noktaya kadar kontrol altında tutulabilir [26].

3.4 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Paslanmaz çeliklerin geniş bir kısmının kaynak kabiliyeti yüksektir ve ark kaynağı, elektron ve lazer bombardıman kaynakları, sürtünme kaynağı, direnç kaynağı ve sert lehimleme gibi farklı yöntemlerle de kaynak edilebilirler. Bu yöntemlerin neredeyse tamamında birleştirilecek yüzeylerin ve de dolgu metalinin temiz olması gereklidir.

Paslanmaz çelikler ve ısıya dayanıklı çeliklere bazı istisnalardan muaf olarak, ergitme ve basınç kaynak yöntemleri uygulanabilir. Bunların kaynak uygulamaları, ana metalden umulan niteliklere göre değişkenlik gösterebilir, örneğin; korozif ortama ve ısıya dayanım. Tercih edilecek kaynak malzemesi, ana metale yakın içerikte veya bazı durumlarda daha yüksek alaşımlı olmalıdır.

Östenitik paslanmaz çeliklerin ısıl genleşme katsayısı karbon çeliklerinkinden %50 daha yükse olduğu için çarpılmaları en aza indirme maksatlı bu özelliğe dikkat edilmelidir. Östenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak uygulaması açısından genellikle faydalıdır. Kaynak esnasında düşük ısı girdisi ile uygulama yapılması önerilir. Çünkü meydana gelen ısı, bağlantı bölgesinden, karbon çeliklerinde olduğu kadar hızlı bir şekilde uzaklaşmaz. Malzemenin direncinin yüksek olması sebebiyle direnç kaynağında, düşük akım değerleri ile çalışılabilir [30].

3.4.1 Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti

Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca tesirli element karbondur. Karbon miktarı, ısıdan etkilenmiş bölgenin sertliği üzerinde tesirlidir ve bu bir noktaya kadar kaynak yöntemi ile kontrol edilebilir. Isıdan etkilenmiş bölgenin sertliği artarsa soğuk çatlama daire hassasiyet artar ve toklukta azalma meydana gelir. Bu sebeple, az karbonlu martenzitik paslanmaz çelikler, birtakım önlemler alınarak kaynak edilebilir, yüksek karbon içerenler ise olabildiğince kaynak edilmemelidirler.

Az karbonlu martenzitik paslanmaz çeliklerde, martenzit daha az serttir ve de çatlama eğilimleri daha zayıftır. Normal olarak martenzitik paslanmaz çeliklere kaynaktan önce, oluşan ısı gerilmelerin azaltılmasıyla çatlama olasılığını düşüren bir ön tavlama uygulanır. Uygulanan ön tav sıcaklığı 200-400°C arasındadır. Kaynak bölgesinde daha tok bir yapı eldesi ve kullanım sırasında çatlama olasılığını ortadan kaldırmak için kaynaktan hemen sonra, parça soğumadan bir gerilme giderme tavlama tatbik edilir. En iyi süneklik ve tokluk parçanın 800-820°C arasında dört saat süreyle tavlama ve çok yavaş bir şekilde soğutulması sonucunda elde edilir [31].

3.4.2 Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti martenzitik paslanmaz çeliklerle karşılaştırıldığında çok daha iyidir. Ferritik kromlu paslanmaz çelikleri tozaltı kaynağı, gazaltı kaynak yöntemleri, ark kaynağı ve elektrik direnç kaynağı ayrıca modern kaynak yöntemleriyle de rahatlıkla kaynak edilebilmektedirler. Kaynak esnasında görülen problemler, kaynak öncesi ve sonrasında alınacak tedbirler ile ortadan kaldırılabilir.

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, su verme yolu ile sertleştirilemediklerinden, ısıdan etkilenmiş bölgede martenzit oluşumu ihtimali yoktur, böylelikle martenzitik paslanmaz çeliklere göre daha kolay kaynak edilirler.

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerde kaynak uygulaması esnasında görülen önemli sorunlardan bir tanesi, bu tür çeliklerin 1150°C'nin üzerine çıkıldığında tane irileşmesine aşırı meyilli olmalarıdır. İri taneli yapı haline olunca gevrekleşirler, çentik-darbe dayanımları düşer. Bahse konu tane irileşmesinin önüne geçilmesi için

bazı ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin içeriğine bir miktar azot eklenir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında uygulanacak bir ön tavlama, martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağından farklı metalurjik tesirlere sahiptir. Bu tür çeliklerin kaynaklı bağlantılarına yavaş soğuma uygulandığı zaman tane irileşmesinin yanında tokluk azalması gösterirler. Bazı ferritik paslanmaz çeliklerin tane sınırlarında martenzit oluşumuna eğilim görülebilir. Buradan hareketle bahse konu çeliklere tatbik edilen ön tavlama ile ısıdan etkilenmiş bölgede çatlama tehlikesi ortadan kalkar ve kaynaktan sonra oluşacak gerilmeler sınırlanır. Ön tavlama sıcaklığının belirlendiği parametreler; içerik, istenen mekanik özellikler, kalıntı gerilmeler ve malzeme boyutlarıdır (Özellikle kalınlık) [31].

3.4.3 Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti

Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklere nazaran daha yüksektir. Bu sebeple paslanmaz çelikler içinde çok yaygın olarak tercih edilen bu türün kaynak edilmesi mühim bir konudur. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetine tesir eden birkaç önemli faktör bulunmaktadır [32].

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca üç kaynak problemi ile karşılaşılır;

- Isının tesiri altında kalan bölgede "Krom Karbür" oluşumuyla meydana gelen hassas yapı,
- Kaynak dikişinde gözlemlenen "Sıcak Çatlak" ve
- Yüksek çalışma sıcaklıklarında görülen "Sigma Fazı" oluşması riskleridir [19].

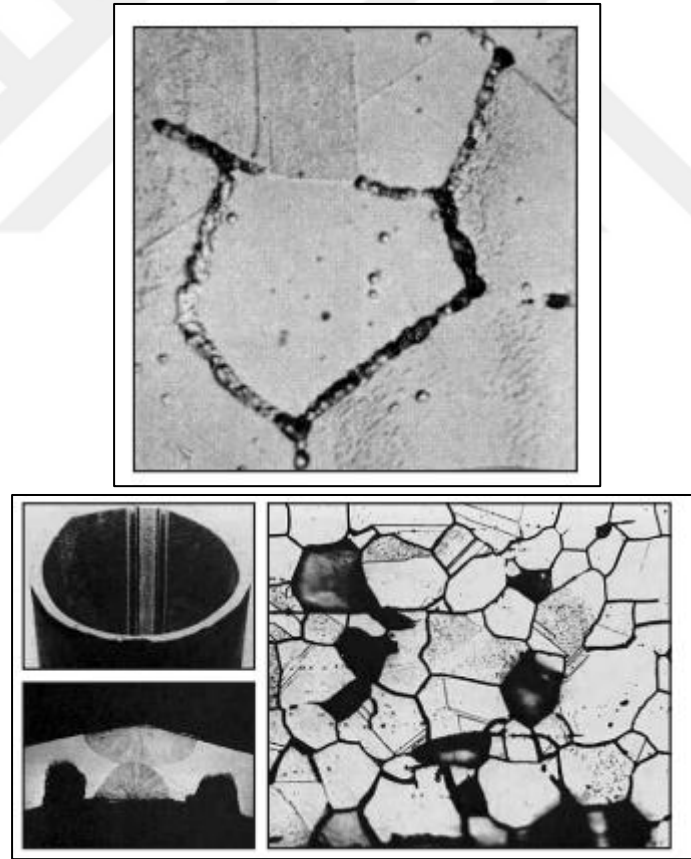
3.4.3.1 Krom karbür oluşumu

Isının etkisi altında kalan bölgenin 427-871°C sıcaklığı arasında yer alan tane sınırlarında çökelen ve taneler arası korozyonu hızlandıran krom karbürler burada "Hassas Yapı" oluşmasına sebebiyet verirler. Bu oluşum esnasında bir miktar krom çözültiden tane sınırlarına doğru yer değişim söz konusu olur ve bölgesel alanlarda krom miktarında azalma olacağı için korozyon dayanımı azalır (Şekil 3.7, Şekil 3.8).

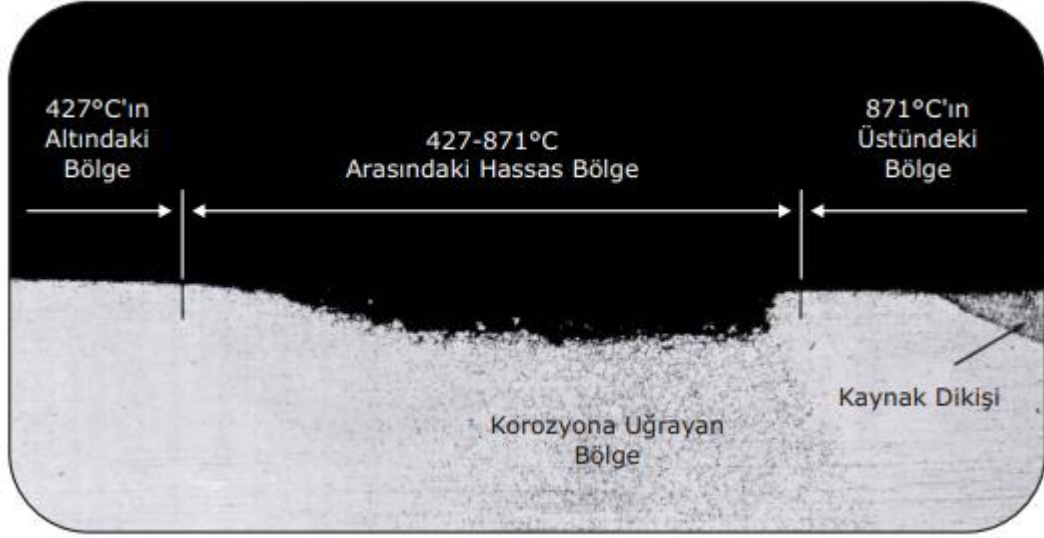
Bu durum, kromla birleşerek krom karbür oluşmasına neden olan karbonun yapıda düşük seviyelerde tutulduğu düşük karbonlu (L tipi) ana metallerin ve dolgu

metallerinin kullanılmasıyla önlenir. Ayrıca ön tav uygulanmadan kaynak işleminin yapılması, ısı girdisinin düşük seviyede tutulmasına dikkat edilmesi ve bakır altlık kullanılmak suretiyle hızlı soğuma elde edilmesi hassas sıcaklık aralığında kalma süresinin kısa tutulması bakımından oldukça faydalıdır.

Diğer bir bakışta, kararlı yapıya sahip paslanmaz çelik ana metalin yanında dolgu metallerinin de tercihidir. Böylelikle stabilizatör olarak görevli alaşım elementleri karbon ile reaksiyona girerek krom miktarının azalmasını önleyecek haliyle de korozyon dayanımında herhangi bir düşüş görülmeyecektir. 347 kalite paslanmaz çelikler niyobyum (Nb+Ta) ile stabilize edilirken, 321 kalite paslanmaz çelikler stabilizatör olarak titanyum (Ti) içerir. Her iki element de kromdan daha güçlü karbür oluşturma niteliğine sahiptir. Bunların dışında yer alan mevcut bazı ısıl işlem yöntemleri gerek ucuz ve pratik olmamaları ayrıca da parçalarda çarpımalara yol açmaları sebebiyle çok tercih edilmezler [19].



Şekil 3.7 : Tane Sınırlarında Oluşan Karbür Çökmesi (x 1200) [19]



Şekil 3.8 : Krom Karbür Çökmesi Sonucu Hassas Bölgede Oluşan Korozyon [19]

3.4.3.2 Sıcak çatlak oluşumu

Başta Kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin meydana getirdiği ve tane sınırlarında bir araya gelme isteği yüksek olan düşük erime sıcaklığına sahip metalik bileşimler sebebiyle oluşur. Bu bileşimler, eğer kaynak dikişinde veya ısının tesiri altında kalan bölgede yer alıyorsa, tane sınırlarına doğru hareket ederler ve kaynak dikişi soğuduğunda ve çekme gerilmeleri meydana geldiğinde çatlama sebep olurlar.

Sıcak çatlak oluşumunu engellemek için; dolgu metalinin ve ana metalin kimyasal analizinin östenitik matrikste düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapı elde edilecek şekilde ayarlama yapılır. Ferrit, fosfor ve kükürt bileşimlerini kontrol altında tutabilen ve ferritik-östenitik yapıya sahip olan tane sınırları oluşturarak sıcak çatlak oluşumunu önler. Bu problemin çözüm yollarının arasında "P" ve "S" miktarlarının çok düşük seviyelerde tutulması da vardır fakat bu durumda, çeliklerin üretim maliyetleri ciddi seviyede artıracaktır.

Sıcak çatlama riskine karşı dayanım eldesi için yapıda yer alan ferrit miktarı en az %4 olarak ayarlanır. Ferrit mevcudiyeti AWS A4.2' e göre kalibrasyonu yapılmış manyetik ölçüm aletleri ya da ana metal-dolgu malzemesinin kimyasal içeriğinin bilindiği durumlarda bazı diyagramlar vasıtası ile yorumlanırlar. Bahse konu diyagramlar için öncül olanı "Schaeffer Diyagramı"dır. (1948) Burada Ni_{es} dikey, Cr_{es} yatay ekseninde bulunmaktadır.

$$(3.1) (Cr)_{eş} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \% Si + 0,5 \% Nb$$

$$(3.2) (Ni)_{eş} = \% Ni + 30 \% C + 0,5 \% Mn$$

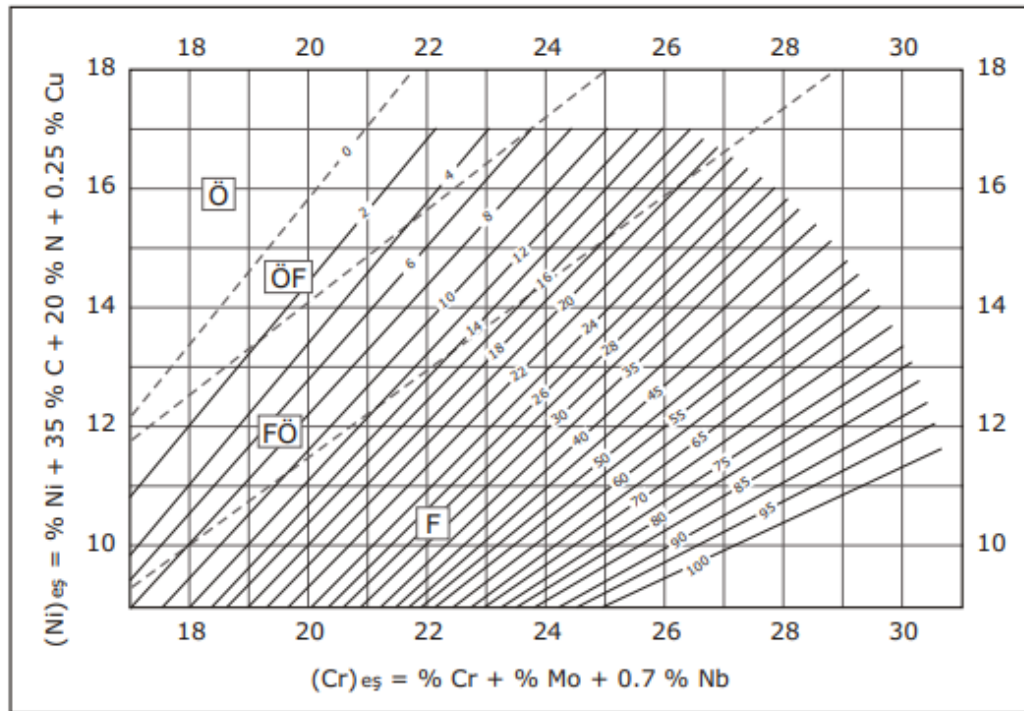
Schaeffer Diyagramı; özellikle azotun (N) tesirinin göz ardı edilmesi ve bazı ölçüm uzmanlarının ferrit yüzdelerinde değişiklikler tespiti nedeniyle güncelliğini yitirmiştir. Burada 1973 yılında WCR-DeLong Diyagramı $Ni_{eş}$ hesabı yaparken azot (N) miktarının dikkate almış ve sonucu ferrit yüzdesine ilaveten "FN- Ferrit Numarası" ile belirtilmiştir.

$$(3.3) (Ni)_{eş} = \% Ni + 30 \% C + 30 \% N + 0,5 \% Mn$$

Güncel, doğru sonuç verme noktasında güvenilir ve en çok tercih edilen diyagram WCR-1992 Diyagramı' dır. WCR-DeLong Diyagramı' nın yerini almıştır. Kabul edilmiş en son diyagramda $Ni_{eş}$ ve $Cr_{eş}$ değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(3.4) (Cr)_{eş} = \% Cr + \% Mo + 0,7 \% Nb$$

$$(3.5) (Ni)_{eş} = \% Ni + 35 \% C + 20 \% N + 0,25 \% Cu [19].$$



Şekil 3.9 : Katılma Faz Sınırlarını da İçeren WRC-1992 Diyagramı [19]

Anlaşılağı üzere $Ni_{eş}$ ve $Cr_{eş}$ değerleri Schaeffer ve WCR-DeLong diyagramlarına nazaran değişik şekilde hesaplanmaktadır.

Ferrit numarası; diyagramın $Cr_{eş}$ değerini gösteren ekseninden yukarıya doğru dikey,

Ni_{es} değerini gösteren ekseninden sağa doğru yatay çizgiler çizilerek bulunabilir. Burada yatay ve dikey doğruların kesişmiş olduğu noktadan geçen çapraz çizgiler ferrit numarasını gösterir.

Ferrit numarası, ferritin manyetiklik niteliğinden faydalanılarak kaynak metali vasıtasıyla ölçülebilir. Burada AWS A4.2'ye göre kalibresi yapılmış olan ve ferrit numarasının direkt olarak görüldüğü manyetik ölçüm cihazlarından ve benzeri cihazlardan yararlanılabilir.

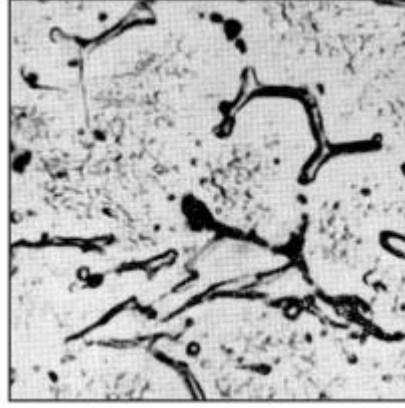
Ferrit miktarının sıcak çatlak oluşumundan engellemek için makul orandan daha yüksek olmamasında ve belirli sınırlar içerisinde tutulmasında fayda vardır. Çünkü ferrit, bazı korozif ortamlarda, malzemelerin korozyon dayanımını düşürür ve yapıdaki aşırı ferrit miktarı tokluk ve süneklik azaltır [19].

3.4.3.3 Sigma fazı oluşması

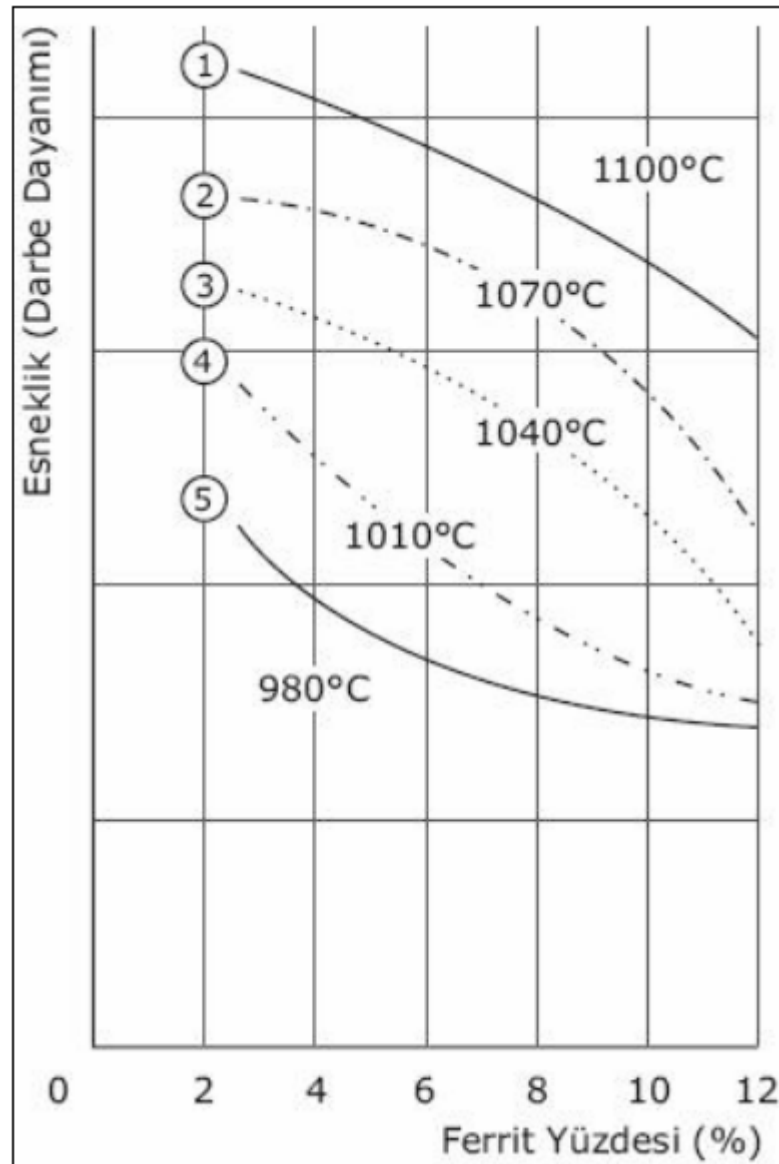
"Sigma Fazı", çok sert (700-800 Vickers), manyetik olmayan ve gevrek yapıya sahip metallere arası bir bileşiktir. Röntgen ışını vasıtası ile gerçekleştirilen analizde bileşiminin takribi %52 krom-%48 demirden oluştuğu ancak bunun yanında molibden gibi diğer alaşım elementlerini de içerebildiği saptanmıştır. Sigma fazı, kromlu veya krom-nikel esaslı paslanmaz ve ısıya dayanımlı çeliklerin kaynak bölgesinde meydana gelir. Saf östenitik bir yapıda oluşan sigma fazı oluşum hızı, östenitik kütle içerisinde ferrit içeren yapıdakine nazaran daha düşüktür.

Sigma fazı ile krom karbür çökmesi tamamiyle farklı iki oluşumdur. Sigma fazı kırılabilirliği 650-850°C sıcaklıklar arasında olmaktadır ve bu aralığında kalma süresi ile oluşan yapının yoğunluğu arasında yakın bir ilişki vardır. Faz dönüşüm hızının en yoğun olduğu sıcaklık 720°C civarındadır. Yapıda bulunan ferrit miktarının %3-4 ile sınırlı kalması durumunda, östenit tanelerinin etrafı ferrit ile çevrilemeyecek ve kırılabilirlik riski önlenmiş olacaktır. Buna karşın ferrit miktarının %12'yi geçmesi halinde esneklik kabiliyeti hızla aşağı inecektir.

Ferritin sigma fazına dönüşümünün sonucunda; kaynak dikişinde oluşan çatlama eğiliminin ölçülmesi için gerçekleştirilen deneye ait veriler aşağıdaki gibi belirtilmiştir.



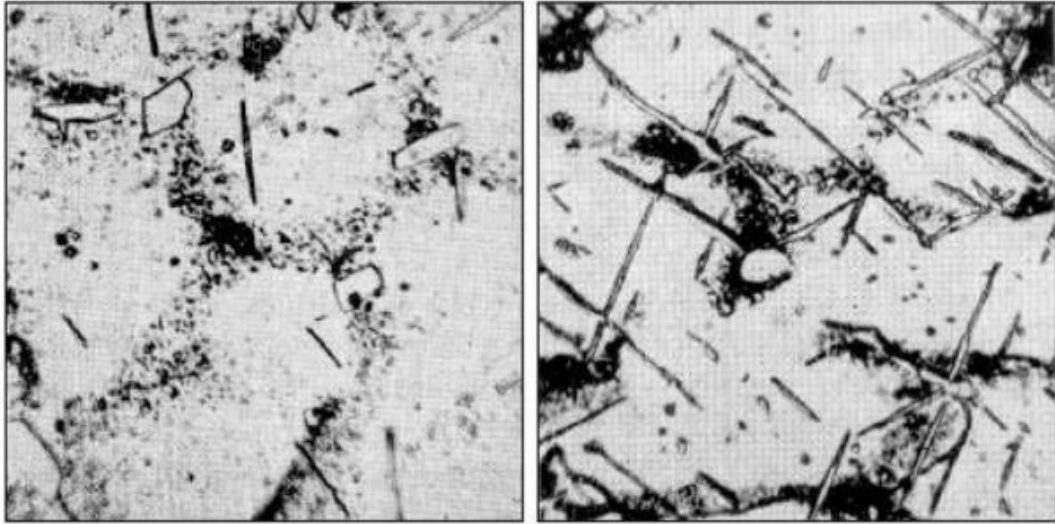
Şekil 3.10 : 20 Cr / 10 Ni'li ve % 3 Ferrit İçeren Paslanmaz Çelik [19]



Şekil 3.11 : Farklı Sıcaklıklarda Isıl İşlem Uygulanan ve 780°C'da 300 Saat Süresince Tutulan, 20 Cr/10 Ni ve 1 Nb'lu Ostenitik Bir Yapıda Bulunan Ferrit Miktarının Gösterdiği Etki [19]

Ferrit içerikleri %3-12 arasında değişen ve 20Cr-10Ni-1Nb katkılı bir elektrotun tercih edildiği beş adet deney numunesi hazırlanarak 980-1100°C arasındaki farklı sıcaklıklarda östenitleştirilmiştir, 730°C'de 300 saat boyunca tutulması neticesinde sigma fazının meydana gelmesiyle kırılma hale getirilmiştir.

Buradan anlaşıldığı üzere; ferrit miktarındaki artışına ters istikamette olarak esneklik (darbe dayanımı) azalmakta ve ferrit yüzdesi ne miktarda olursa olsun, östenitleştirme sıcaklığındaki artış dikiş üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. 25 Cr / 20 Ni'li, ısıya dayanıklı bir elektrotla gerçekleştirilen ve farklı zaman dilimleri içerisinde dönüşüm sıcaklığında tutulan bağlantılara ait içyapı fotoğrafları yer almaktadır. Görüldüğü gibi, parçanın 780°C'de 100 saat tutulması halinde sigma fazı çizgileri meydana gelmiştir ve yine aynı sıcaklıkta gerçekleştirilen 500 saatlik bir tutma işlemi neticesinde ise çökelen sigma fazı izlerinin çok daha yoğun olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.12 : Deney Sonucunda Oluşan ve Çökelen Sigma Fazı Çizgileri (Ayrı ayrı gösterilmiştir) [19]

Özetle, kaynak işlemi esnasında banyonun çok hızlı bir şekilde soğuması ve katılaşması sebebiyle sigma fazı kolay oluşmaz. Bu sorun esas olarak ferrit içeriği çok yüksek olan bir kaynaklı bağlantının kaynak işleminden sonra uzun süre yüksek sıcaklık değerlerinde kalacak bir çalışma ortamlarında kullanılması halinde görülmektedir. Sigma fazı konusunda yapılan araştırmaların neticesi aşağıdaki gibidir.

- Sigma fazı, 750°C'de 650°C'dekine nazaran daha hızlı gerçekleşir. 750°C'de 30 saat olan bu süre 650°C'de 1 haftadır.

- Sigma fazı soğuk şekillendirmeyeyle daha hızlı oluşur.
- Sigma fazı niobyum (Nb), molibden (Mo), krom (Cr), ve silisyum (Si) oluşumuna ciddi seviyede tesir eder. Miktar olarak yükseldiğinde, belirli şartlara bağlı olarak, kaynak ve ısıl işlemden bağımsız olarak sigma fazı meydana gelebilir.
- Sigma fazını gidermek için 950-1100°C aralığında belirli bir süre tavlamaya müteakip suda hızlı soğutulur.
- Sigma fazını ortadan kaldırmak için yapılan ısıl işlemde sonraki meydana gelen ferrit miktarı, yapılmamış olana göre daha azdır.
- Ferrit miktarını daha da azaltmak için 1150°C'de homojenleştirme tavlama uygulanır. Böylece ferrit mikro toplanmalar şeklinde meydana gelir.
- Isıl işlem yapılmamış olan 19Cr-9Ni-1,5 Mo çeliğinin kaynak bölgesi içeriğinde yer alan %15 ferrit sigma fazına dönüştüğünde, kaynak dikişinde bazı mekanik değişimler oluşur:

Çekme dayanımı yükselirken, akma sınırında düşme görülür.

Uzama, büzülme ve çentik dayanımları ciddi seviyede azalır.

24 saat 750°C'de tavllanmış olan kaynak bölgesinin 0°C'deki çentik darbe dayanımı, 650°C'de bir hafta tavlanan kaynak yerinin çentik darbe dayanımı ile neredeyse aynıdır. Ancak yapısında %12 ferrit bulunan kaynak bölgesinin çentik darbe dayanımının 1/10'u kadardır. Aradaki bu fark, yüksek sıcaklıklarda daha da azalmaktadır.

- 300-400°C'in üzerinde oldukça iyi çentik darbe değerleri elde edildiği için, yüksek sıcaklıklarda çalışan konstrüksiyonlarda, sigma fazının sebep olduğu gevrekleşmeden korkulmamalıdır.
- Sigma fazının sebep olduğu kırılmalık, kaynak bölgesinin tavlama yapılmadan önceki durumunda içerdiği ferrit miktarına bağlıdır. Kaynak bölgesi başlangıçta %6,5 ferrit içerirse, sigma fazı dönüşümü çentik darbe dayanımının azalmasına sebep olmaz. Burada ferrit düşük miktarda olduğu için, östenitik yapı içerisinde ağ biçiminde değil, izole edilmiş odacıklar halinde oluşur. Bu süreçte elde edilen sigma fazı, yapıya bir süneklik kazandırmaktadır [19].

3.4.4 Çökme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti

Çökme sertleşmeli paslanmaz çeliklerden oluşturulacak kaynaklı bağlantılarda talep edilen niteliklerin eldesi için tercih edilen uygun üretim yöntemi ve ısıl işlemler çeliklerin kullanım yerine göre değişebilir. Kaynak sonrasında, çözültü alma ve yaşlandırma ısıl işlemleri ile maksimum mekanik özellikler ve korozyon direnci elde edilebilir. Çarpılmaların oluşma olasılığı ve çatlama tehlikesi bazı durumlarda çözültü alma tavinin uygulanmasını sınırlar. Bu sebeple, bazen yalnızca kaynak sonrasında yaşlandırma prosesi gerekir.

Martenzitik çökme sertleşmeli çeşitlerde ince kesitler normalize durumlarında ark kaynağı edilebilirler. Kalın kesitli parçalara veya yüksek oranda ön şekil değiştirme uygulanmış parçalara da yaşlandırma durumunda kaynak uygulanabilir.

Yarı-östenitik çökme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin genelinde, çözültü alma tavlama uygulanmış veya normalize durumlarında ark kaynağı ile birleştirilebilir.

Östenitik çökme sertleşmeli paslanmaz çelikler zor şekilde kaynak edilirler ve de bazı çeşitleri çatlama sıkıntısından sebeple kaynak edilemez. Kaynak bu tür çeliklerde genellikle çözültü alma yapılmış hallerinde uygulanır fakat ısıdan etkilenmiş bölge sıcak çatlama karşı hassastır [31].

Çökme yoluyla sertleşebilen östenitik tip paslanmaz çelikler çözültü alma sıcaklığından itibaren hızla soğutulduktan ve hatta yüksek oranda soğuk deformasyona uğramasının sonrasında bile östenitik yapılarını muhafaza ederler. Bahse konu çelikler yalnızca yaşlandırma uygulaması sonrasında sertleştirilebilirler. [19].

Çökme sertleşmeli martenzitik ve yarı östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek mukavemet koşulu talep edilirse, kaynak uygulamasında ana malzemeninkine benzer şekilde dolgu metalleri tercih edilmeli ve parçalara kaynaktan önce ısıl işlem ya da çözültü alma uygulanmış olmalıdır. Kaynaktan sonra çözme ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmalıdır. Eğer kaynaktan sonra ısıl işleminin uygulanması bazı sıkıntılar doğurursa, parçalara kaynaktan önce çözme tavi uygulanmalı, kaynaktan sonra ise bir yaşlandırma işlemi yapılmalıdır. Yüksek zorlamaların tesiri altında bulunan kalın parçalar, bazen aşırı yaşlandırma sıcaklıklarında kaynak edilirler. Bu süreç, yüksek dayanım eldesi için kaynak yapılmasından sonra eksiksiz bir ısıl işlem uygulanmasını lazım kılar.

Çökelme sertleşmeli östenitik paslanmaz çelikler, sıcak çatlak oluşumu sebebiyle zor kaynak edilen paslanmaz çelikler sınıfındadırlar. Kaynak tercihen çözeltiye alma tavlı yapılmış olan parçalar üstünde gerçekleşmeli ve proses düşük gerilmeler altında ve mümkünse en düşük ısı girdisi sağlanacak şekilde yapılmalıdır. Nikel esaslı NiCrFe ya da konvansiyonel biçimdeki östenitik paslanmaz çelik dolgu malzemeleri, bahse konu çeliklerin kaynağında çokça tercih edilmektedirler [31].

3.4.5 Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti

Bahse konu çelikler güncel olarak en hızlı gelişim gerçekleştiren paslanmaz çelik türü olmakla birlikte takribi benzer miktarda ferrit ve östenit içeren bir mikro yapıya haizdir [19].

Çift fazlı mikro yapıya sahip olmak için %21-25 Cr ve %5-7Ni içeriğine sahip çelik 1000-1050°C sıcaklıkta tavlama ve hızlı bir şekilde soğutulmalıdır. Bu kaynak metali genelde ferritik yapıda olma isteklidir ve dolgu metali ferritik katılaşacağı için yalnızca bir kısımda östenit dönüşümü meydana gelecektir. Dolgu metali içeriğinde yer alan Ni oranı %8-10 seviyesine çekilerek kaynak dolgusuna tavlama işlemi uygulanması mümkün hale getirilir ve böylelikle mikro yapısında daha fazla östenit bulundurması sağlanır.

Çift fazlı paslanmaz çelikler, hem görece yüksek akma dayanımına sahip olmaları hem de gerilmeli korozyon çatlamasına karşı daha fazla dayanım sağlamaları sebebiyle, konvansiyonel tipteki östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerinkine göre daha üstün avantajlar sunarlar [19].

Çizelge 3.1 : Çift Fazlı Paslanmaz Çeliklerin Nominal Kimyasal Analiz Değerleri [19]

TÜRÜ	UNS No:	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni
2205	S31803	0,03	2,00	1,00	22,00	5,50
2304	S32304	0,03	2,50	1,00	23,00	4,00
255		0,04	1,50	1,00	25,50	5,50
NU744LN		0,067	1,70	0,44	21,60	4,90
2507	S32750	0,03	1,20	0,80	25,00	5,50

Soğuma hızının bağlı olduğu değişkenler; ısı girdisi, pasolar arası sıcaklıklar ve malzeme kalınlığıdır. Özellikle çok yüksek alaşımlı duplex paslanmaz çelikler söz konusu olduğunda, çok yavaş soğuma hızlarında metallerarası gevrek fazlar meydana gelir; bu fazlar kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölgede hem tokluğun hem de

korozyon direncinin düşmesine sebep olur. Çok yüksek soğuma hızları gerçekleştiğinde ferrit miktarı, nitrür çökelmeleri ve bunun sonucunda da düşük tokluk ve düşük korozyon direnci ile karşılaşılır. Dolayısıyla duplex paslanmaz çeliklerin kaynağı alaşım içeriklerine bağlı olarak kontrollü bir ısı girdisi ile gerçekleştirilmelidir.

Günümüzde duplex paslanmaz çeliklerin kaynağı için geliştirilmiş örtülü elektrotlar, gazaltı kaynak telleri, tozaltı kaynak telleri ve tozları üretilmektedir. Kaynak metalinin metalurjik faz dönüşümlerinde, kullanılan örtülü elektrotun bileşimi, gaz ve tozun bileşimi, kaynak ısı girdisinin yanında tesirli olmaktadır. Bu açıdan, kaynak metalinin mekanik özellikleri ve korozyon dayanımı, kullanılan ilave kaynak malzemelerinin bileşiminin tesiri altındadır. Duplex paslanmaz çeliklere kaynak işlemi uygulandığı zaman, kaynak metalinin ferrit muhtevasının kontrol altında tutulması mühimdir. Kaynak işleminde elektrot seçimi yapılırken kaynak metaline uygun ferrit içeriğini sağlayacak şekilde yapılmalıdır [31].

Çizelge 3.2 : Duplex ve Süper-Duplex Paslanmaz çeliklerin Kaynağı İçin Önerilen Isı Girdisi ve Pasolar arası Sıcaklıklar [31]

TÜRÜ	Önerilen Isı Girdisi	Maksimum Pasolarası Sıcaklıklar (°C)
%23 Cr Molibdensiz Duplex	0,5-2,5	150-200
%22 Cr Standart Duplex	0,5-2,5	125-200
%25 Cr (0-2,5% Cu) Duplex	0,2-1,5	100-150**
%25 Cr Super Duplex	0,2-1,5	100-150**

BÖLÜM 4. PASLANMAZ ÇELİKLERE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Paslanmaz çelikler için genel olarak uygulamadaki tüm kaynak yöntemleri ile uygun bir şekilde birleştirilebildiği söylenebilir. Kaynak yöntemi tercih edilirken aşağıdaki etmenler dikkate alınır:

- Cihazların mevcudiyeti, kurulumu ve kullanılabilirliği,
- Malzeme kalınlığı,
- Kaynak yapılacak ortam,
- Kaynak pozisyonu,
- Paslanmaz çelik malzemenin çeşidi,
- Yardımcı donanım ve ekipmanların durumu ve sağlanması

Paslanmaz çeliklerin dahil olduğu birleştirilmelerde kullanılan kaynak yöntemleri aşağıdaki gibidir:

- Gaz ergitme kaynağı
- Örtülü elektrot ile ark kaynağı
- Eriyen elektrot ile gaz altı kaynağı (MIG)
- Erimeyen elektrot ile gaz altı kaynağı (TIG)
- Plazma arkı ile kaynak- Tozaltı kaynağı
- Elektron ışın kaynağı
- Lazer ışın kaynağı
- Direnç nokta veya dikiş kaynağı
- Sürtünme kaynağı
- Difüzyon kaynağı [3].

4.1 Gaz Ergitme Kaynağı

Yanıcı gaz olarak asetilenin fazlaca tercih edildiği ve bu sebeple de oksii-asetilen kaynak yöntemi olarak isimlendirilen bu yöntem, paslanmaz çelik ince sacların birleştirilmesinde ve tamir kaynağında nadiren kullanılır [33].

4.2 Örtülü Elektrot ile Ark Kaynağı

Elektrot, bir örtü katmanı ile çevrelenmiş metal bir masif bir paslanmaz çelik çubuk çekirdekten oluşmaktadır. Proseste stratejik yeri olan örtü, çekirdek üzerine ekstrüze edilerek her elektrota özel bir karakter verir. Örtü; elektriksel, fiziksel ve metalurjik olmak üzere üç temel fonksiyonu yerine getirmektedir. Elektriksel işlevler arkın başlangıcı ve kararlı olması ile alakalıdır. Fiziksel işlev, metal damlacıkların iletilmesi, kaynak banyosunun tesirli bir şekilde muhafazasını ve ıslatma yeteneğini kontrol eden cürufun viskozite ve yüzey gerilimi ile alakalıdır. Metalurjik işlevler cüruf ve kaynak banyosu arasında yer alan kimyasal ilişkiyi içermektedir; örneğin, kaynak metalinin rafine edilmesi gibi.

Örtünün içinde bir miktar bulunan kalsiyum karbonat (CaCO_3), arkın içinde takribi $900\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ayrışıp CaO ve CO_2 meydana getirir böylelikle ark bölgesi korunur[34].

Paslanmaz çelik yapısında olan örtülü elektrotlar, geniş bir ürün gamına sahiptir. Bahse konu ürünler, 1.25 mm'den başlayıp çeşitli kalınlıklara kadar artan parçaların kaynağında tercih edilebilir. Gerek gözenek meydana gelmemesi gerekse de kaynak dikişinde cüruf kalma riskinin engellenmesi için her pasodan bir sonraki pasoya geçmeden önce yüzeydeki cüruf tabakası güzelce temizlenmelidir. Örtülü elektrot kaynağında kullanılan kaynak donanımları düşük maliyetlidir fakat aynı zamanda metal yığıma hızlarının diğer yöntemlerle nazaran çok düşük olduğu gözden kaçmamalıdır [19].

Kaynak uygulamasının örtülü elektrot ile yapılmasına karar verilmişse, diğer önemli karar da elektrot örtüsünün türü konusunda olmalıdır. Belirli bir elektrot çeşidi için bazik (-15), rutil (-16) ve asit (-17) karakterli örtüler bulunurken, bunlar arasındaki seçimin ana noktası yapılacak olan kaynak pozisyonuna göreler.

Bazik örtülü elektrotlar sadece DC kaynak akımında uygulanabilir. Bu grupta yer alan elektrotlar bilhassa aşağıda belirtilen durumlarda önerilmektedir.

Dikey kaynak, tavan kaynağı ve boru kaynağı gibi bütün pozisyonlardaki uygulamalar. Meydana gelen ince cüruf tabakası iyi bir ıslanma sağlamak ve kenar yanığı oluşum riskini engellemek için yeterli hıza sahip bir yayılma gösterir. Kalın plakalardaki kök paso uygulamaları. Bütün oluk kesiti boyunca devam eden hafif dışbükey kaynak dikişi çatlak oluşumunun engellemesine yardım eder. Rutil örtülü elektrotlar DC ya da AC kaynak akımında uygulanabilir fakat mümkünse DC kaynak akımının tercih edilmesi önerilmektedir [19].

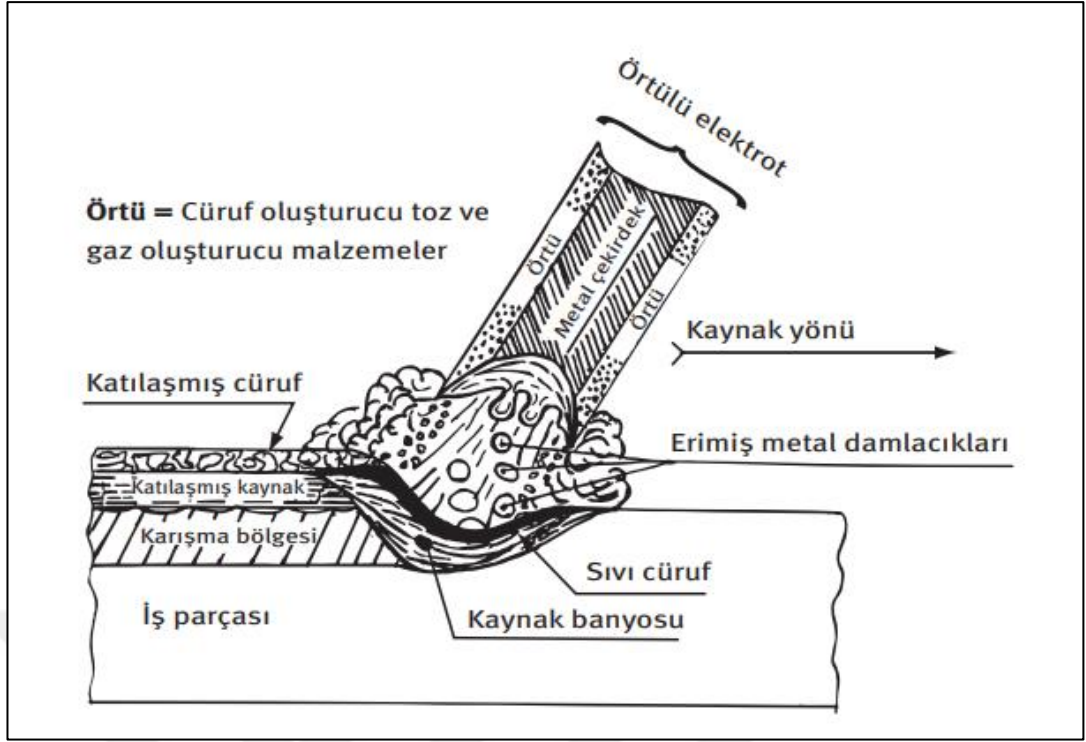
Kalın plakalardaki kök paso uygulamaları. Bütün oluk kesiti boyunca uzanan hafif dışbükey kaynak dikişi çatlak oluşumunun önlenmesine yardım eder. Rutil örtülü elektrotlar AC ya da DC kaynak akımında kullanılabilir. Ancak mümkünse DC kaynak akımının tercih edilmesinde yarar vardır.

Bu grupta yer alan elektrotlar bilhassa aşağıda belirtilen durumlarda önerilmektedir:

Büyük bir bölümü yatay pozisyonda gerçekleştirilecek olan bütün uygulamalar. Bazik örtülü elektrotların olmadığı durumlarda, aşağıdan yukarıya ve tavan pozisyonundaki kaynak uygulamaları.

Asit örtülü elektrotlar DC ya da AC kaynak akımında uygulanabilir fakat çoğunlukla DC kaynak akımı tercih edilmektedir. Bu grupta yer alan elektrotlar özellikle aşağıda belirtilen durumlarda önerilmektedir:

Minimum temizlik yapılması tercih edilen süreçlerde gerçekleştirilen düz ve yatay pozisyonundaki kaynak uygulamaları [19].



Şekil 4.1 : Örtülü Metal Ark Kaynağı Prosesinin Prensibi [34]

4.3 TIG Kaynağı

Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk defa, alüminyum alaşımlarının kaynağında, havacılık sektöründe Mg alaşımli parçaların kaynağında kullanılmıştır. Zaman içerisinde uygulama alanı oldukça genişlemiştir. Helyum gazı koruyucu atmosferinde yapılmıştır [25].

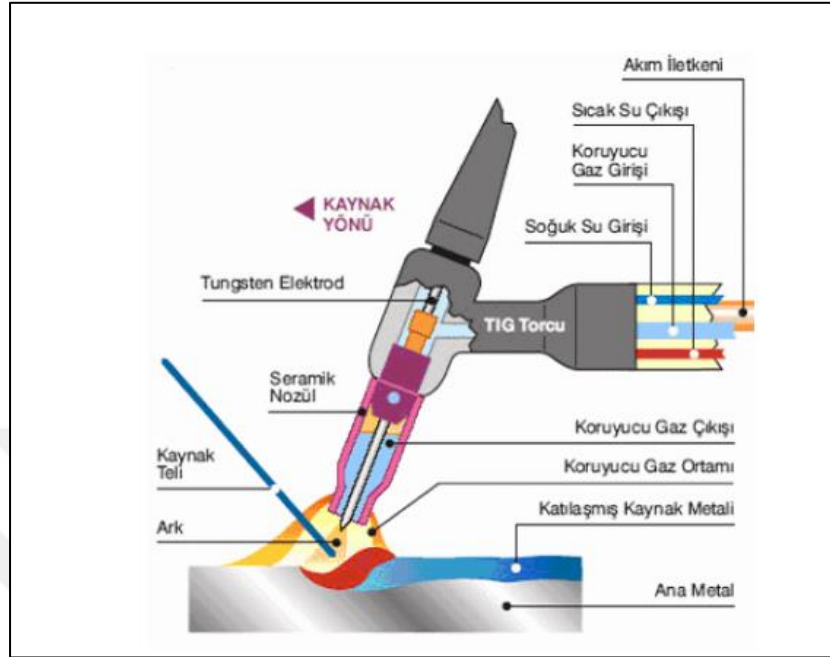
Avrupa'da koruyucu gaz tercihi çoğunlukla argon olduğundan bu yöntem "Argon ark" olarak adlandırılmıştır [35].

TIG sembolü, "Tungsten Inert Gas" kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. TIG uygulamasında argon veya helyum gazı atmosferiyle korunan tungsten elektrot ve iş parçası arasında ark oluşturulur. Ayrıca, ilâve metal (kaynak teli veya çubuğu) gereklidir [25].

TIG kaynağı, elektrik ark kaynağının ilerisi konumundadır. Bu prosesin tam adında Tungsten erimeyen elektrotu Inert kelimesi ise kimyasal olarak birleşmeyen bir gazı ve Gaz kelimesi de erimiş banyo ve arkı örterek kaynak bölgesini muhafaza edip havayı uzak tutan yapıyı simgelemektedir. TIG yöntemiyle, genellikle diğer yöntemlere nazaran daha ayrıcalıklı özelliklere sahip dikişler elde edilir [36].

Kaynak edilebilen bütün paslanmaz çelikler için TIG kaynağı tercih edilebilir.

Kullanım şekli kolay bir yöntemdir. Prensipten açısından gaz eritme kaynağına benzemektedir yalnız torç değişiktir. Ne yanıcı ne de yakıcı gaz bulunmaz. Isı enerjisi elektrik ark tarafından temin edilir [25].



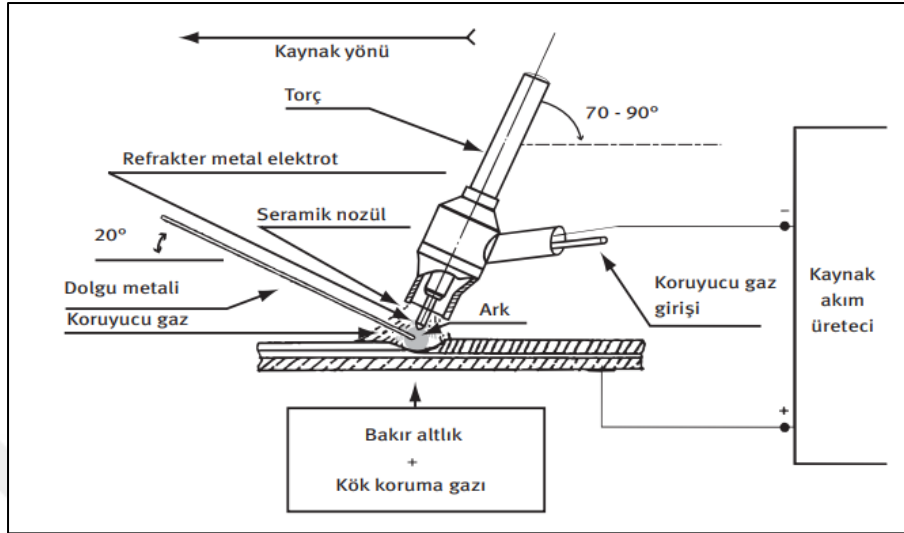
Şekil 4.2 : TIG Kaynağının Prensipten Şeması [35]

TIG kaynak yönteminin kaynakçı tarafından kullanılması kolay olup prensipten olarak gaz eritme kaynağına oldukça benzemektedir ve çok geniş, uygulama alanına sahiptir. Bu yöntemde erimeyen elektrot kullanıldığından bazı durumlarda ilave kaynak metaline gerek olmadan birleştirme yapılabilir. Gerektiğinde gaz kaynağında olduğu gibi ilave metal tercih edilmektedir. Endüstride bu kaynak yöntemi çoğunlukla kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde ciddi seviyede kolaylık sağladığı için, uygulama alanı her geçen gün artmaktadır.

Ergimeyen bir elektrot kullanılan bu yöntemde ek kaynak metaline gerek duyulmadan kıvrık alın kaynak ağızları hazırlanmış ince parçalar birleştirilebilir. Kaynak bağlantısı için ek metal gereksinimi duyulduğunda, bir tel çubuk biçimindeki kaynak metali kaynakçı tarafından kaynak bölgesine sokulmaktadır [37].

TIG kaynak yöntemi, her kalınlık ve pozisyondaki parçalara uygulanabilmenin yanında, daha kalın parçalar için uzun süreli işlemler gerektiğinden ekonomik olmamakta ve tercih edilmemektedir. Bu sebeple bilhassa 7 mm'den daha kalın parçaların birleştirilmesinde tercih edilmemekle birlikte bu yöntem vasıtasıyla kaliteli, daha güvenilebilen birleştirmeler sağlanabilir. Bundan sebeple uzay ve havacılık

endüstrisinde sıklıkla tercih edilir. Akım şiddetinin azaltılması yoluyla, bilhassa diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi çok zor olan çok ince saçlar bahse konu yöntemle kaliteli bir şekilde birleştirilebilmektedir. Hatta 0.1 mm kalınlığına sahip parçalar bile kaynak edilebilmektedir [24],[38].



Şekil 4.3 : TIG Kaynağının prensibi [37]

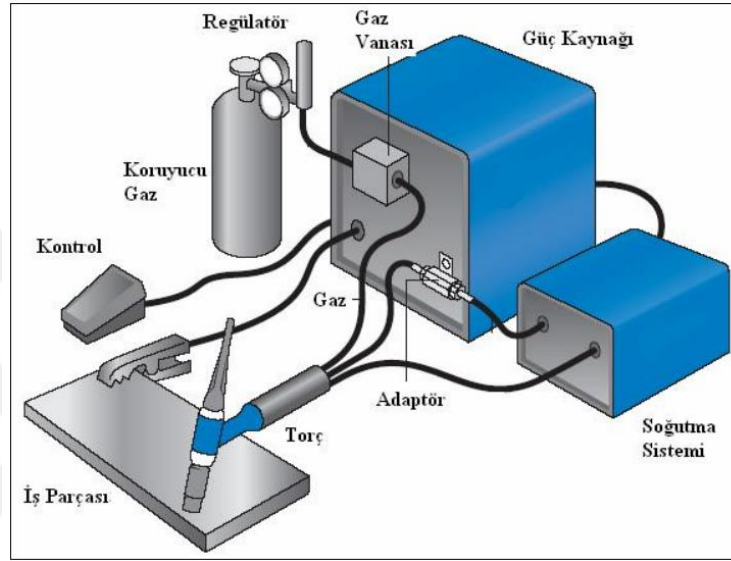
Bahse konu yöntem süresince, kaynak banyosu çok iyi bir biçimde görülebilmektedir, bu sebeple de kontrol altında tutulabilmektedir; ayrıca banyonun üzerinde cüruf olmayışı sebebiyle de dikişte cüruf kalma tehlikesi ortadan kalkmıştır. TIG kaynağı ile elektrik ark ve oksitlen kaynağı arasındaki farklılıklar kısaca aşağıdaki gibidir:

- Bir dekapana (Örtülü elektrotların örtüsü, toz altı kaynağındaki toz vb) ve bitmiş kaynaklardan kalan korozif artıkların temizlenmesine ihtiyaç duyulmaz,
- Kimyasal içerik açısından kaynak metalinin bileşimi ile kaynak edilen esas metal ile neredeyse aynıdır. Diğer yöntemlerle yapılan kaynaklara nazaran daha yüksek dayanımlı, korozyona karşı daha dirençli ve daha sünektir. İner gaz, kimyasal durumu gereği diğer maddelerle birleşmez ve kaynak metalinin bu minvaldeki maddelerle kirlenmesine izin vermez.
- Kaynak tüm pozisyonlarda basit bir şekilde uygulanabilir.
- Kaynak süreci rahat bir şekilde gözlenebilir. Görmeyi engelleyecek herhangi bir duman, sis vb. oluşmaz ve kaynak banyosu da temizdir.
- Kaynağa bitişik esas metaldeki distorsiyon miktarı en düşük seviyededir. Isı, dar bir alanda yoğunlaşır ve dolayısıyla ITAB daha küçük boyuttadır.
- Metal temizleme sorununa sebep olan sıçrama olayı olmaz. Ark sırasında

herhangi bir metal taşınmadığından bu durumdan kaçınılmaktadır [36].

4.3.1 TIG kaynak donanımı

Bahse konu donanım; uygun bir akım üretici, gaz basınç ayar tertibatı, koruyucu gaz tüpü, akım kabloları, tungsten elektrotu taşıyan torç ve gaz hortumu ile genelde akım üretici üzerine monte edilmiş bir kontrol panelinden meydana gelir [39].



Şekil 4.4 : TIG Kaynağının Donanımı [39]

TIG kaynak yöntemi için bu ana donanımların yanında gerek duyulduğunda veya sistemin otomatik olarak uygulanabilmesi için aşağıda yer alan donanımların kullanılmasına ihtiyaç vardır.

- Yüksek akım şiddetleri ile çalışma durumunda, ısınan torcun soğutulması için soğutma suyu sirkülasyon sistemi,
- Bilhassa doldurma uygulamalarında kullanılması için akımın kontrol ve ayarı maksatlı ayak pedalı,
- Otomatik kaynak uygulamalarına ihtiyaç duyulursa, torca salınım hareketleri yaptıracak bir osilatör,
- Otomatik kaynak uygulamaları için tel besleme tertibatı,
- Otomatik kaynak uygulamalarında kullanılmak üzere torç veya iş parçasını ilerletme tertibatı [40].

Östenitik paslanmaz çeliklerde ince saclı malzeme tercih durumunda, mevcut tüm kaynak pozisyonlarına TIG kaynağı yapılabilir fakat dolgu miktarı erime gücü nedeniyle düşük gerçekleşmektedir. Uygulama doğru akımla gerçekleştiğinde, tel

negatif kutba bağlanılır ve koruyucu gaz olarak; helyum, argon, azot veya bunların karışımı tercih edilir.

Yarı otomatik kaynak uygulamalarında argon gazı tercih edilir. Sebepleri arasında; arkın başlaması, kaynak banyosunun kolay kontrolü ayrıca banyo üzerinde de iyi ve etkili bir örtü sağlayabilmesi sayılabilir. Argon gazı ile uygulamalarda (özellikle östenitik ince saclar için) akım oluşturmak için gereken ısı girdisi, helyum gazı kullanılan kaynak işlemine nazaran düşük olduğundan daha uygundur.

Helyum, tercih edilmesi durumunda arkın tutuşturulması daha güç olmasına rağmen; özellikle kaynak hızlarının yüksek olduğu, bilhassa otomatik prosesli kaynaklı birleştirmelerde daha verimli bir kaynak dikiş şekli ve nüfuziyet eldesi için kullanılır [35].

4.3.2 TIG kaynak elektrotları

Bahse konu yöntemi ile diğer kaynak prosesleri arasındaki ana fark, erime sıcaklığı 3350 °C olan tungsten elektrotun kullanılması ve sadece ark oluşturma işlemi gerçekleştirmesidir [41].

TIG kaynağında kullanılan elektrotlar; saf tungsten veya tungstenin, toryum ve zirkonyum ile alaşım haliyle meydana gelen ve toz formundaki malzemenin sinterlenmesiyle ortaya çıkmaktadırlar. Zirkonyum ya da Toryum ile alaşımlandırılmış elektrotlar:

- Kaliteli elektron emisyonu eldesi temin ederler.
- %25 daha yüksek akım şiddetiyle yüklenmeleri olabilmektedir.
- Ömürlerinin daha uzun olması yanında, %50 daha düşük sarfiyat sağlarlar.
- Ergimiş metal ile temasta olmasının yanında gerek sıçrama gerekse de buharlaşmaları azdır.

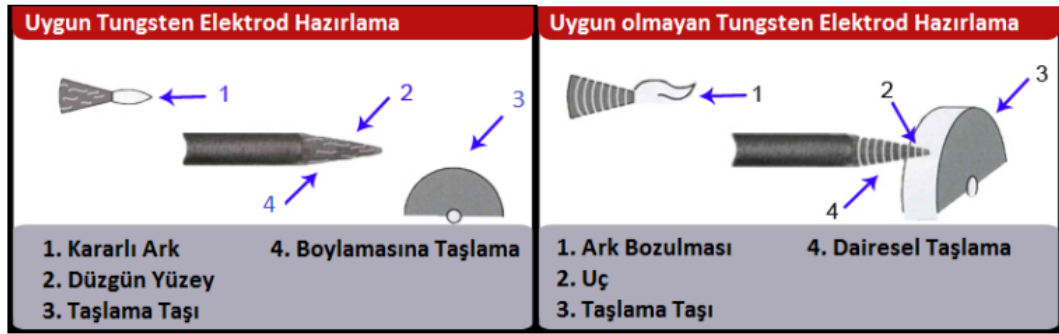
Toryum alaşımlı elektrotların kısa süreli kullanımı sonrasında, uçlarında tırtırlarla oluşur. Elektrotların makul akım şiddetleriyle yüklenmeleri lazım gelmektedir yoksa aksine bir yükleme halinde, elektrot ucundaki erime kaynaklı kararsız bir ark meydana gelir.

Elektrotun ucunun sıcaklığı bazı parametrelere bağlıdır; kutup durumu, akımın yoğunluğu ve cinsi, elektrot çapı ve kaynaklanan parçalara verilen ısı elektrot ucunun formuna bağlıdır. Buna istinaden de dikiş şekli değişkenlik göstermektedir. Elektrot

ucun dairesel olursa; genişliği fazla, nüfuziyeti az bir dikiş eğer konik uçlu olursa; genişliği az, nüfuziyeti fazla olan dikişler elde edilir [19].

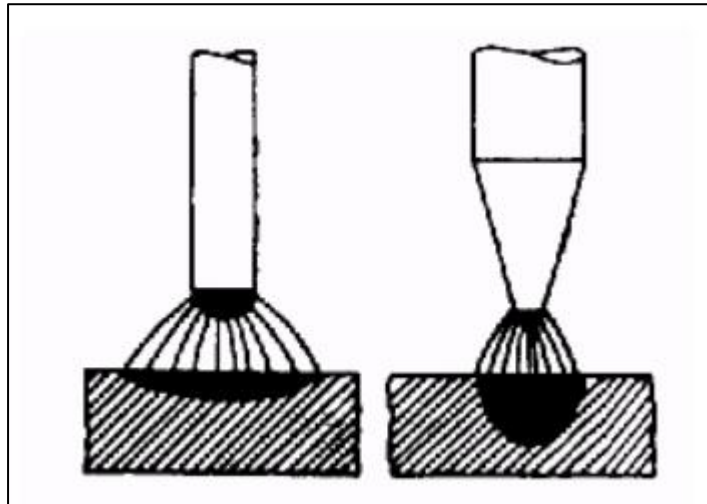
Detay vermek gerekirse; yuvarlak uçlu olanlar, Saf tungsten elektrotlar için daha uygun olan uç şeklidir. Uç kırılmasını ve ark kararsızlığını engellemek için yuvarlak ucun çapı, elektrot çapının 1.5 katını geçmemelidir.

Tungsten elektrotu düzgün bir şekilde taşlamak için, taşlama taşına boylamasına şekilde ileri-geri hareket ile sürtülür. Ark başlangıcının kolay olması ayrıca arkın odaklanması açısından da sivri ucun boyu elektrot çapının 2.5 katını geçmemesi önerilmektedir. Toryum alaşımlı tungsten elektrotların taşlanması esnasında, meydana gelen tozların ortamdan uzaklaştırılması mühim bir konudur [43].



Şekil 4.5 : Elektrot Hazırlama Süreçleri [43]

Uygulama yapılırken elektrot çapı seçimi, elektrotun maksimum akım yüklenebilme kapasitesi dikkate alınarak yapılır; bu değere yanaşıldığı zaman arkın ısı yoğunluğu artar, daha kararlı bir ark yapısı ile nüfuziyeti fazla, yüksekliği az bir dikiş elde edilebilir [42].



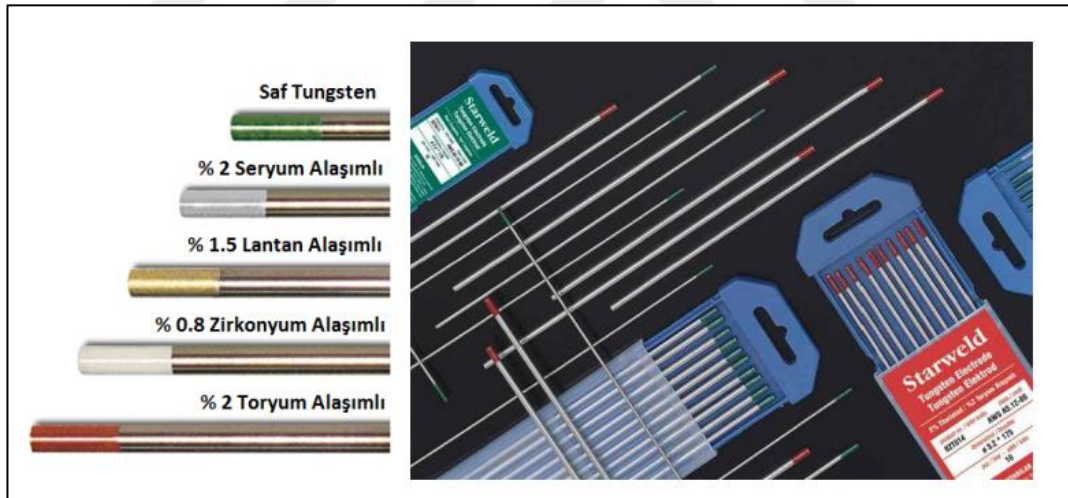
Şekil 4.6 : Aynı Akım şiddetiyle yapılan TIG kaynağında, elektrot ucunun Dikiş Formu Üzerindeki Etkisi [19]

Bahse konu kaynak yönteminde tercih edilen elektrotların akım yüklenebilme yeterliliği çok sayıdaki etmene bağlı olmak kaydıyla aşağıdaki gibi oldukça geniş bir aralık içerisinde değişmektedir;

- Elektrotun bileşimi,
- Koruyucu gazın çeşidi,
- Elektrotun, elektrot tutucusunun dış kısmında kalan boyu,
- Elektrota tatbik edilen soğutma sisteminin etkinlik durumu,
- Akım türü ve kutuplama,
- Kaynak pozisyonu [39]

Elektrot türleri bakımında bir çeşitlendirme de renksel olacaktır.

- Saf Tungsten-Yeşil
- %2 Seryum Alaşımli-Gri
- %2 Toryum Alaşımli-Kırmızı
- %1,5 Lantan Alaşımli-Altın
- %2 Lantan Alaşımli-Mavi [43]



Şekil 4.7 : Elektrot Çeşitleri [43]

4.3.3 TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar

Koruyucu gaz kullanımının amacı çevrede yer alan atmosferin erimiş kaynak banyosuna olumsuz tesirini önlemektir. Bunun dışında kaynak işlemine ve sonuçta elde edilen kaynak dikişine aşağıda gibi önemli etkileri söz konusudur:

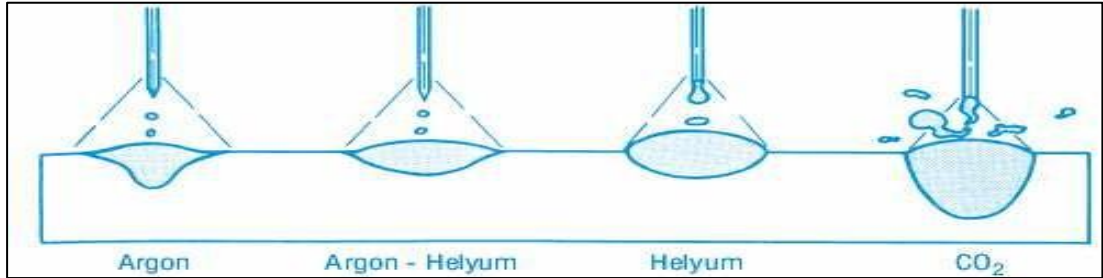
- Arkın karakteristiği,

- Metal transferinin biçimi,
- Kaynak dikişinin biçimi ve nüfuziyet,
- Kaynak hızı,
- Yanma oluşu meydana gelme isteği,
- Temizleme tesiri,
- Kaynak metalinin mekanik özellikleri şeklindedir.

Argon ve helyum soy gazları gerek kendileri gerekse de bunların karışımları paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde tercih edilmektedirler.

Argonun yoğunluğu havanınkine nazaran 1,4 kat iken, helyumun yoğunluğu 0,14 katıdır. Koruyucu gazın ağırlığı arttıkça, verilen bir debide arkı koruma ve kaynak alanının örtmesi o kadar tesirlidir, bundan sebeple helyumla uygulama gerçekleştirildiğinde aynı tesirli korumayı elde etmek için argonla korumada kullanılan debinin iki-üç kat fazla debi gerekmektedir [44].

Helyum argona nazaran yüksek ısıl iletkenliğe haizdir ayrıca içerisinde ark enerjisinin daha uniform şekilde dağıldığı bir ark plazması meydana getirir. Argonun meydana getirdiği ark plazmasında iç bölgede çok yüksek bir enerji söz konusudur. Bahse konu fark, kaynak dikişi profiline önemli ölçüde tesir eder. Helyum arkı derin ve geniş parabolik kaynak dikişi meydana getirir. Argon arkı ise şişe emziğine benzer bir nüfuziyet meydana getirir [44].



Şekil 4.8 : Koruyucu Gazların Kaynak Dikişinin Şekline ve Nüfuziyetine Etkisi [44]

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak uygulamalarında fazlaca tercih edilen gaz argondur (38). Ayrıca hidrojen ilavesiyle kaynak hızı ve nüfuziyeti de artar [35]. Hem daha temiz hem de kaliteli dikişler elde edilir. Hidrojen ve argon gazının kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirinden farklıdır. Her iki gazın bileşimi sonucu kaynak işlemlerini ve kaynak metaline ait özellikleri muhafaza etmektedir [45].

Çizelge 4.1 : Gaz Altı Kaynak Yöntemlerinde Kullanılan Gazların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri
[45]

Gaz tipi	Havadaki içerik (%hacim)	1013 bar'da kaynama noktası (°C) %	Atomik ağırlık ve ortalama molekül ağırlığı	15 °C ve 1 bar'da yoğunluk (kg/m ³)	15 °C ve 1 bar'da havaya (-1) göre bağıl yoğunluk	Ayrılma ve iyonizasyon enerjisi (eV) ^c	Kimyasal davranış
Hidrojen (H ₂)	0.5×10 ⁻⁶ ^a	-252,9	2.016	0,085	0,06	4,48 13,59	İndirgeyici
Argon (Ar)	0,934	-185,9	39.948	1.669	1,38	15,76 27,50	İnert
Helyum (He)	5,2×10 ⁻⁶ ^a	-268,9	4.002	0,167	0,14	24,56 54,10	İnert
Azot (N ₂)	78.084	-195,8	28.013	1.170	0,91	9,76 14,55 29,60	Reaktif
Karbondiyoksit (CO ₂)	0.033 ^a	-78,5 ^b	44.011	1.849	1,44		Oksitleyici
Oksijen (O ₂)	20.946	-183,0	31.998	1.337	1,04	5,08 13,62 35,20	Oksitleyici

Argon	Helyum
<p>a) Düşük ark gerilimi sonucu ısı girdisinin azalması, 1.5 mm'den ince parçaların el ile kaynağında büyük bir üstünlük sağlar.</p> <p>b) Alüminyum ve alaşımları gibi yüzeyleri refrakter bir oksit tabakası ile kaplı malzemelerin kaynağında temizleme etkisi daha şiddetlidir.</p> <p>c) Arkın tutuşması daha kolaydır. Ark daha sakin ve daha stabil yanar.</p> <p>d) Havadan ağır olması nedeni ile daha az koruyucu gaz ile daha etkin bir koruma sağlar.</p> <p>e) Dik ve tavan kaynaklarında, gaz sarfiyatının fazla olmasına karşın, ısı girdisinin azlığı sonucu oluşan, daha ufak kaynak banyosuna kaynakçının kolaylıkla hakim olabilmesine olanak sağlar.</p> <p>f) Otomatik kaynak işlerinde hızın yükselmesi, gözenek oluşumuna neden olur.</p> <p>g) Farklı metallerin kaynağında daha iyi sonuçlar alınır.</p>	<p>a) Yüksek ark gerilimi sonucu oluşan daha sıcak ark, ısı iletkenliği yüksek malzemeler ile kalın parçaların kaynağında daha üstün sonuçlar verir.</p> <p>b) Yüksek ısı girdisi ve yüksek kaynak hızı, daha dar bir ITAB oluşturur ve bunun sonucu olarak kaynak bağlantısının mekanik özellikleri iyileşir. Böylece çarpılma ve kendini çekmeler azalır.</p> <p>c) Havadan çok daha hafif olması sonucu koruyucu gaz sarfiyatı yüksektir ve torcun memesinden çıkan gaz akımı hava hareketlerine hassastır.</p> <p>d) Otomatik kaynak işlemlerinde yüksek kaynak hızlarında karşılaşılan gözenek ve yanma çentikleri oluşumu kontrol altına alınabilir.</p> <p>e) Havadan daha hafif olması sonucu tavan kaynaklarında daha iyi koruma sağlar ve bu yüzden altlık olarak kullanımı uygundur.</p>

Şekil 4.9 : Argon ve Helyum Gazlarının TIG Kaynak Yöntemindeki Davranışlarının Karşılaştırılması [46]

4.3.4 TIG kaynak yönteminin uygulama alanları

Ekseriyetle hafif metal ve alaşımlarla, paslanmaz çelikler ve bakır malzemelerin birleştirilmelerinde kullanılan TIG kaynağı ile 15 mm kalınlığa kadar parçaların

kaynağı yapılabilir. Ayrıca belirtmek gerekirse kaynak edilebilirliği düşük olan bronzlar, titanyum alaşımları, zirkonyum gibi malzemelere uygulanması gözeneksiz olarak yapılabilir [19].

TIG kaynak yönteminin kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Gıda ve kimya sanayinde tercih edilen cihazlar, tıbbi aletler, ısı eşanjörleri, tanklar, buzdolabı, boru tesisatı, uçak motorları, kaynatma kazanları, gaz ve buhar türbinleri, meme donanımları, çamaşır makineleri, gemicilik vb.
- Deokside edilmiş bakır ve alaşımları; hem kimya endüstrisinde hem de elektro-teknikte kullanılan bakır donanımlar vb.
- Sert tabaka dolgu kaynağı yapılarak subapların oturma yüzeyleri ve aşınan parçaların doldurulması vb.
- DKP çelik saclar; karoseri işleri, çok ince saclarla yapılan konstrüksiyonlar, uçak inşaatı vb. [39].

4.3.5 TIG kaynak yönteminin avantajları ve dezavantajları

Bahse konu yöntemin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Bütün metal ve alaşımlar için uygulanabilir. Örneğin; paslanmaz çelikler, alüminyum, magnezyum, bakır ve alaşımları, ısıya mukavim çelikler, dökme demir ve çelik grubu, titanyum, nikel, molibden, niyobyum, tungsten gibi.
- Bahse konu yöntemle gerçekleştirilen kaynaklarda mukavemet ve kalite bakımından muazzam dikişler elde edilir.
- Dekapana gerek duyulmaz.
- Kaynak dikişleri ekseriyetle kaynaktan sonra olduğu gibi kullanılır.
- Hem çok küçük alanın ısıtılması hem de ısının sürekli transferi sebebiyle diğer yöntemlere nazaran çarpılmalar daha düşük seviyede gerçekleşir.
- Tungsten elektrotla dikişte asgari seviyede karbür ayrışması oluşur.
- Her çeşit yatay, dik ve tavan pozisyonlarında kaynak yapılarak birleştirme şekli uygulanabilir.
- Kaynak torcu hafiftir ve bu sebeple rahat bir çalışma ortamı sağlar.
- Bu yöntem vesilesi ile ayrı cins metalleri ve alaşımları birbirleriyle birleştirmek olasıdır.
- Bahse konu yöntemde genellikle koruyucu gaz olarak Argon tercih edilir.

- Kaynak dikişi üzerinde cüruf oluşmaz.

TIG kaynak yönteminin olumsuz yönler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Bu yöntemin metal yığıma hızı diğer ark kaynak yöntemlerine göre düşüktür.
- Kalın kesitli malzemeler kaynak uygulamaları için ekonomik değildir.
- Koruyucu gaz mutlak surette lazımdır.
- Kirliliğe hassas olması sebebiyle yüzey temizliği gerektirmektedir.
- Gerek açık havada gerekse de korumasız ortamlarda herhangi bir önlem alınmadan uygulama yapılması oldukça güçtür.
- Kimyasal yapıda düzeltilme yapılamaz [5], [41].

4.3.6 TIG kaynak yönteminde kullanılan ilave kaynak metalleri

Bahse konu kaynak uygulamalarında, MIG kaynağına benzer şekilde DIN, AWS ve TS 11797 göre tanımlı boyutlarda ilave teller kullanılmaktadır. Detayları aşağıdaki gibidir [1],[24].

Çizelge 4.3 : Bazı Paslanmaz Çeliklere Ait TIG İlave Tellerin Kimyasal Bileşenleri (%) [1],[24]

İlave Tel	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
ER308L	0,03	19,5-22,0	9,0-11,0	0,75	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	0,75
ER308LSi	0,03	19,5-22,0	9,0-11,0	0,75	1,0-2,5	0,65-1,0	0,03	0,03	0,75
ER309L	0,03	23,0-25,0	12,0-14,0	0,75	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	0,75
ER309LSi	0,03	23,0-25,0	12,0-14,0	0,75	1,0-2,5	0,65-1,0	0,03	0,03	0,75
ER316L	0,03	18,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	0,75
ER316LSi	0,03	18,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	1,0-2,5	0,65-1,0	0,03	0,03	0,75

4.3.7 TIG kaynak yönteminde kullanılan kaynak parametreleri

Bu parametreler hem kaynak uygulamasına hem de elde edilen kaynak bağlantısının kalitesine ciddi seviyede tesir etmektedir. Metal veya metal alaşımları ile kaynak ilave metalinin kaynak türü, kaynak ağız türü, kaynak ağız ve parça geometrisi dikkate alınarak kaynak parametreleri belirlenmektedir. Makul parametrelerin tercihi ile kaynak bağlantısının talep edilen özelliklere sahip olması temin edilir. Kaynak parametreleri, uygulama öncesinde belirlenen, uygulama esnasında değiştirilemeyen ayrıca son olarak da birinci ve ikinci dereceden ayarlanabilir parametreler olmak kaydıyla üç kısımda incelenebilir. Kaynak öncesi belirlenen parametreler için elektrot türü ve çapının yanı sıra kaynak akımı türü da sayılabilir. Birinci derecede

ayarlanabilir parametreler; kaynak akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızıdır. İkinci dereceden ayarlanabilir parametreleri ise, elektrot serbest uzunluğu ve parçanın yatay düzlem ile olan meylidir. Üçüncü kısımda yer alan bu parametreler kaynak işlemi sırasında değiştirilebilen, kaynak dikişinin şekline tesir eden, ölçümleri güç olan parametreler olup, kaynak uygulaması sırasında elektrotun konumu, çalışma ve hareket açıları sayılabilir [56],[57].

4.3.7.1 TIG kaynak yönteminde erimeyen elektrot

Erimeyen elektrot çeşidi genellikle kaynak metalinin çeşidine göre belirlenir. Saf tungsten elektrotların akım taşıma kapasitelerinin düşük olmasının yanında, kaynak sırasında kirlenmeye ve kaynak dikişinde kalıntı bırakmaya eğilimlidirler. Alüminyum ve magnezyum alaşımlarında tercih edilirler. Toryum ile alaşımlı elektrotlar bilhassa yüksek akım kapasiteleri, kirlenmeye karşı dirençleri, arkın tutuşma kolaylığı, uzun ömürleri ve meydana gelen arkın dengeli olması sebebiyle istenirler. Zirkonyum alaşımlı elektrotlar ise alternatif akım ile daha üstün özelliklere haiz olduklarından alüminyum ve magnezyum alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılırlar.

TIG kaynağında uygulanacak akım türüne göre elektrotun çapı belirlenmektedir. Erimeyen elektrotun akım yüklenebilirliğini uygulanan akım türü, kutuplama, bileşim ve çap, elektrot serbest ucu ve tercih edilen koruyucu gaz tesir etmektedir. Önceden belirlenmiş bir akım şiddeti için doğru akım tercih edildiğinde elektrotun pozitif kutba bağlanması ısı yükü sebebiyle daha büyük çaplı elektrot gerektirmektedir. Kaynatılan malzemenin cinsi, akım türünün seçilmesinde en önemli etmendir.

Koruyucu gazın çeşidi ısı girdisini, kaynak dikişinin nüfuziyetini ve kaynak dikişinin maliyetini etkileyen önemli bir etmendir. TIG kaynağında genellikle argon gazı tercih edilir. Argon helyuma nazaran daha az nüfuziyeti ve daha düşük ısı girdisi temin etmektedir. Helyumun ısı iletkenliği yüksek olduğundan bilhassa kalın kesitli parçaların kaynağında tercih edilmektedir [56].

4.3.7.2 Birinci derecede ayarlanabilir parametreler

Kaynak akım şiddeti, kaynak dikişinin özelliklerinin belirlenmesinde en önemli etmendir. Her çaptaki elektrot belirli bir kaynak akım şiddeti aralığına sahiptir. Akım şiddetinin arttıkça kaynak dikişinin nüfuziyeti de artmaktadır. Bununla birlikte akım

şiddeti aşırı artarsa; sıçramalar artar, yanma olukları meydana gelir, uygun olmayan kaynak dikişi ve dikişte çatlaklar oluşur. Kaynak akım şiddetinin azalırca eriyen metal miktarına ve dolayısıyla nüfuziyetin de azalmasına sebebiyet vermektedir. Kaynak akım şiddeti, kaynak dikişinin biçimine göre en önemli etkenlerden biridir. Erimeyen elektrotun türü, tipi, çapı, akımın türü, kaynak pozisyonu, ağız biçimi, parçanın kalınlığı ve kaynak akım üreticinin gücü, akım şiddeti seçimini sınırlayan etmenlerdir. Kaynak akım şiddeti gerek dikişin nüfuziyetini gerekse de dikişin biçimini etkileyen temel etmenlerden biridir. kaynak dikiş nüfuziyetinin artışı akım şiddetinin artışı ile doğrudan etkilenir. Eğer akım şiddeti gereğinden fazla olursa, kaynak dikişinin düzgünlüğü bozularak yanma olukları meydana gelir.

Ark gerilimi, koruyucu gazın türü ve ark boyuna bağılı olarak değişmektedir. Manuel kaynak uygulamalarında kaynakçı tarafından ark boyu ayarlanır, otomatik kaynak uygulamalarında ise elektrot ucu ile iş parçası arasındaki mesafenin değiştirilmesi ile ark gerilimi ayarlanabilir. Kaynak hızı, kaynak dikişinin nüfuziyetine ve biçimine tesir eden önemli etmenlerden biridir. Kaynak hızının artması ile kaynak dikişinin genişliği azalır ve optimum bir değere kadar nüfuziyetin artmasına sebep olur. Aşırı hız, kaynak dikiş boyutlarının ve nüfuziyetinin azalmasına, kaynak şeklinin bozulmasına sebep olurken, kaynak hızının yavaş olması durumunda; kaynak dikiş boyutlarının aşırı artar ve dikiş üzerinde kaynak metalinin taşmasına sebep olur [56].

4.3.7.3 İkinci derecede ayarlanabilir parametreler

Kaynak dikişinin şekline tesir eden faktörlerden biri de elektrot açılarıdır. Hem kaynak dikişinin kalitesine tesir etmekte hem de dikişin düzgünlüğünün ve asimetrikliğinin bozulmasına sebep olmaktadır. Elektrotun iş parçası ile yaptığı açı kaynak dikiş biçimine tesir eden etmenlerden biridir. Otomatik TIG kaynağında çalışma açısı 0° iken el ile olanda bu açı 20° minvalindedir. El kaynağında hareket açısı 20° – 30° den 0° dereceye doğru nüfuziyet azalır. Açının arttıkça kaynak dikiş yüksekliği artar. Hareket açısı negatif olursa kaynak dikişinin nüfuziyeti azalır ve genişliği artar. Hareket açısı yalnızca otomatik kaynak yönteminde negatif seçilebilir. Uzun serbest uçları gerek köşe kaynağında gerekse de ‘V’ kaynak ağızı açılmış kalın kesitli parçaların kök pasolarında tercih edilir [56].

4.3.7.4 Kaynak işleminde enerji ve ısı

Kaynak dikişinin kalitesi, iyi bir ıslatma ve nüfuziyetin yanında düzgün bir kaynak profili ile belirlenir. Bahse konu niteliklerin yanında akım, gerilme, kaynak ilerleme hızı ve açısı ayrıca kaynak dikişinin de önemli şekilde tesiri mevcuttur. Tek pasolu kaynak dikişlerinde şiddetli türbülans oluşması sebebiyle, ana ve ilave metal birbirlerine iyice karışarak uniform yapı oluştururlar. Karışım bölgesini çevreleyerek uniform karışımına katılmadan katılmış ve yalnızca ana metalden ibaret bölgeye karışmamış bölge denir. Bahsedilen bölgenin kalınlığı; kaynak yöntemine ve soğuma hızına göre 0,05–2,5 mm arasında değişkenlik göstermektedir [56],[58],[59].

Enerji bölgesinin katılması çevresindeki ana metale ısı iletiminin sonucunda gerçekleşmektedir. Isı ergiyen bölgeden ana metale doğru hızlı bir şekilde akması sebebiyle, ana metale yakın olan bölgelerde fazla sayıda çekirdek meydana gelmektedir. Tek pasolu kaynak bağlantılarında dendritik taneler sıvı/katı faz sınırına dik bir şekilde kaynak banyosunun ortasına doğru büyümektedir.

Çeliklerin kaynağında ısı tesiri altında kalan bölgenin içyapısı tane büyüklüğü açısından dört farklı bölge oluşmaktadır. Bunlar iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen dönüşmeye uğramış bölge ve içyapı değişikliğine uğramış bölgedir [60], [56], [47].

İri taneli bölge, kaynak esnasında 1150°–1450°C kadar ısınan erime bölgesine bitişik yerdir. Bahse konu sıcaklık aralığında tanelerde büyüme gözlenir ve sıcaklığa paralel olarak tanelerin büyüme hızı artar. Metalin solüdis sıcaklığına yaklaştıkça büyüme oldukça hızlanır. İri taneli yapılar daha gevrek ve kırılğandır. İnce taneli bölgeler kaynak esnasında 900°–1150°C arasında uygulanır ve burada tane büyümesi olmamaktadır. [56],[61].

4.4 MIG Kaynağı

Fikir olarak 1920'lerde ortaya atılmış olmasına rağmen uygulama olarak ilk defa 1948 yılında ABD'de alüminyum ve alaşımlarında tercih edilmiştir. Ergiyen metal elektrot ve soy gaz kullanılması nedeniyle bu usule MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. CO₂ gibi aktif bir koruyucu gaz altında yapılan kaynak yöntemine de Metal Active Gas (MAG) yöntemi adı verilmiştir.

Endüstride kullanılan başlıca metal ve alaşımları her pozisyonda uygun elektrot ve koruyucu gaz seçimi ve kaynak parametreleri ile MIG yöntemi vasıtasıyla kolaylıkla kaynak yapılabilmektedir [28].

MIG kaynak yöntemi, kalın kesitli paslanmaz çelik saclar için bilinen ve uygulanan kaynak yöntemleri arasında en makul olanıdır. Zira, kaynaklı birleştirmelerde maliyetlerin düşürülmesi, yapım süresini kısaltılması ve kaynakçı faktörünün dikiş kalitesine olan etkisinin azaltılması amaçlı yarı otomatik olarak uygulanan gazaltı kaynak yöntemlerinin başında MIG kaynak yöntemi gelmektedir.

Paslanmaz çeliklerin neredeyse tamamı MIG yöntemi ile kolaylıkla kaynaklanabilirler. 303, 416, 416Se, 430 ve 430Se gibi yüksek miktarda kükürt ve selenyum içeren paslanmaz çelikler ile yüksek oranda karbon içeren 440 türü çeliğin kaynatılması ciddi seviyede güçtür. Paslanmaz çelikleri diğer çeliklerden ayıran başlıca özellik krom içeriklerinin çok yüksek (%12) olmasıdır. Çeliğin yüzeyini kaplayan refrakter krom oksit tabakası çeliği korozyondan ve paslanmaktan muhafaza eder. Östenitik, ferritik ve martenzitik olarak üç ana grupta toplanan paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan metalurjik olaylar, çeliğin soğuma hızı ve bileşimi ile ilgili olduğundan, kaynak yönteminin çeşidi bu konuda büyük bir tesirde bulunmaz. Paslanmaz çeliklerin diğer çeliklere nazaran ısıl iletkenliğinin düşük, ısıl genleşmenin fazla ve ergime sıcaklığının daha düşük olması nedeni ile MIG kaynağında, yumuşak çeliklerden daha düşük akım şiddeti ile uygulamaları yapılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında çeşitli ark türleri de tercih edilebilmektedir, bilhassa son zamanlarda distorsiyon ve çarpılmayı azaltması sebebiyle darbeli akım yöntemi çok geniş çapta uygulanmaktadır [47].

Paslanmaz çelikler, diğer çeliklere nazaran ısıyı iletme bakımından 4-7 kat daha fazla direnç göstermektedirler. Dolayısıyla normal çelik kaynaklarına göre %20-25 oranında daha az akım şiddeti uygulanır. MIG yöntemi, paslanmaz çelikler açısından en makul kaynak yöntemlerinden biridir [52].

Eğer kaynaklı imalat, kalın malzemelerden veya çok sayıda parçadan oluşan uzun bağlantılar ihtiva ediyorsa, dolu ya da metal özlü tellerle gerçekleştirilen MIG kaynağı usulü en makul seçim olacaktır.

Dolu veya metal özlü teller MIG kaynak usulünde yüksek metal yığma hızları temin etmelerine rağmen tel sürme donanımları, güç kaynakları ve bir soy gaz koruması ihtiyacını da beraberinde getirmeleri sebebiyle ek maliyet artışlarına sebebiyet verecektir. Bununla birlikte, pasolar arasında cüruf temizleme zorunlu değildir. Dolu ve metal özlü teller; geniş bir aralıkta metal yığma hızı ve ısı girdisi sağlayan kısa devre, küresel ve spreyc ark türleri ile birlikte tercih edilebilir. Bu sayede dolu ve metal özlü kaynak telleri çok çeşitli kalınlıklara sahip parçaların kaynağında tercih

edilebilmektedir [19].

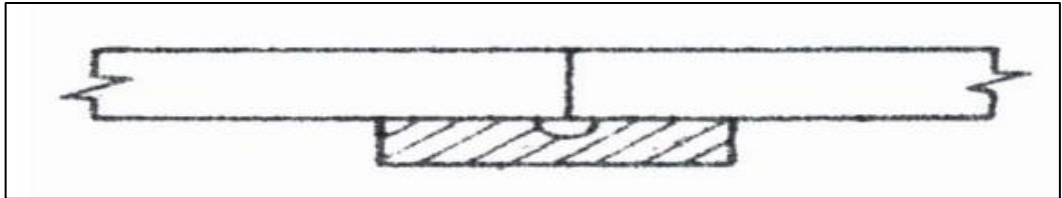
Uygulama durumuna göre püskürtme (sprey), kısa veya darbeli ark olarak kaynak edilirler. Paslanmaz çeliklerin tek ve çok pasolu yatay oluk pozisyonlarında spreyc ark tercih edilir. Spreyc ark uygulaması için kaynak makinesi 26-33 V arasında ve argon-% 1-2 oksijenle karıştırılmış karışım gaz kullanılır. Bilhassa daha düşük ısı girdisi talep edilen ince sacların ve kök pasoların kaynağında kısa ve darbeli ark tercih edilir. Bu ark türü için kaynak makinesinin voltajı 18-24 V arasında ve % 90 helyum-% 7,5 argon - %2,5 karbondioksit karışımı gaz tercih edilir [52].



Şekil 4.9 : MIG Yöntemi ile Paslanmaz Çelik Bir Parçanın Kaynağı [52]

Paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında parçaların altına bakır bir altlık konulması tavsiye edilmektedir. Soğuma sırasında kaynak bölgesine arka taraftan havanın içinde bulunan oksijen ve azotun zarar vermemesi amaçlı lazım gelen tedbirler alınır.

Kaynak sonrasında kaynak dikişinin iki tarafında atıklar ve renk değişimi oluşur ve bunlar kimyasal ve mekaniksel temizleme yöntemleri ile ortadan kaldırılır [52].

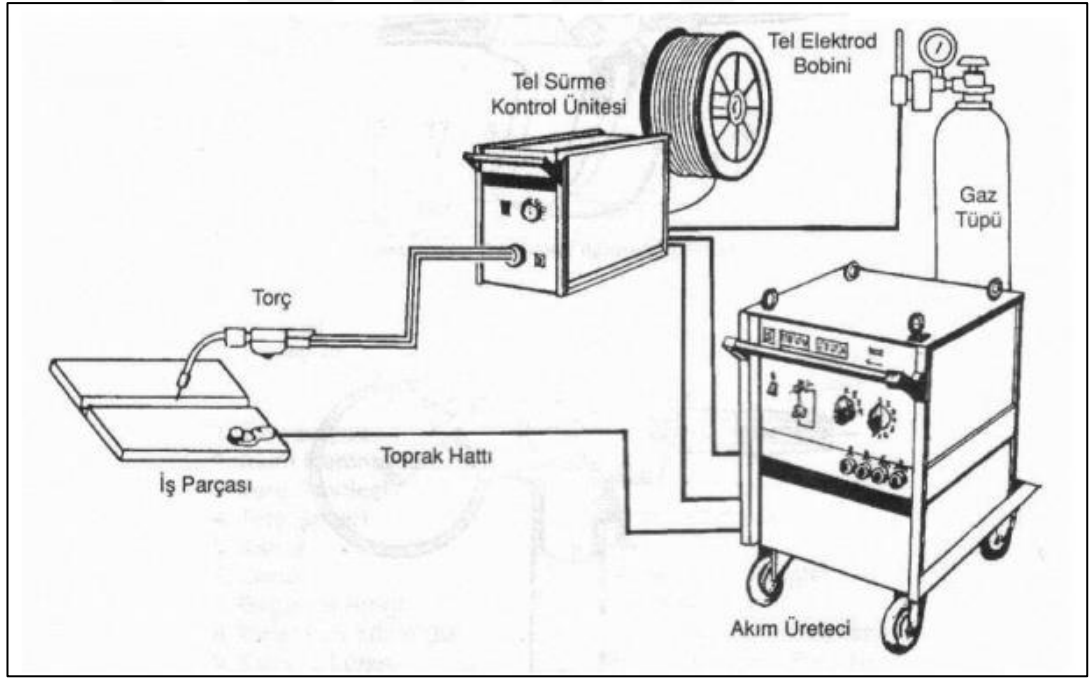


Şekil 4.10 : MIG Yönteminde Parçaların Altına Konulan Altlık [52]

4.4.1 MIG kaynak donanımı

Diğerlerine benzer şekilde MIG kaynağı yönteminde de uygulama için özel bir kaynak donanımına gereksinim söz konusudur ve aşağıdaki gibidir:

- ◆ Kaynak torcu
- ◆ Torç bağlantı paketi
- ◆ Tel (elektrot) sürme tertibatı
- ◆ Kumanda ve kontrol ünitesi
- ◆ Kaynak akım üretici
- ◆ Koruyucu gaz tedarik donanımı
- ◆ Sulu soğutma sistemi
- ◆ Mekanize ve otomatik kaynak için yardımcı donanımlar [47].



Şekil 4.11 : MIG Kaynak Prosesinin Donanımı [47]

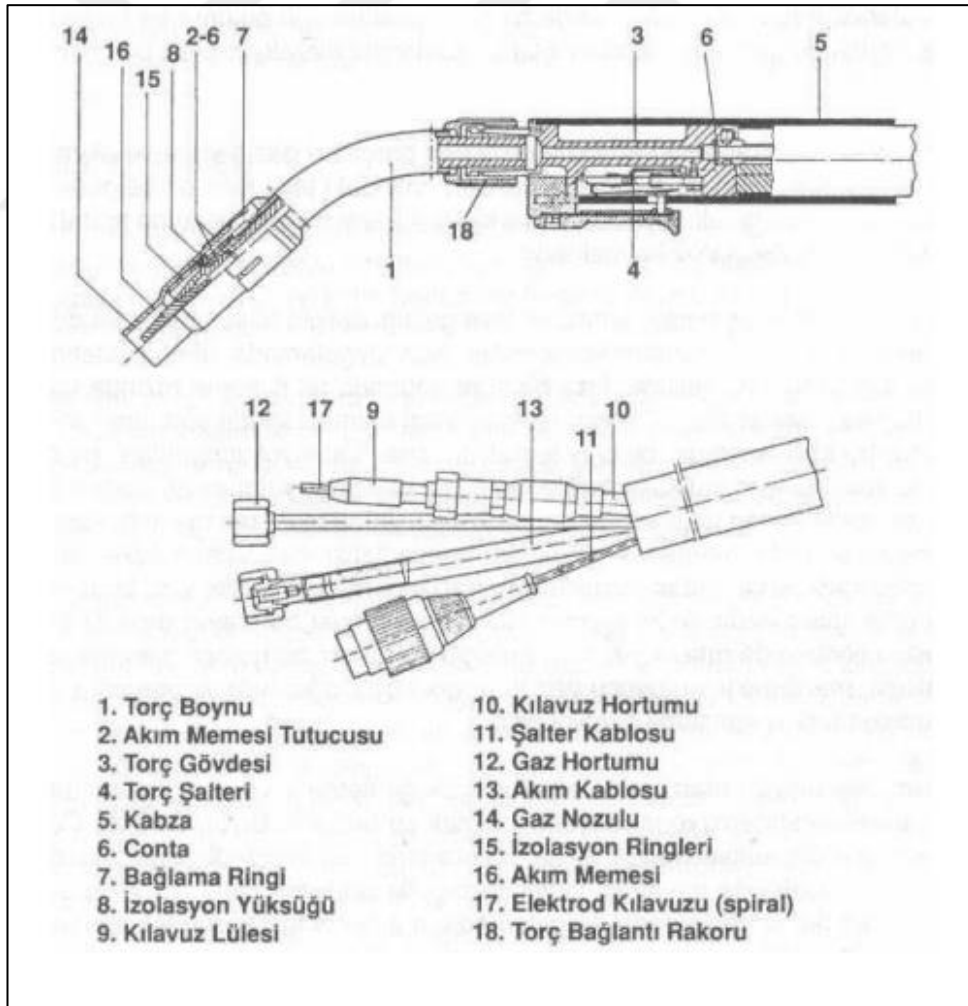
MIG kaynağında torcun görevleri; tel elektrota akımın yüklenmesi, kaynak bölgesine iletilmesi ve ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesidir. Gerek tercih edilen akım şiddetine gerekse de yöntemin otomatik veya yarı-otomatik olma durumuna göre çeşitli büyüklükler ve türlerde torçlar bulunmaktadır.

MIG kaynağında tel elektrot, sürekli şekilde ilerlediği için tele elektrik iletimi kayar bir temas elemanı ile temin edilmektedir. Tel torçtan ayrılmadan biraz önce bakır esaslı

bir akım memesi içerisinde geçerek kaynak akımı ile yüklenir; bu akım memesine konsantrik olarak, torcun ağız bölgesinde bir gaz lülesi (nozulu) bulunur ve bu nozul vasıtasıyla, koruyucu gaz akımı laminer olarak kaynak bölgesine sevk edilir.

Kaynak uygulaması esnasında nozul ve memeye yapışan, sıçramış olan metal damlacıkları, koruyucu gazın laminer akımın bozarak kaynak bölgesinin iyi korunamamasına sebebiyet verir. Sıçrama aşırı olursa, yapışan metal damlacıkları akım memesi ile gaz nozulu arasında köprü oluşturur ve gaz nozulu ile iş parçası arasında ikinci bir arkın oluşmasına sebebiyet verir. Böylece hem iş parçası hem de torç zarar görür. Bu nedenle kaynak esnasında sıçramanın fazla olduğu hallerde torç sıklıkla kontrol edilip temizlenmelidir.

Torç, kaynak makinasının içerisinde tel elektrot kılavuzunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve lazım gelen durumlarda soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını birlikte tutan metal spiral takviyeli torç bağlantı paketi isimli kalın bir hortumla bağlanmıştır [47].



Şekil 4.12 : Torç Bağlantı Paketi ve Kesiti [47]

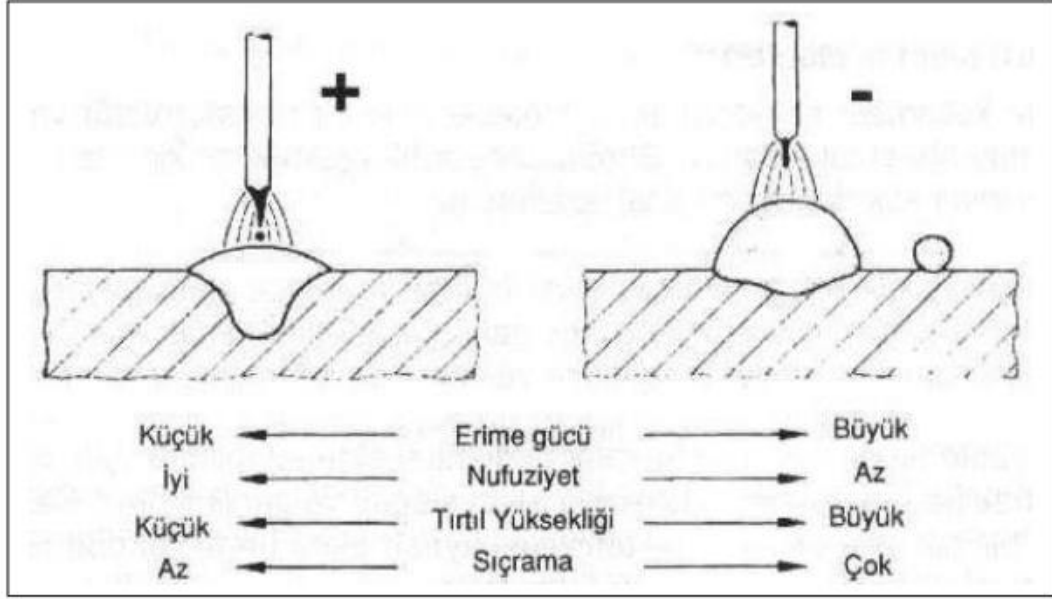
Tel sürme tertibatı, teli makaradan sağıp, ergiyen tel miktarını karşılayacak bir hızla ark bölgesine sevk eden bir mekanizmadır. Hız ayarı kademesiz bir mekanik tertibat veya gerilimin değiştirilmesi ile hız ayarı yapan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir. [47].

MIG yönteminde genelde ince tel elektrot tercih edildiğinden bu kumanda sistemi yavaş kalarak iyi sonuç vermemektedir. Sabit gerilimli diye adlandırılan yatay karakteristikli akım üreteçlerinde ark boyunun az bir miktar değişmesine karşın akım şiddetinde yani ergime gücünde değişim çok daha şiddetlidir. Bu tür akım üreteçlerinde iç ayar diye isimlendirilen ve hiçbir ek donanım gerektirmeden kendinden oluşan bir ark boyu ayarı vardır. Ark gerilimi ve tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Bu tür makinalarda tel ilerleme motoru, seçilmiş sabit bir devirde döner, tel hızı sabittir.

MIG kaynağında genellikle doğru akım ve yatay karakteristikli akım üreteçleri tercih edilir. Doğru akım tercihi halinde elektrot pozitif veya negatif kutba bağlanır. Çeliklerin kaynağında, çok daha derin nüfuziyet sağladığından genellikle pozitif (ters kutuplama) tercih edilir [47].

Paslanmaz çeliklerin doldurma ve iç köşe kaynaklarında, elektrot negatif kutba bağlanır [19].

Östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kısa ark, darbeli ark kullanılarak da yapılabilir. Bu ark türleri, düşük akım şiddetlerinde ve 18-24 Volt arasındaki ark gerilimlerinde oluşur. Bu ark türü ile 0,25 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik saçların kaynağında bile uygulanabilmektedir. Bu tekniklerde ısı girdisi sprey ark haline karşın daha düşük olduğundan çarpılmaları en az seviyede kalmaktadır [48].



Şekil 4.13 : MIG Kaynak Prosesinde Kutuplamamın Tesiri [47]

4.4.2 MIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar

MIG kaynağında aktif ve soy gazlar veya bunların çeşitli oranlarındaki karışımları tercih edilir. Genellikle soy gazlar, diğer elementler ile reaksiyona girmedikleri için demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve soy gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında tercih edilmektedirler.

Tüm gazaltı kaynak yöntemlerindeki gibi benzer şekilde MIG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekmektedir. Koruyucu gaz, ergimiş kaynak banyosu içerisindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini önlemek, azot ve hidrojen benzeri diğer zararlı gazların kaynak metaline sıvı kaynak banyosunda çözünerek girmesini engellemek görevini yerine getirir. Ergimiş halde neredeyse tüm metaller havadan oksijen ve azot absorbe ederler ve ergimiş metalde çözünen bu gazlar katılaştıkça kaynak metalindeki elementler ile birleşir ve yeni bileşikler meydana getirirler; bu durum kaynak metalinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler, gözenek oluşumuna ve gevrekleşmeye sebebiyet verir [47].

Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli etmenlerin göz önünde bulundurulması gereklidir.

- ◆ Kaynaklanan metal veya alaşımın çeşidi,
- ◆ Ark özelliği ve metalin damla geçiş şekli,
- ◆ Kaynak sürati,

- ◆ Parça kalınlığı, gerekli nüfuziyet ve kaynak dikişinin şekli,
- ◆ Kaynak banyosunda meydana gelen oksitlerin temizlenmesi,
- ◆ Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti [47].

Çizelge 4.4 : EN 439' a Göre Gazların Özellikleri [47]

Gaz tipi	Havadaki içerik (%hacim)	1.013 bar'da kaynama noktası (°C)	Atomik ağırlık ve ortalama molekül ağırlığı	15 °C ve 1 bar'da yoğunluk (kg/m ³)	15 °C ve 1 bar'da havaya (-1) göre bağıl yoğunluk	Ayrılma ve iyonizasyon enerjisi (eV) ^c	Kimyasal davranış
Hidrojen (H ₂)	0.5x10 ^{-6a}	-252.9	2.016	0.085	0.06	4.48 13.59 -	İndirgeyici
Argon (Ar)	0.934	-185.9	39.948	1.669	1.38	- 15.76 27.50	İnert
Helyum (He)	5.2x10 ^{-6a}	-268.9	4.002	0.167	0.14	- 24.56 54.10	İnert
Azot (N ₂)	78.084	-195.8	28.013	1.170	0.91	9.76 14.55 29.60	Reaktif
Karbondioksit (CO ₂)	0.033 ^a	-78.5 ^b	44.011	1.849	1.44		Oksitleyici
Oksijen (O ₂)	20.946	-183.0	31.998	1.337	1.04	5.08 13.62 35.20	Oksitleyici

Östenitik paslanmaz çeliklerde genellikle Ar-O₂ veya CO₂ gibi oksitleyici bileşen içeren karışım koruyucu gazlar tercih edilir. Argona, oksijen veya karbondioksit katılarak arkın dengelenmesi temin edilmektedir. Oksijen, karbondioksit' e göre 2-3 kat daha etkindir. Saf argon veya helyum ile bunların karışımlarının kullanılması sonucu kararsız bir ark meydana gelmektedir. Koruyucu asal gaza az bir miktar O₂ ve CO₂ eklendiğinde, iş parçasında arkın bulunduğu yere çok yakın noktalarda oksit tabakası meydana gelmektedir. Buna ek olarak O₂ ve CO₂ erimiş metal damlacıkları yüzey gerilimini düşürür ve sprej ark ile çalışılması durumunda arkın kararlılığı sağlanır. Bu karışım gazlarının kullanımı saf argon kullanılması ile karşılaştırılma durumunda esas metalin ıslatma özelliğinin de oldukça geliştiği gözlenmektedir [49], [13], [47].

Paslanmaz çeliklerin kaynak uygulamalarında genellikle Argon-%1-2 oksijen karışımlı gaz tercih edilirken ayrıca % 90 Helyum- % 7,5 Argon - % 2,5 Karbondioksit karışımı gaz kısa ark eldesinde tercih edilir. Argona helyum gazı ilave edilmesiyle kaynak dikişinin nüfuziyetinde artış meydana gelir.

Dolgu tellerinin kullanılması halinde karışım gazların içeriğinde %1 O₂ ve %2-4 CO₂ mevcut olabilir. Oksijen miktarı %1'den, karbondioksit miktarı %2'den az olduğu durumlarda tesirleri arkın dengelenmesinde yetersiz kalmaktadır. Oksijen miktarı %2'den, karbondioksit miktarı %4' ten fazla olduğu durumlarda banyonun oksitlenmesi şiddetlenir. Özellikle çok yüksek nikel alaşımlı östenitik veya nikel alaşımlarında saf argon kullanılması tavsiye edilmektedir [47],[50].

Östenitik paslanmaz çeliklerin özlü teller ile kaynağında birçok özlü tel ile %20- 100 CO₂ içeren gazlar tercih edilir. %20'den az CO₂ içeren gazlar kullanılması halinde arzu edilen ark kararlılığı sağlanamaz [52].

Argona göre daha yüksek ısı iletkenliğe ve daha düşük yoğunluğa sahip olan helyum MIG kaynak yönteminde tercih edildiğinde, belirli bir kaynak akımı ve ark boyu için daha yüksek bir ark gerilimi temin edilmektedir. Böylece sabit kaynak hızında daha fazla ısı girdisi gerçekleşmektedir. Argon + helyum karışımları daha iyi olduğundan, argona helyum eklenmesi sonucu nüfuziyet artışı görülmektedir. Argon ark içinde metal alaşım kararlılığına tesiri olmaktadır. Paslanmaz çeliklerin kaynak uygulamalarında, ilave metal tercihinde metal alaşım çeşidi koruyucu gaz seçimi ile alaşım elementleri dikkate alınması lazım gelmektedir. Tel seçiminde kaynak-metal bileşimi esas metal ile uyum göstermesine göre yapılmaktadır. Böylece kaynak metalinin içeriği ∇ -ferrit miktarı önceden anlaşılabilir [1].

4.4.3 MIG kaynağında kullanılan tel elektrotlar

MIG kaynak uygulamalarında en önemli problemlerden bir tanesi de tel elektrotun seçimidir. Tel ve koruyucu gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşim, gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır, bu bakımdan elektrot seçiminde aşağıdaki etmenler göz önüne alınmalıdır.

- ◆ Esas metalin kimyasal bileşimi
- ◆ Esas metalin mekanik özellikleri
- ◆ Koruyucu gazın türü
- ◆ Esas metalin kalınlığı ve geometrisi
- ◆ Çalışma ortamının şartları

Elektrot seçimi yapılırken genelde esas metalin akma ve çekme mukavemeti bazı durumlarda da tokluğu göz önünde bulundurulur. Esas metalin kimyasal bileşiminin

bilinmesi, özellikle renk uyumunun, elektriksel ve ısı iletkenliğinin, korozyon direncinin, sürünme direncinin söz konusu olduğu durumlarda gereklidir. Ayrıca çeliklerde ısıdan etkilenmiş bölgede, sertleşme oluşup oluşmayacağıının önceden bilinmesi bakımından da önemlidir. Kaynakla birleştirilecek parçaların, kalın kesitli veya karışık şekilli olmaları durumunda, çatlamanın önüne geçişmesi için en iyi sünekliliği sağlayan kaynak metalini oluşturacak türde bir elektrot tercih edilmelidir [6].

4.4.4 MIG kaynağının avantajları ve dezavantajları

Paslanmaz çeliklerin MIG yöntemiyle kaynaklanması, büyük ayrıcalık sağlar. Çünkü erimiş metal ile hava arasındaki reaksiyonlar nedeniyle, kayıplar engellenmektedir [19]. Bu üstünlükler aşağıdaki gibidir:

- ◆ Tüm metal ve alaşımlara aynı şekilde uygulanabilen tek kaynak yöntemidir.
- ◆ Kaynak her pozisyonda rahatlıkla uygulanabilmektedir. Ayrıca az miktarda sıçrama meydana gelmesi ve cüruf oluşmaması kaynak sonrası temizleme işlemlerini basitleştirmektedir.
- ◆ Kaynak telinin kaynak bölgesine sürekli olarak sürülmesi, elektrot değişimi için duraklamaları ortadan kaldırmakta ve çok uzun kaynak dikişleri ara vermeden gerçekleştirilebilmektedir.
- ◆ Yarı otomatik çalışma esnasında kaynak operatörü sadece torç açılara dikkat etmek ve ilerleme hızını ayarlamakla mesuldür. Kaynak donanımının ayarı kolaydır ve tüm kontroller bizzat donanım tarafından yapılabilmektedir. Operatörün özel ve uzun süren bir eğitimden geçmesine lüzum yoktur. Elektrot telinin otomatik olarak sistem tarafından kaynak bölgesine sürülmesi ve daha yüksek akım yoğunluklarında uygulanması hem kaynak hızının artmasına hem de birim zamanda yığılan kaynak metal miktarının diğer yöntemlere nazaran çok fazla olmasına imkân vermektedir.
- ◆ Sprey ark ile metal taşınımı durumunda daha derin dikiş nüfuziyeti temin edilir ve daha az kaynak metal harcanır, esas metal ile eş mukavemetli iç köşe kaynak bağlantıları elde edilir.
- ◆ Örtülü elektrotlarda koçan kaybı, örtünün yanma ve sıçrama kaybı %45'i bulmaktadır. Yani 1 kg örtülü elektrot 0,56 kg kaynak metal vermekte buna karşın 1 kg tel elektrot ile 0,95 kg kaynak metal sağlanmaktadır.

Bu üstünlüklerin yanı sıra MIG yönteminin uygulama alanlarını sınırlayan birtakım olumsuz özellikleri de mevcuttur:

- ◆ Kaynak donanımı daha karışık bir yapıda olduğu için daha pahalıdır ve daha etkin bir bakım gerektirmektedir.
- ◆ Kaynak bölgesi torcun ucundaki gaz nozulundan çıkan koruyucu gaz tarafından korunmaktadır, bu gaz akımı ortamın rüzgârlı olması halinde gerekli korumayı yapamaz ve bu da usulün şantiyelerde ve açık havada yapılan işlerde uygulanmasını kısıtlar.
- ◆ MIG yönteminde torç, diğer yöntemlere nazaran daha büyüktür ve de daha az esnektir haliyle dar ve zor erişilebilen yerlerin kaynağında zorluk göstermektedir [5].

4.5 Plazma Ark Kaynağı

Plazma kaynağı proses olarak Gaz Tungsten Ark Kaynağına (GTAW) benzemekle birlikte aralarındaki başlıca fark, ark plazmasının yüksek enerjili bir plazma akışı üretmek için bir nozul tarafından sıkıştırılması ve plazma içerisinde 10.000-20.000 °C arasında sıcaklıklar temin edilmesidir. Genelde, kaynak prosesleri sıkıştırılmış arkin elektrot ile iş parçası arasında oluşturulduğu ‘Transfer edilen ark’ düzenini kullanmakta iken, diğer uygulamalar daha ziyade ‘transfer edilmeyen’ sıkıştırılmış ark kullanmaktadır.

Plazma jeti son derece dardır ve bu sebeple kaynak banyosu için yeterli koruma temin edememektedir, dolayısıyla halka şekilli koruyucu gazın çapını genişletmek lazım gelmektedir [34].

Östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan plazma ark kaynağı hem yarı otomatik hem de otomatik olarak yapılabilmektedir. Yöntemin uygulanmasında ek kaynak teli kullanılarak uzun ve kaliteli dikişler temin edilebilir. İlave kaynak teli kullanılmadan da ince saclar halinde ağız hazırlanmadan alın birleştirmeleri yapılabilmektedir.

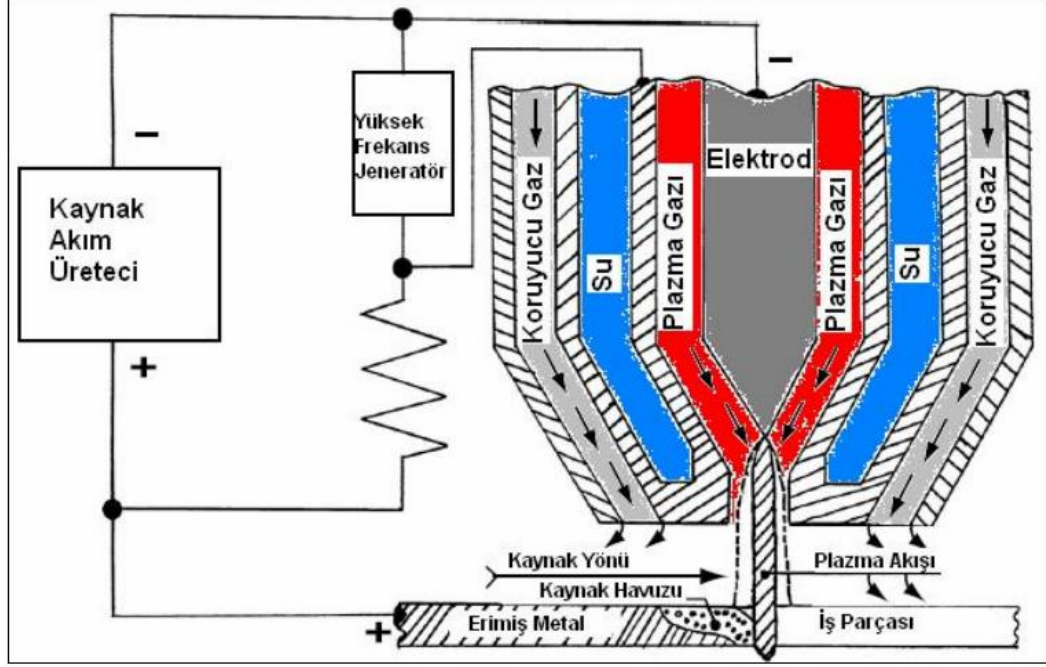
Tüm kaynak parametreleri çok iyi kontrol edildiğinde bu yöntem ile 10 mm kalınlığındaki paslanmaz çelikler kolaylıkla birleştirilebilmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin plazma ark kaynak uygulamalarında plazma gazı olarak argon veya helyum kullanılabildiği gibi %99,5 Ar + %0,5 O₂, %92,5 Ar + %7,5 H₂, %95 Ar + %5 H₂ karışım gazları anahtar deliği tekniğinde; %75 He + %25 Ar karışımı da eritme tekniğinde tercih edilmektedir.

Uygulanan tekniğe bağlı olarak kullanılan koruyucu gazlar ise, %75 He + %25 Ar, Ar + %1-5 H₂ anahtar deliği tekniğinde, Ar, He veya Ar + %1-5 H₂ eritme tekniğinde

tercih edilmektedir.

Kök gazı kullanımı genellikle talep edilir ve en çok tercih edilen kök gazları da Ar+H₂ karışım gazlarından seçilmektedir [53].



Şekil 4.14 : Plazma Ark Kaynağı Prosesi [34]

1 mm'ye kadar kalınlıklarda mikro plazma kaynağı tercih edilirken 10 mm'ye kadar saclarda I-dikişli, daha kalın levhalarda 5 mm kök alın yüksekliği ve Y-dikişli tercih edilir [10].

Kısaca yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir:

- Yüksek kaynak hızları
- Dar dikiş kalınlığı
- Dar ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge).
- Düşük ısı girdisi
- Düşük çarpılma

Kısaca yöntemin dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- TIG' a nazaran daha pahalı donanım
- Hassas kaynak ağzı hazırlama gerekliliği
- Tutma tertibatı (fiksür) ve nitelikli işçilik gerekliliği [10].

4.6 Tozaltı Kaynağı

Temel esaslarda bir elektrik ark kaynağıdır. Kaynak arkı, otomatik olarak kaynak yerine gelen çıplak bir elektrot ile iş parçası arasında oluşur. Aynı zamanda, kaynak yerine devamlı olarak bir toz dökülür ve ark bu tozun altında yanar. Bu sebepten bu yöntem tozaltı ark kaynağı olarak isimlendirilmiştir. 1933 yılında tanınmaya başlamış ve İkinci Dünya Savaşının akabinde gelişim göstererek endüstride önem kazanmıştır.

Tozaltı kaynağı otomatik ve yüksek güçlü bir kaynak usulüdür. Bir paso ile 85 mm, iki paso ile 180 mm ve çok paso ile 300 mm kalınlığa kadar parçaların kaynağı yapılabilmektedir. Kaynak yapılabilecek en ince sac ise, 1,2 mm kalınlığındadır [25]. Açık ark kaynak yöntemlerine nazaran, dolgu oranı ve ısı girdisi oldukça yüksek olan tozaltı kaynak yöntemi, östenitik paslanmaz çelik kalın sacların birleştirilmesinde tercih edilmektedir. Kaynak metalinin katılaşması, oluşan banyonun büyüklüğü sebebiyle çok yavaş gerçekleşmektedir. Dolayısıyla alaşım elementlerinin segregasyonu ve mikro yapıda tane irileşmesi gibi sıkıntılarla karşılaşmaktadır.

Bahse konu kaynak yönteminin en büyük dezavantajlarından birisi donanım maliyetinin yüksek olmasıdır. Yüksek ısı girdisi, yalnız oluk ve yatay pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi gibi sınırlamalar mevcuttur. Bununla birlikte oluşan bağlantılar yüksek mukavemetli, değişmeyen kalitede ve çok iyi dış görünüme sahip olmaktadır.

Toz altı kaynak yönteminin yapılması halinde, kaynak metalinin bileşimini ayarlamak MIG, TIG, plazma arkı ile kaynak veya elektron ışın kaynağına göre oldukça zor olmaktadır. Bu tür çeliklerin tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirmelerde kaynak metali, Si içeriği, diğer yöntemlerde meydana gelenden daha fazla olabildiğinden, sıcak çatlak veya mikro çatlakların oluşumuna meyillidir. Bu olay bazik tür tozların kullanımı ile engellenebilir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak uygulamalarında, bazı hallerde tozdan geçen alaşım elementleri, kaynak metalinin sıcak çatlama eğilimine ve korozyon direncine olumsuz tesir ettiğinden tel ve tozun bileşimlerine önemle dikkat edilmesi gerekmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin toz altı kaynak uygulamalarında doğru akım da alternatif akım da tercih edilebilmektedir. Doğru akım bilhassa ince sacların kaynağı için uygulanmakta ve akım şiddetinin aynı kalınlıktaki kaynak işlemindeki sade karbonlu çelik saçlara uygulanandan %20 daha düşük ayarlanması gerekmektedir. Dolgu oranı da bu tür çeliklerin yüksek elektrik dirençlerinden sebeple diğer

malzemelere oranla %20-30 daha düşük değerler elde edilmektedir [53].

Tozaltı kaynağı yöntemi genellikle 12 mm'den daha kalın olan ve çoğunluğunu östenitik tipteki paslanmaz çeliklerin oluşturduğu malzemelerin kaynak uygulamalarında tercih edilir. Bahse konu yöntem, kaynak metali içerisinde ferrit mevcudiyeti olasılığının olmadığı 310 ya da 330 kalite gibi östenitik tip paslanmaz çeliklerin kaynağında görölen sıcak çatlama probleminden kaçınmanın en makul yoludur.

Dolgu metalinin kimyasal analizi, kullanılan kaynak telinin analizi ile ilintilidir, bu sebeple toza katılan her bir alaşım elementi, krom oksidasyonu ve oluşan oksidin cürufa karışması, toz tercihi ve kaynak şartları dikkatle kontrol edilmelidir. Kaynak gerilimi, kaynak akımı ve kaynak hızındaki dalgalanmalar ise; eriyen toz miktarı, kaynak dolgusunun analizi ve ferrit içeriği üstünde tesirli olmaktadır [19].

Tozaltı ark kaynağında kullanılan teller içerilerindeki manganez miktarlarına göre sınıflandırılır:

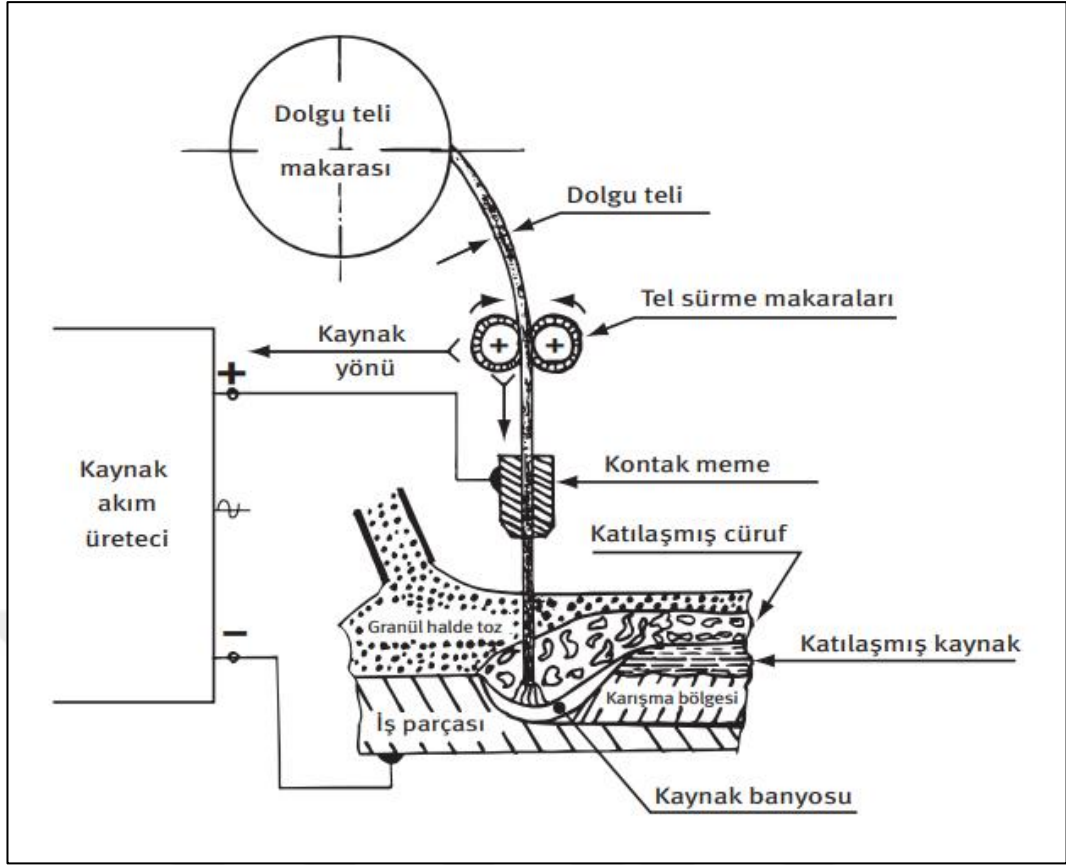
- Düşük manganezli %0,30-0,60 Mn
- Orta manganezli %0,90-1,25 Mn
- Yüksek manganezli %1,75-2,25 Mn

Bu teller genelde elektrik ark ocaklarında imal edilir. Kaynak yerinin emniyeti açısından, manganez miktarları yüksektir. Çapları 1,2 -12 mm arasında değişmektedir. Tozaltı kaynak tellerinin üzerlerinin tamamen düz ve pürüzsüz, yağ, pas ve pislikten arınmış olması elzemdir. Tellerin paslanmasını engellemek ve kaynak sırasında memeden tele akım geçişini kolaylaştırmak üzere, tozaltı kaynak tellerinin üzerleri bakır ile kaplanır [19].

Tozaltı kaynağındaki kaynak tozları, el ile yapılan ark kaynağındaki elektrot örtüsünün görevini yerine getirir. Bu görev fiziksel olarak:

- a-) Kaynak banyosunu havanın zararlı etkisinden muhafaza edilmesi,
- b-) Dikişe uygun bir biçim verme,
- c-) Dikişin yavaş soğumasının temin edilmesi, olarak sıralanabilir.

Kaynak tozu kaynak banyosuna ilâve ettiği elemanlarla metalurjik olarak yanma kaybını ortadan kaldırır ve dengeler [19].



Şekil 4.15 : Tozaltı Ark Kaynağının Prosesi [34]

4.7 Lazer Işın Kaynağı

Lazer etkisi; 1958 senesinde optik dalga boyu aralığı keşfinden sonra lazer ışını kaynak uygulamaları için bilhassa ufak alanlı temassız yüksek yoğunluklu güç kaynağı olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Her ne kadar karbon dioksit lazerleri kesintisiz güç seviyeleri olarak oldukça yüksekse de etkin kaynak gücünün verilen bir dalga boyu için iş parçası malzemesinin yansıtıcılığına bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Kaynak uygulamalarında genellikle CO₂ gaz lazerleri ve kati hal itriyum- alüminyum granat (YAG) lazerleri güç kaynakları olarak tercih edilirler. YAG lazerleri, ince paslanmaz çelik levhaların (<1,5 mm) kaynağı için darbeli modda tercih edilmektedir. CO₂ lazerleri olarak anılanlar ise, kalın paslanmaz çelik levhalar veya şeritler (1,5- 6.0 mm) için daha uygundur [34].

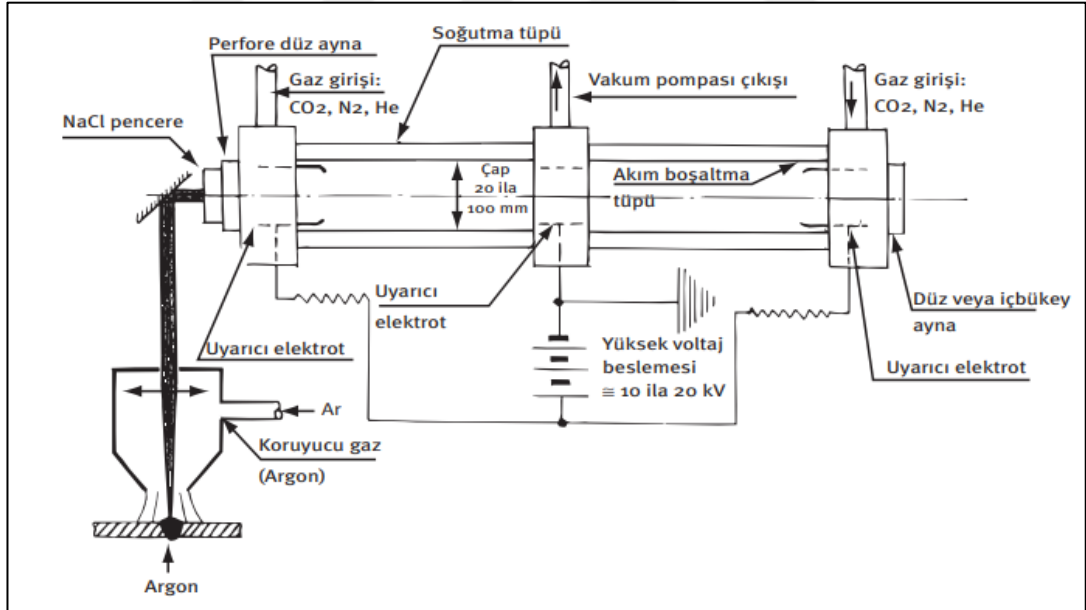
Lazer ışını ile kaynak yöntemi, yeni ve otomasyona uygun bir eğitime kaynağı yöntemi olarak dikkat çekmektedir. Odaklanmış ışın etkisiyle metal yerel olarak ergitilmektedir.

İlk tip lazerde ışın ayna yansımaları ile parça üzerine odaklanmaktadır. İkincisinde ışın bir cam elyaf yardımıyla kaynak noktasına iletiildiğinden bu ısının parça üzerine hareketi çok daha kolay olmakta ve örneğin robotlar yardımıyla 3 boyutlu bir proses yapılabilir. Elde edilen kaynak dikişleri çok dar olmakla birlikte, yüksek güçlü lazerlerin kullanımı ile 15 mm'ye kadar levha kalınlıklarının kaynakla birleştirilmesi olası ihtimaldir. Isı girdisi yerel olduğundan ısı hızla uzaklaşmaktadır. Bu kaynak yönteminin başlıca özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- ✓ Derinlik/genişlik oranı çok büyük olan dar kaynak dikişleri,
- ✓ Dar ITAB,
- ✓ Düşük ısıl çarpılma,
- ✓ İyi şekillendirilebilirliktir.

Günümüzde endüstriyel alanlarda iki çeşit lazer tercih edilmektedir:

- CO₂ lazeri 1 – 15 mm kalınlıklar için
- YAĞ lazeri 0,2 – 4 mm kalınlıklar için [21]



Şekil 4.16 : Kaynak için kullanılan CO₂ Lazerinin Prensibi [34]

4.8 Elektron Işın Kaynağı

Elektron kaynağı, yoğunluğu yüksek bir elektron demeti malzeme yüzeyine hızlı bir şekilde çarparak ısı oluşturur ve bu vasıtası ile uygulanan kaynak yönteminin kendisidir. Elektronların ivmelenmesi için elektron tabancası yüksek gerilim (10-150 kV) ve düşük akım değerlerinde çalışır (mili amper seviyesinde). Bu yöntemde aslolan güç değil güç yoğunluğudur. Elektronların malzeme üzerinde çok ufak bir noktaya odaklanması neticesinde, yüksek enerji yoğunluğu kazanılır. Güç yoğunluğu PD, aşağıdaki gibi izah edilir.

$$(4.1) PD = (f1 \cdot E \cdot I) / A$$

- PD: Güç Yoğunluğu (W/mm²)
- $f1$: Isı transferi faktörü
- E: İvmelendirme gerilimi (V)
- I: Akım (A)
- A: Malzemede elektron demeti tarafından odaklanılan alan (mm²)

Bu kaynak yönteminde üç farklı uygulama vardır.

1. Yüksek Vakumlu Elektron Kaynağı

- Kaynak, elektron demeti oluşturulan vakumlu ortamda gerçekleştirilir.

2. Orta Vakumlu Elektron Kaynağı

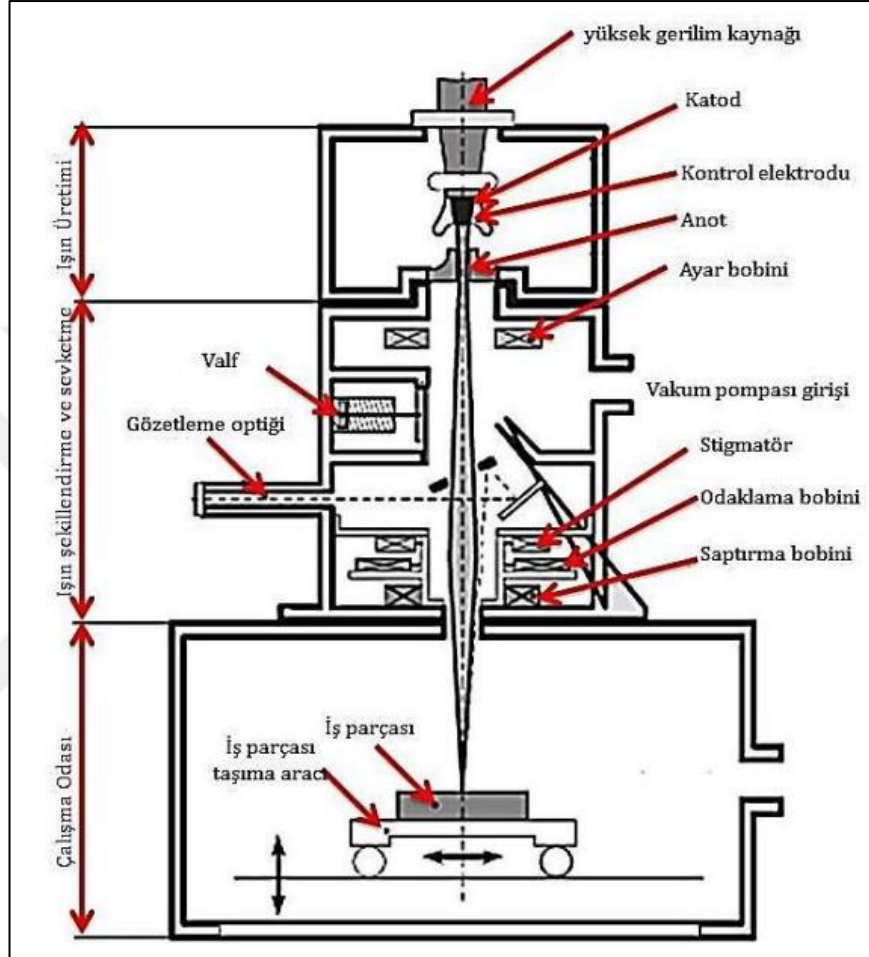
- Kaynak, yarı vakuma sahip başka bir odada gerçekleştirilir.

3. Vakumsuz Elektron Kaynağı

- Kaynak, atmosfer basıncı veya yakın bir basınçta gerçekleştirilir.

Elektron ışın kaynağı ile ark kaynağı tarafından kaynatılabilen tüm metallere ek olarak ark kaynağı uygulanamayan bazı metaller ve kaynağı çok zor olan metaller de kaynak edilebilirler. Kaynak işlemi yapılacak malzemeler ince folyolardan kalın levhalara çeşitlilik göstermektedir. Bahse konu yöntem en çok otomotiv, nükleer enerji sanayii, havacılık ve uzay sanayii gibi alanlarda tercih edilir. Yöntemin otomotivdeki kullanım alanları, alüminyum manifoldların, transmisyon parçalarının, çelik tork konvertörlerinin, katalitik konvertörlerin kaynakla birleşme işlemleridir. Elektron kaynaklarındaki kaynak kalitesinin yüksekliği, derin ve dar kaynaklar, çok dar ITAB ve düşük bir oranda ısıl genleşme gibi üstünlükleri dikkat çekmektedir. Bu yöntemdeki

kaynak hızları diğer kaynak yöntemlerine nazaran daha fazladır. Dolgu metaline, cürufa neden olacak toz veya koruma amaçlı gaza ihtiyaç yoktur. Bu kaynak yönteminin eksiklikleri arasında, yüksek maliyet, hassas ve zorlu kaynak hazırlığı ve vakum nedeni ile yaşanan zorluklar bulunmaktadır [54].



Şekil 4.17 : Prosesin Şematik Gösterimi [55]

4.9 Direnç Basınç Kaynağı

Bahse konu usulle, zahmetsiz ve tekrarlanabilir yüksek kaliteli birleştirmeler sağlanabilir. Östenitik paslanmaz çeliklerin elektrik ve ısı iletkenliğinin düşük olması sebebiyle, direnç kaynağı için diğer çeliklere göre daha makuldür. Isı girdisi daha az olduğundan yüzey kalitesinde önemli bir bozulma gözlenmez. Ancak ısıl genişmesi yüksek olduğundan çarpılma riski daha yüksektir.

Nokta ve makaralı dikiş kaynağında saçlar birbirinin üzerine bindirilerek birleştirilme işlemi yapılır. Burada kaynak edilmemiş bir aralık kaldığından, aralık korozyonu

tehlikesi olan yerlerde kullanılmaması makul olmalıdır. Kaynak esnasında oluşan tav renkleri daha sonra ortadan kaldırılabılır.

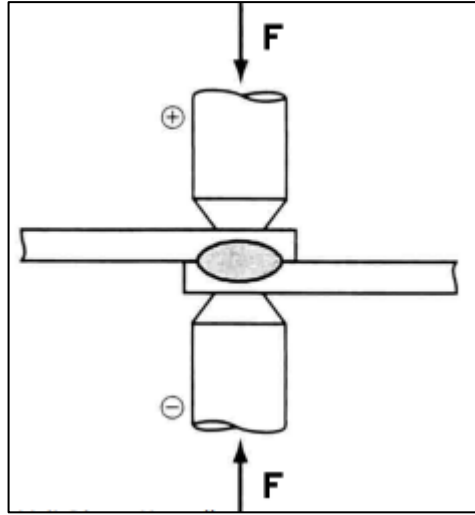
Birleştirilecek yüzeylerin temizlenmesi mühim olan bir konudur. Nokta kaynağında oluşan çekirdeğın büyüklüğü ve şekli, akım şiddeti, süre ve elektrot kuvvetine bağıdır. Süre arttıkça çekirdeğın kalınlığı ve çapında artış olur. Uygulamada kısa süreler tercih edilir. Elektrik direnci yüksek olan östenitik paslanmazlarda diğer çeliklere oranla daha düşük akımlar uygulanmaktadır. Çekirdeğın yüksekliğı sacların toplam kalınlığının yaklaşık %50'si olacak ve %80'i geçmeyecek şekilde akım şiddeti ayarlanır. Daha yüksek akımlar çekirdekte sıçrama ve boşluk oluşumuna sebebiyet verir. Alaşımsız çeliklerle kıyaslandığında, elektrot kapama basıncının 2 - 3 kat yüksek olması lazım gelmektedir. Bu baskı, akım kaldırıldıktan sonra, çekirdek katılaşana kadar sürdürülmelidir (ince saçlarda 0,5 saniye, 3 mm kalınlıkta yaklaşık 1 saniye).

Paslanmaz çeliklerin nokta kaynağında elektrot olarak 400°C sıcaklıkta sertliğı en az 70 HB olan bakır alaşımları (CuCrZr ve CuCrBe alaşımları gibi) tercih edilir. Elektrot uçları, ayarı kolay olduğundan genellikle yuvarlak olarak tercih edilir.

Makaralı dikiş kaynağı (sürekli veya kesintili hareketli) yuvarlak veya düz yüzeyli elektrotlarla uygulanabilir. Elektrot kuvveti sürekli uygulanır, akım kesintili olarak verilir.

Yakma alın kaynağında parçaların temas yüzeyleri birçok kez dokundurular ve ayrılır. Bu arada yüzeyler başlangıçta pürüzlü ise, yanma sayesinde düzlenmiş olur. Parçaların uçları birleştirme sıcaklığına ulaştığında, yüksek hızla birbirine bastırılır. Bu baskı basıncı uçların birleşmesini sağılar ve bu arada, oksitler ve bir miktar malzeme kaynak aralığında dışarı fişkırır. Tutma çenelerine uygulanan kuvvet, parçalar kayma olmayacak seviyede (yaklaşık yığma kuvvetinin 1,5 - 2 katı) yüksek olmalıdır.

Paslanmaz çelikler için alaşımsız çeliklere oranla daha düşük elektrik akımı, ancak daha yüksek yığma kuvvetleri tercih edilir. Bu sebeple tutma kuvvetleri de daha yüksek olarak tercih edilmelidir. En uygun değerlerin bulunması için ön denemeler yapılmalıdır [10].

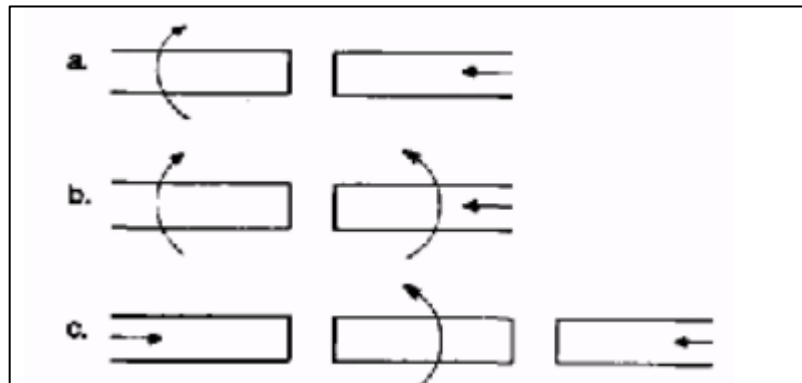


Şekil 4.18 : Elektrik Direnç Kaynağının Biçimsel Gösterimi [10]

4.10 Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağı, bir tür basınç kaynağıdır. Malzemenin eritilmeden; sürtünme ısısı ile plâstik deformasyona uğratılarak kaynaklandığı bir imalat yöntemidir. Sürtünme ısısının oluşması için, parçalardan en az birisinin hareket ettirilmesi gereklidir. Bu hareket dönme şeklinde olabileceği gibi, doğrusal da olabilir. Her iki hareket türünün oluşturulmasında; kaynaklanacak parçalardan biri veya her ikisi hareketli olabilir. Aşağıda hareket cinsleri görülmektedir.

- Basınç, sabit olan parça tarafında
- Basınç, dönen parça tarafında
- Basınç, dönen her iki parça tarafında [25]



Şekil 4.19 : Sürtünme Kaynağında, Parçaların Hareketlerinin Türleri [25]

a-) Parçalardan biri sabit, diğeri dönmektedir

- b-) Her iki parça ters yönde dönmektedir
- c-) Kaynaklanacak parçalar sabit olup, arada bir parça dönmektedir.
- d-) Parçalardan birisi küçük genlikti, alternatif hareket yapmaktadır.

[25].

4.11 Difüzyon Kaynağı

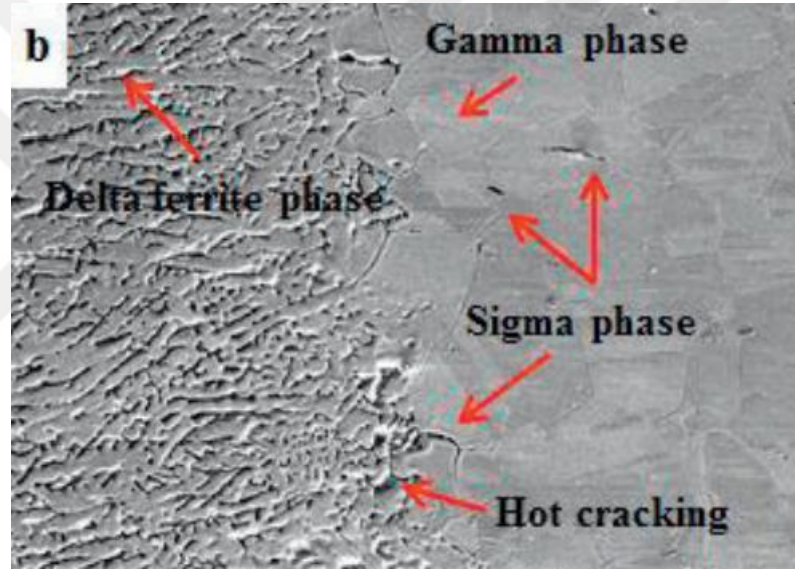
Bilhassa uzay ve nükleer enerji alanında bolca kullanılan bir kaynak yöntemidir. Prensi olarak çok eskiden beri bilinmiş olmasına rağmen, uygulanması ancak son yirmi beş yıl içerisinde gerçekleşmiştir.

Difüzyon kaynağı, birbirleri ile temasta olan yüzeyler arasında minimum makroskopik Şekil değişikliği ile belirli bir süre ısı ve basınç uygulayarak kontrollü difüzyonla oluşturulan katı hal (faz) kaynağıdır. Yani, difüzyon kaynağının birinci aşaması, birleştirilecek parçaların genelde bir vakum ortamında ısıtılması ve basma kuvvetinin uygulanmasıdır, ikinci aşamada ise metal atomlarının bir parçadan diğerine yayınması ve kuvvetli bir bağın meydana gelmesidir. Bazı durumlarda ince bir metal ara tabaka da kullanılmaktadır.

[25].

BÖLÜM 5. DENEYLER ve SONUÇLARI

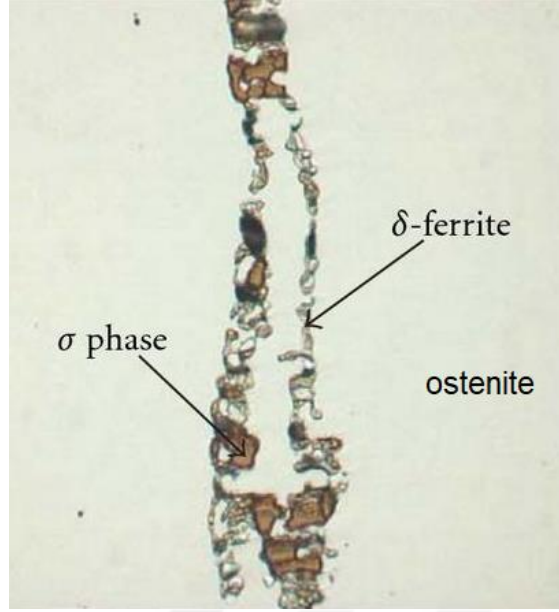
Bu çalışmada kullanılabilirlik açısından en çok tercih edilen bunun yanında yüksek korozyon direnci ve şekillendirme kabiliyeti bakımından tercih edilen östenitik paslanmaz çelik ailesi içindeki AISI 316 malzemeler kullanılmıştır. Deneyler öncesinde, literatür araştırması sırasında, östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak ile birleştirilmesinde başlıca üç çeşit problemin meydana gelebileceği sonucuna varılmıştır. Bunlar; ısının etkisi altında kalan bölgede (ITAB) "Krom Karbür" oluşması sonucu meydana gelen hassas yapı, kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu ve yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "Sigma Fazı" oluşumu şeklindedir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı sonrası mikro yapılarındaki olası problemler altta Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : 316 Paslanmaz çeliğin kaynağı sonrası olası problemler [Navid Moslemi, Norizah Redzuan, Norhayati Ahmad, Tang Nan Hor, Effect of Current on Characteristic for 316 Stainless Steel Welded Joint Including Microstructure and Mechanical Properties, Procedia CIRP, Volume 26, 2015, Pages 560-564,

DOI:10.1016/j.procir.2015.01.010.]

Özellikle, sigma fazı, ferrit yapısı içerisinde oluştuğu için, mikroskop incelemelerinde yüksek büyütmelerde ve ferrite nazaran daha koyu renkli olarak kendini göstermektedir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklanması sonrası, ITAB'ın mikroyapısı içerisinde oluşabilen fazların, yüksek büyütmede elde edilmiş mikroyapı resmi altta Şekil 5.2'de yer almaktadır.



Şekil 5.2: AISI 316 L ITAB bölgesinde oluşabilen fazlar [Chih-Chun Hsieh, Weite Wu, "Overview of Intermetallic Sigma (σ) Phase Precipitation in Stainless Steels", International Scholarly Research Notices, vol. 2012, Article ID 732471, 16 pages, 2012. <https://doi.org/10.5402/2012/732471>]

Bunlar ve benzeri problemlerin, kaynak akımı şiddeti ile alakasını ortaya koyabilmek için, TIG kaynak yöntemiyle, 3 farklı akım değerinde kaynak işlemlerinin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi altta Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

Çizelge 5.1 : AISI 316 malzemenin kimyasal bileşimi

Malzeme	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Ni	% Mo	% N
AISI 316	0,016	0,46	1,13	0,03	0,001	16,6	10,0	2,1	0,04

5.1 Kaynak İşlemleri

Toplamda 6 adet AISI 316 plaka, lazer ile kesilerek kaynak işlemine hazırlanmıştır. Numuneler Çizelge 5.2’te görüldüğü üzere TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve 3 kaynaklı plaka elde edilmiştir. Kaynak işlemleri her numune için sadece akım şiddeti değerleri farklı olmak üzere (150 A – 175 A – 200 A) üç pasolu alın kaynağı şeklinde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, her kaynak işlemi için çift taraflı kaynak ağızı açılmıştır. Daha sonra, punta kaynağıyla plakalar birbirine sabitlenmiştir. Yüzeylerin birbirleriyle iyi şekilde eşleşebilmesi için, az miktarda tel verilerek sulandırma işlemi yapılmıştır. Kaynak işlemleri için sırayla önce ön, sonra arka ve daha sonra tekrar ön tarafa paso atılmıştır. Kaynak işlemleri tamamlanan numunelerin daha sonra el taşı ve tel fırça yardımıyla temizliği gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.2 : Kaynak İşlemi Esnasında Uygulama Parametreleri

Kullanılan TIG Kaynak Makinesi	Gedik Kaynak Makinası
Kullanılan Akım	DC (Doğru Akım)
Koruyucu Gaz	Argon
Gaz Akış Debisi	15 l/dk
Elektrot Tipi / Çapı	Tungsten / 3,2 mm
Dolgu Teli Çapı	6,4 mm
Torç Kupası Çapı	12,7 mm



Şekil 5.3 : Kaynak İşleminin Yapılışı



Şekil 5.4 : Kaynak İşlemi Esnasında Sırasıyla 1-2-3. Paso



Şekil 5.5 : Kaynak İşlemi Esnasında Sırasıyla Ağız Açma ve Taşlama İşlemleri



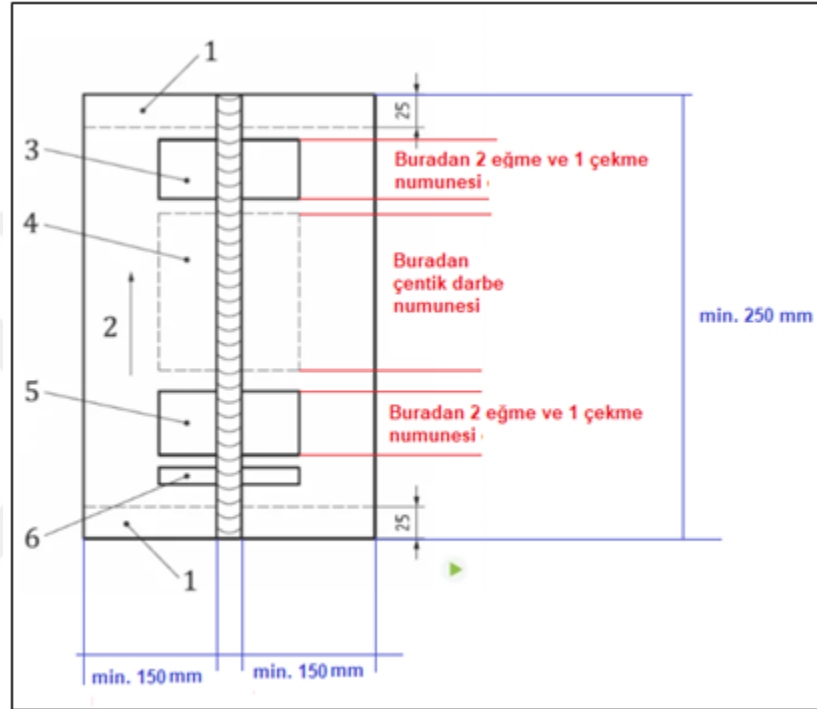
Şekil 5.6: Kaynak İşlemi Esnasında Sırasıyla Fırça İle Temizle, Sulama Öncesi ve Sonrası Durum

Kaynak işlemleri tamamlanmış olan plakaların daha sonra, TÜRKAK 17025 akreditasyonuna sahip olan bir laboratuvarında, mikroyapı incelemeleri, makroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri, eğme testleri, çekme testleri ve çentik darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar sonuçları ayrıca ekler kısmında yer almaktadır.

5.2 Numune Hazırlama İşlemleri

Kaynak işlemleri tamamlanmış olan plakalardan, üste söz edilen deneyleri gerçekleştirebilmek için standartlara uygun şekilde numuneler hazırlanmıştır. Buna göre her plakadan 2'şer adet çekme test numunesi, ikisi kök eğme ve ikisi de yüz eğme olmak üzere 4'er adet eğme numunesi, üç adet ITAB ve üç adet de kaynak bölgesinden

olmak üzere 6'şar adet Charpy çentik darbe numunesi ve son olarak 1'er adet de mikro yapı, makro yapı ve sertlik ölçümü için numune hazırlanmıştır. Lazer kesim ile hazırlanan test numunelerinin standartlara uygun şekilde plakalardan alınmasını gösteren şematik resim altta Şekil 5.6'da yer almaktadır. Buna göre 1 numara ile gösterilen bölgeler, değerlendirme dışı bırakılmış, 3 ve 5 numaralı bölgelerden eğme ve çekme test numuneleri, 4 numaralı bölgeden Charpy test numuneleri ve son olarak da 6 numaralı bölgeden de mikro, makro ve sertlik ölçüm numuneleri çıkartılmıştır.

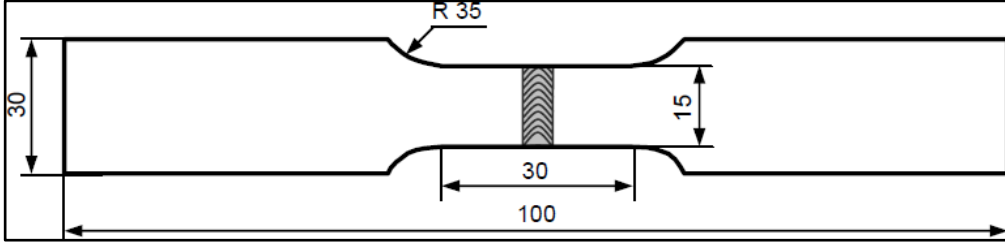


Şekil 5.7: Numune Çalışmasının Detayları

5.3 Çekme Testi

Numunelere uygulanan çekme testleri TS EN ISO 4136 doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Bu standart, bir alın kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımını ve kırılma yerini tespit etmek için yapılan enine çekme deneylerinde kullanılan deney numunelerinin ölçülerini ve deney prosedürünü içermektedir. Uygulama, kaynaklı bir birleştirmeden, enine olarak alınan bir deney numunesine, ortam sıcaklığında ($23 \pm 5^{\circ}\text{C}$) kopuncaya kadar artan bir çekme yükünün sürekli bir şekilde tatbik edilmesi şeklindedir. Standart, kaynak metali fazlalığının talaş kaldırma ile ortamdaki uzaklaştırılmasını ve ayrıca, test numunesinin plakadan çıkartılırken herhangi bir ısıl dönüşüme uğramaması şartını getirmektedir [64]. Standartta göre plakalardan çıkartılan çekme test numunelerinin boyutlarını gösteren şematik resim altta Şekil

5.8’de yer almaktadır.



Şekil 5.8: Standart Çekme Testi İçin Numune Ölçüleri [65]

Hazırlanan çekme numuneleri, oda sıcaklığında LFM-100/125 KN WALTER BAN marka cihaz ile 2 mm/dk ilerleme hızında teste tabi tutulmuştur. Test video ekstansometre ile de takip edilmiştir.

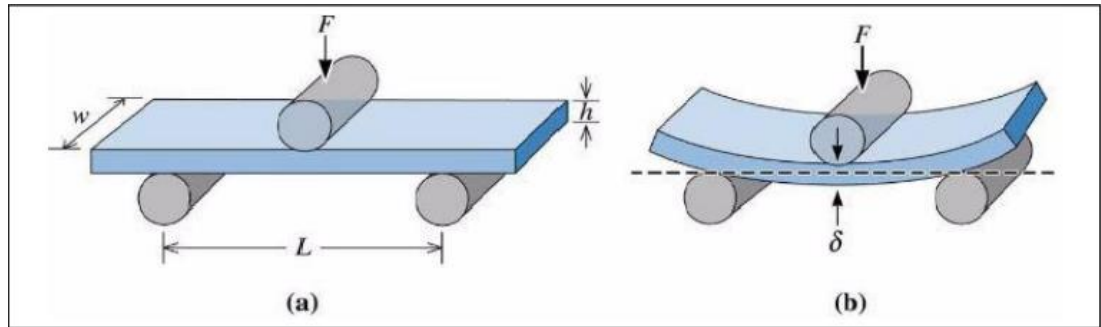
Her farklı akım değerine göre ikişer numunenin çekme testine tabi tutulması sonucu elde edilen veriler altta çizelge 5.3’ de yer almaktadır.

Çizelge 5.3 : Numunelerin Çekme Deneyi Test Sonuçları

Kaynak Akım Değeri (A)	Numune numarası	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Uzama (%)	Kopma bölgesi
150	150-1	375	273	16	Kaynak
	150-2	402	246	22	Kaynak
175	175-1	410	250	19	Kaynak
	175-2	384	249	18	Kaynak
200	200-1	357	248	14	Kaynak
	200-2	405	274	16	Kaynak

5.4 Eğme Testi (Üç Nokta)

Numunelere uygulanan eğme testleri TS EN ISO 5173 doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Bu deney, iki destek üzerine serbest olarak yerleştirilen daire veya dikdörtgen kesitli bir deney parçasının ortasına bir kuvvet uygulandığında meydana gelen şekil değişimini değerlendirmektedir. Eğme deneyinin yapılışını gösteren şematik resim altta Şekil 5.9’da yer almaktadır.

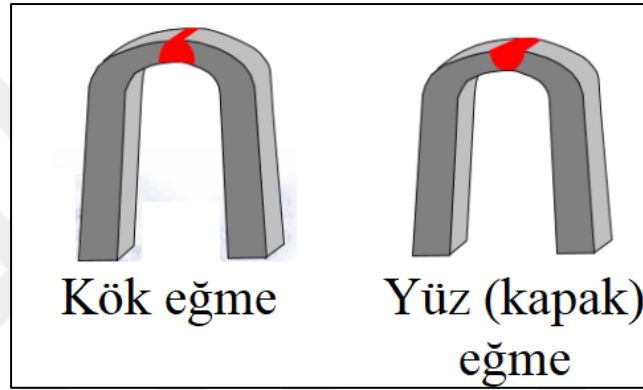


Şekil 5.9: Standart Eğme Testi İçin Uygulama Şekli[66]

Uygulanan kuvvetin etkisi ile deney parçası kesitinin bir kısmında basma gerilimi,

geri kalan kısmında da çekme gerilimi oluşmaktadır. Eğme işleminde prensip, numunelerin 90°'ye kadar katlanması, bu esnada da herhangi bir hasara uğramamasıdır [66].

Kaynakla birleştirilmiş malzemelerde, özellikle “V” kaynak dikişine sahip ise, hem kaynağın yüzünü hem de kökünü kontrol etmek için en az 2 adet eğme numunesi çıkartılması gerekmektedir. Bu sebeple her plakadan 2 adet yüz, 2 adet de kök eğme için 4'er numune hazırlanmıştır. Deney esnasında kaynaklı numunelerin kaynak dikişinin sabit alt çeneler arasındaki açıklığın tam ortasında olmasına ve uygulanan yükün sürekli olmasına dikkat edilmiştir. Yüz ve kök eğme deneyine ait şematik resim altta Şekil 5.10'da yer almaktadır.



Şekil 5.10: Kaynaklı malzemelerde yüz ve kök eğme deneyi (şematik)

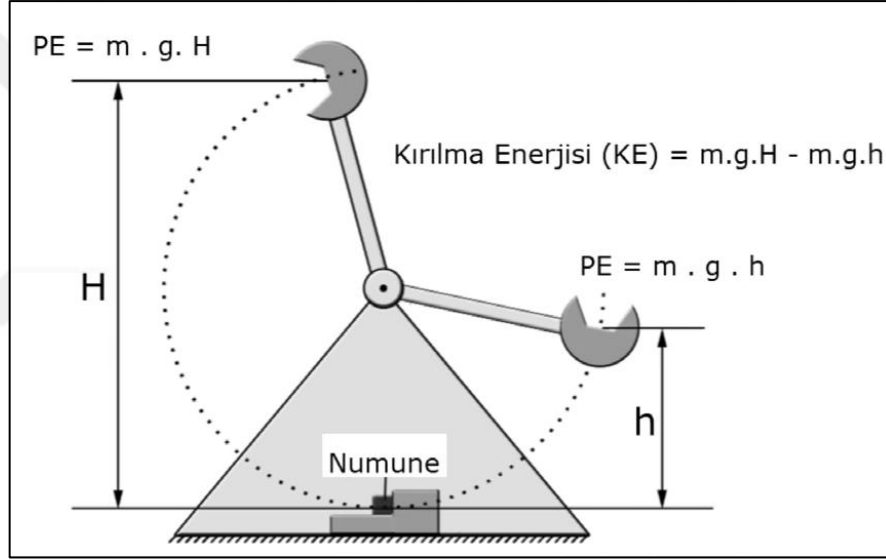
Eğme deneyleri tamamlanmış olan numunelere ait deney sonuçları alttaki çizelgedeki gibi verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Eğme Deneyi Test Sonuçları

Kaynak Akım Değeri (A)	Kaynak dikiş yönü	Numune no.	Eğme açısı	Sonuç
150	Yüzey	150-1Y	180°	Hasarsız
		150-2Y		Hasarsız
	Kök	150-1K		Hasarsız
		150-2K		Hasarsız
175	Yüzey	175-1Y		Hasarsız
		175-2Y		Hasarsız
	Kök	175-1K		Hasarsız
		175-2K		Hasarsız
200	Yüzey	200-1Y	Hasarlı	
		200-2Y	Hasarlı	
	Kök	200-1K	Hasarsız	
		200-2K	Hasarsız	

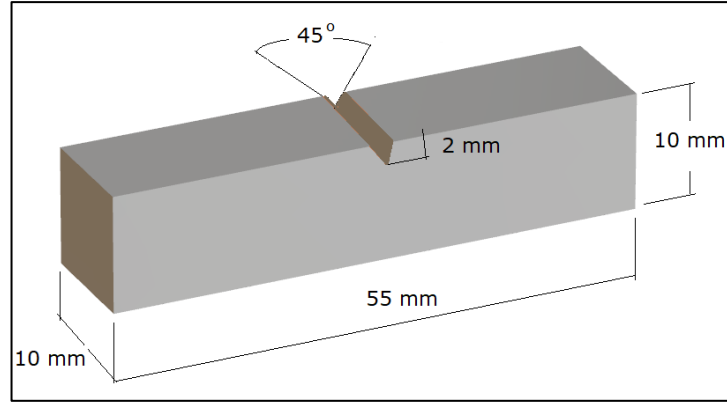
5.5 Charpy Çentik Darbe Testi

Kaynaklı malzemelerin kırılma enerjilerini belirlemek için gerçekleştirilen bu deney, TS EN ISO 9016 standardına göre gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda, malzemelerin sünek ve gevrek davranışlarını belirlemek için de gerçekleştirilen bir test yöntemidir. Malzemelerin kırılma enerjileri sıcaklık karşısında değişim göstermektedir. Kırılma enerjisi sıcaklık azaldıkça düşer. Kırılma enerjisinin farklı sıcaklıklarda yapılmasıyla malzemenin geçiş sıcaklığı belirlenir. Bu belirlenen değer malzemenin sünek kırılmadan gevrek kırılmaya geçiş olduğu sıcaklıktır. Bu nokta genellikle malzemede %50 gevrek %50 sünek kırılmanın olduğu noktadaki sıcaklık olarak tanımlanır [62]. Şekil 5.9’da Charpy çentik darbe testinin uygulama şekli şematik olarak yer almaktadır.



Şekil 5.11 : Standart Çentik Darbe Testi İçin Uygulama Şekli (şematik)

Burada amaç, darbe deneyini gerçekleştireceğimiz cihazın, kırma işini gerçekleştirdiği çekicinin deneyden önceki konumuna göre potansiyel enerji değeri ile deney sonrası yükseldiği maksimum konumundaki potansiyel enerji değeri arasındaki farkı bulmaktır. Bu fark ise, numunenin kırılma enerjisi olarak ifade edilmektedir. Deneyde kullanılan numunenin standarda uygun ölçüleri altta Şekil 12’de yer almaktadır.



Şekil 5.12: Standard Charpy çentik darbe numunesi (şematik)

Kaynaklı malzemelerin Charpy deneyinde ise, deneyin uygulanış şekli ve numunenin boyutu açısından herhangi bir değişiklik bulunmamakla birlikte, numunelerin, kaynaklı plakanın neresinden alınacağı önemlidir. Numunenin tam ortasında yer alan 45° açılı çentik sayesinde, kırılma her zaman bu kısımdan gerçekleşmektedir. Bu sebeple, çentiğin açıldığı yer büyük önem arz etmektedir. Kaynaklı malzemelerde, ITAB ve kaynak bölgesi gibi, mekanik özellikleri farklı olan bölgeler bulunması sebebiyle, bu bölgelerin ayrı ayrı kırılma enerjileri tespit edilmelidir. Bu sebeple, her bir plakanın ITAB ve kaynak dikişlerinden olmak üzere ayrı ayrı 3'er tane numunenin testleri gerçekleştirilmiş ve herbir bölgenin kendi ortalaması alınarak ayrı ayrı kırılma enerjileri bulunmuştur. Buna göre Charpy çentik darbe test sonuçları alttaki çizelgedeki gibi verilmiştir.

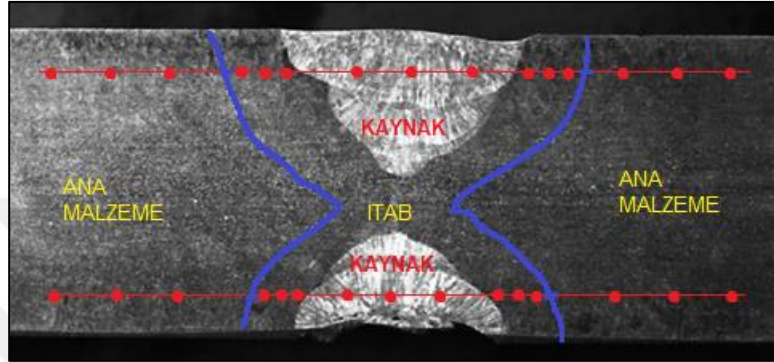
Çizelge 5.5 : Çentik Darbe Deneyi Test Sonuçları

Kaynak Akım Değeri (A)	Çentik açılan bölge	Ölçüm 1 (J)	Ölçüm 2 (J)	Ölçüm 3 (J)	Ortalama Kırılma Enerjisi (J)
150	ITAB	265,12	255,96	240,99	254,02
	Kaynak	235,87	236,9	240,26	237,68
175	ITAB	76,35	71,38	69,31	72,35
	Kaynak	49,3	47,4	50,53	49,08
200	ITAB	53,2	50,17	58,9	54,09
	Kaynak	46,85	50,88	41,09	46,27

”

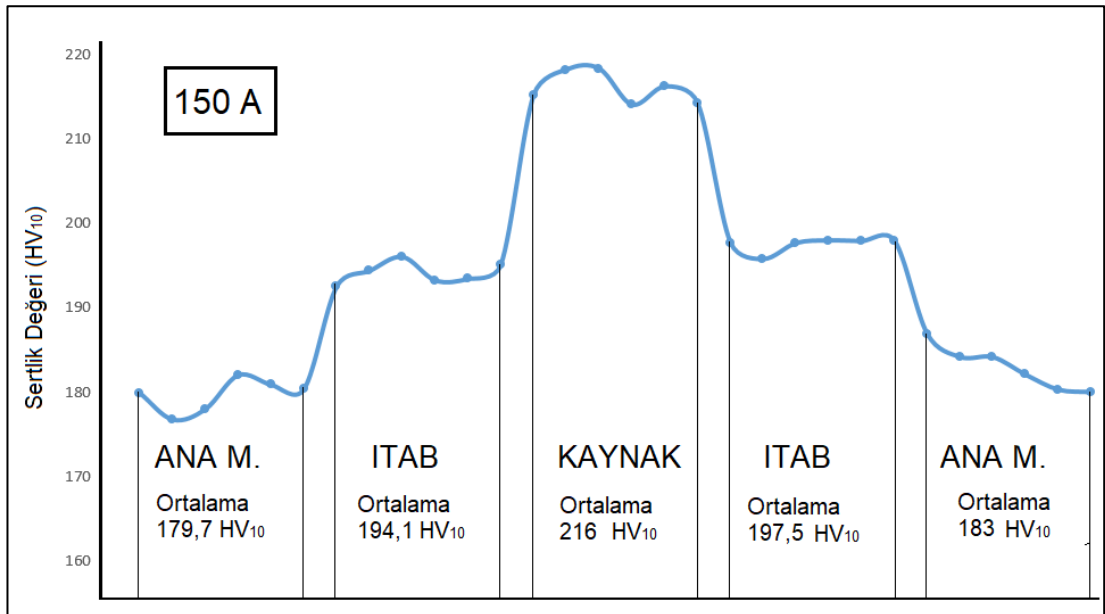
5.6 Sertlik Testi

Kaynaklı malzemelerin sertlik ölçümünde, TS EN ISO 9015-1 standardı kullanılmaktadır. Bu standart, Vickers sertlik ölçme yöntemiyle, birbirinden farklı mekanik özelliklere sahip her bölgenin ayrı ayrı sertliğini bulmayı öngörmektedir. Bu çalışmada da, numunelerin her birinin ana malzemesi, ITAB'ı ve kaynak dikişi sertlikleri ayrı ayrı ölçülmüştür. Sertlik ölçüm bölgelerini gösteren örnek resim altta Şekil 5.13'de yer almaktadır.

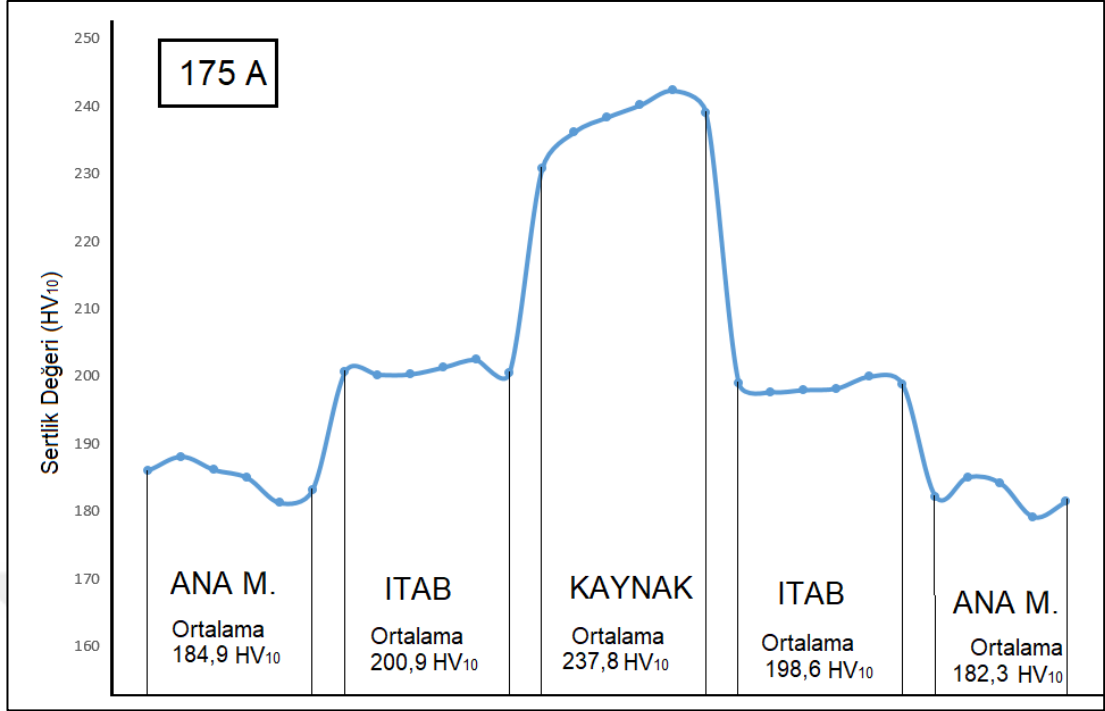


Şekil 5.13 : Kaynaklı malzemelerin sertlik ölçüm bölgeleri

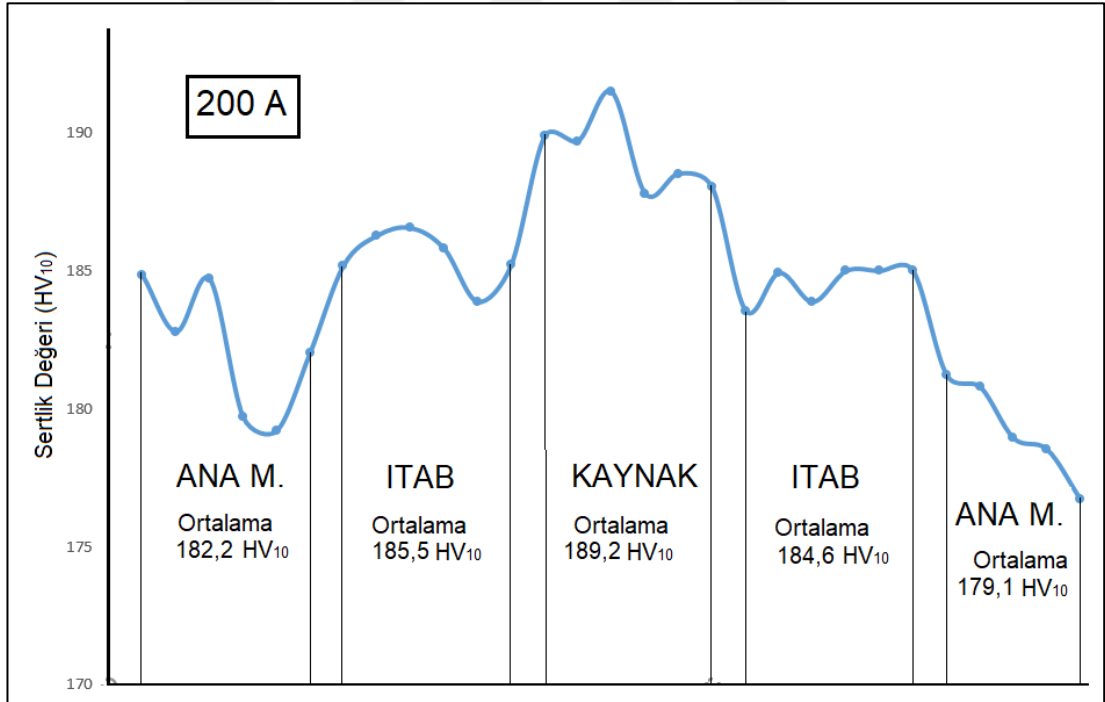
Şekilde de görüldüğü üzere, numunelerin altından ve üstünden 2'şer mm içeriye girerek toplamda ana malzemeden 12 ölçüm, ITAB'dan 12 ölçüm ve son olarak da kaynaktan 6 ölçüm alınmıştır. NEXUS 4300 INNOVATEST marka cihaz ile 10 kg'lık yük uygulanarak gerçekleştirilen sertlik ölçüm sonuçları altta Şekil X, Y ve Z'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.14 : 150 A akım değerinde kaynaklanmış malzemenin sertlik ölçümleri



Şekil 5.15 : 175 A akım değerinde kaynaklanmış malzemenin sertlik ölçümleri

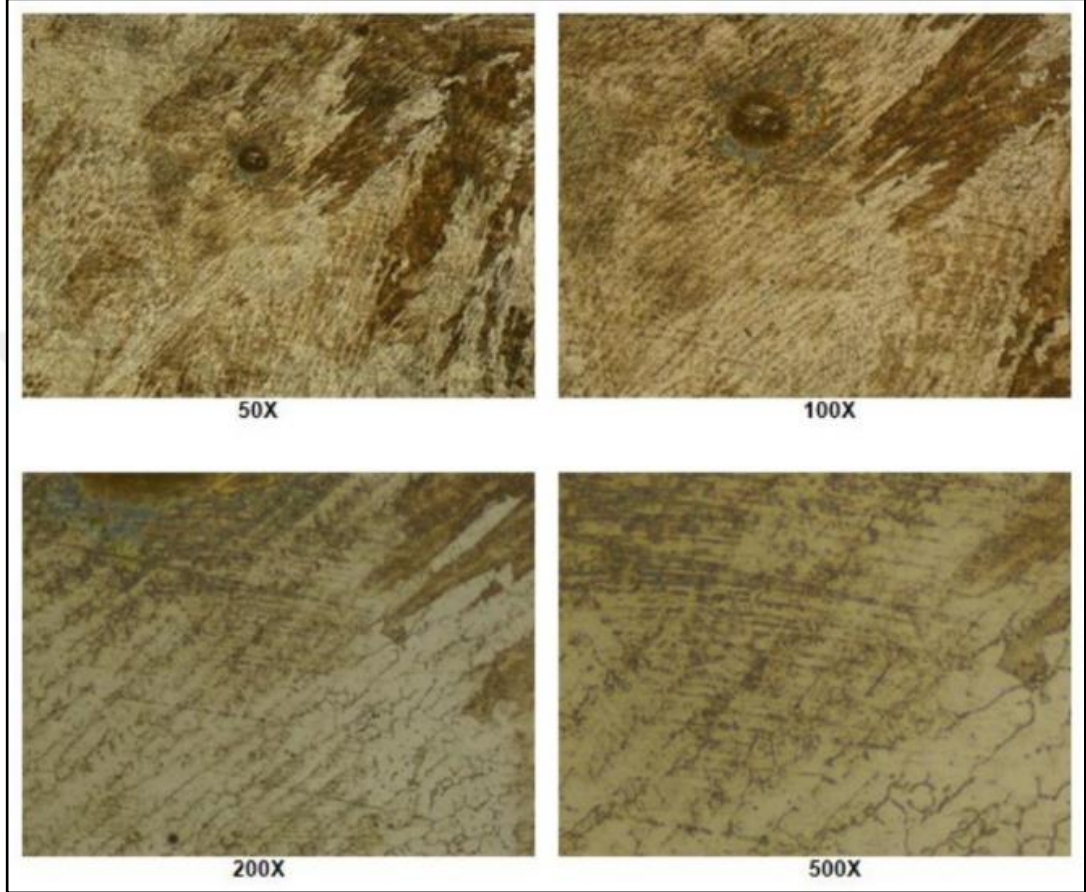


Şekil 5.16 : 200 A akım değerinde kaynaklanmış malzemenin sertlik ölçümleri

5.7 Makroyapı ve Mikroyapı incelemeleri

Mikroyapı incelemeleri, TS EN ISO 4499, makro yapı incelemeleri ise TS EN ISO 17639 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Plakaların daha önce belirlenmiş olan bölgelerinden çıkartılan numunelerin, öncelikle 60 numaralı

zımparadan 1200 numaralı zımparaya kadar yüzey temizleme işlemleri gerçekleştirilmiş, ardından yaklaşık 1 µm tane boyutlu alümina ile parlatma işlemi tamamlanmıştır. Paslanmaz çelik olan numunelerin dağlanması için de “Kral Suyu” (3 birim HCl + 1 birim HNO₃) isimli dağlayıcı kullanılmıştır. Numunelere ait makro yapı ve mikroyapı resimleri altta Şekil 5.17’ de yer almaktadır.



Şekil 5.17 : 150 A akım ile kaynaklanmış plakanın ITAB ve kaynak mikroyapısı

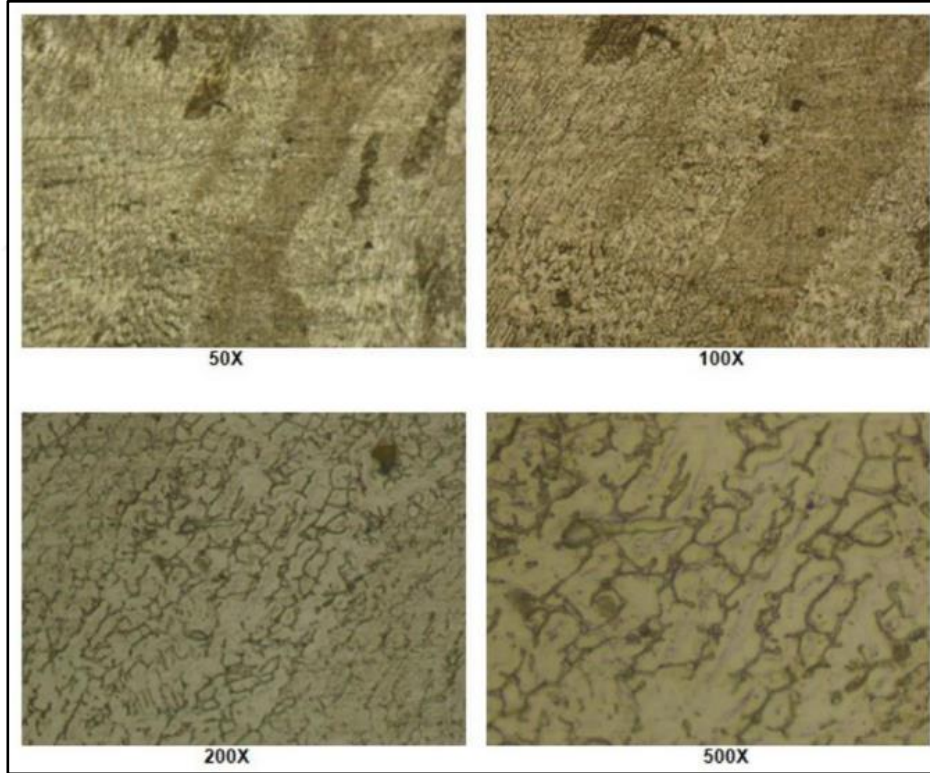
Şekil 5.17 incelendiğinde, 150 A akım şiddetiyle kaynaklanmış olan AISI 316 L malzemenin kaynak bölgesi, östenitin yanı sıra tane sınırlarında oluşan ferritten ibarettir.



Şekil

5.18 : 150 A akım ile kaynaklanmış plakanın makro yapısı

Şekil 5.18 incelendiğinde, 150 A akım şiddetiyle kaynaklanmış olan AISI 316 L malzemenin makro yapısında, yüzey kaynağının yaklaşık 5 mm, kök kaynağının ise yaklaşık 3 mm parça içerisine nüfuz ettiği ve görsel açıdan herhangi bir olumsuzluk olmadığı belirlenmiştir.



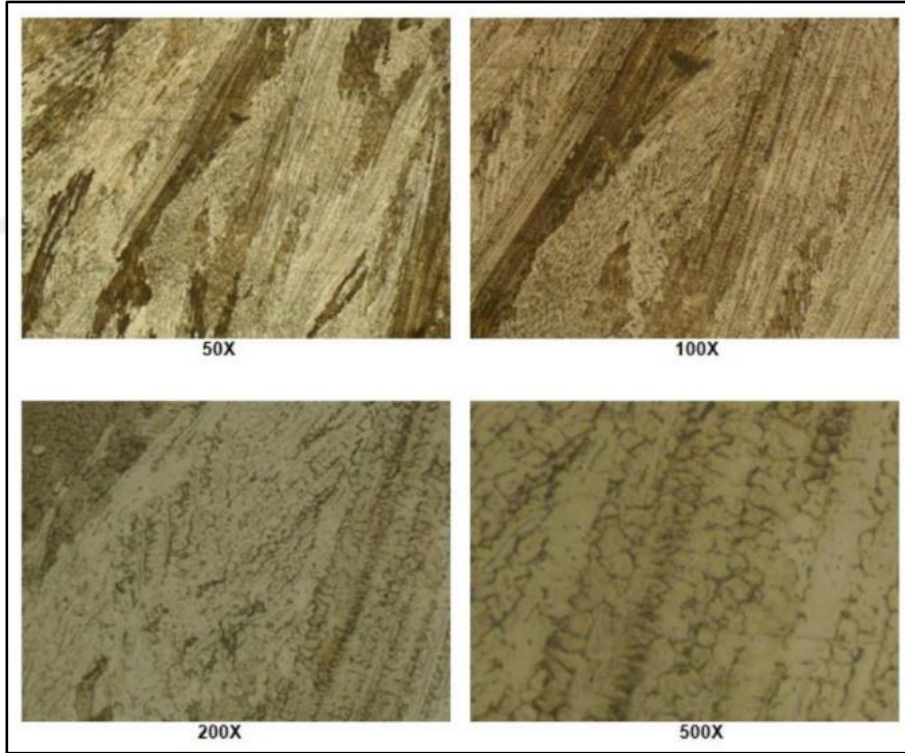
Şekil 5.19 : 175 A akım ile kaynaklanmış plakanın ITAB ve kaynak mikroyapısı

Şekil 5.19 incelendiğinde, 175 A akım şiddetiyle kaynaklanmış olan AISI 316 L malzemenin, 150 A ile kaynaklanmış malzemenin kaynak yapısına nazaran daha küçük taneli östenit yapısına sahip olduğu, östenitin yanı sıra tane sınırlarında ferritten ve kısmen sigma fazı oluşumuna da sahip olduğu belirlenmiştir.



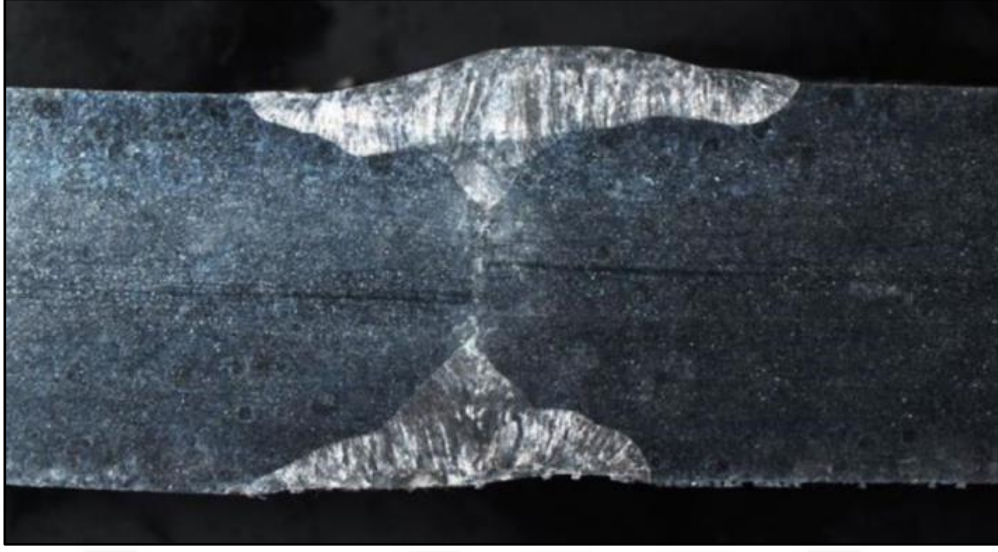
Şekil 5.20 : 175 A akım ile kaynaklanmış plakanın makro yapısı

Şekil 5.20 incelendiğinde, 175 A akım şiddetiyle kaynaklanmış olan AISI 316 L malzemenin makro yapısında, yüzey ve kök kaynaklarının yaklaşık 3'er mm parça içerisine nüfuz ettiği ve görsel açıdan herhangi bir olumsuzluk olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 5.21 : 200 A akım ile kaynaklanmış plakanın ITAB ve kaynak mikroyapısı

Şekil 5.21 incelendiğinde, 200 A akım şiddetiyle kaynaklanmış olan AISI 316 L malzemenin kaynak bölgesinin genel olarak östenitten ibaret olduğu, fakat tane yapısı açısından diğer numunelere oranla çok daha küçük taneli olduğu, bunun yanı sıra, tane sınırlarındaki ferrit oluşumunun da diğer numunelere oranla daha fazla olduğu belirlenmiştir.



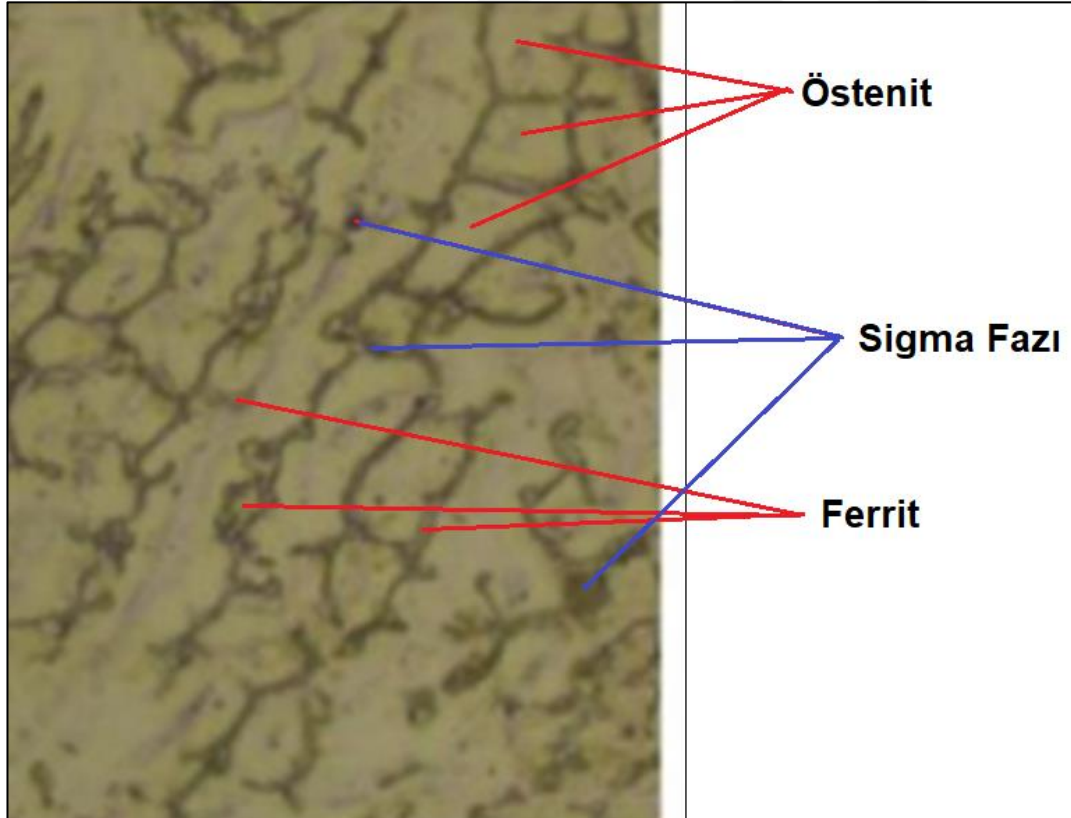
Şekil 5.22 : 200 A akım ile kaynaklanmış plakanın makro yapısı

Şekil 5.22 incelendiğinde, 200 A akım şiddetiyle kaynaklanmış olan AISI 316 L malzemenin makro yapısında, yüzey ve kök kaynaklarının yaklaşık 3'er mm parça içerisine nüfuz ettiği, fakat görsel açıdan incelendiğinde, plakalar arasında az da olsa birleşmeyen kısımlar olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 316 L östenitik paslanmaz çelik malzemenin, TIG kaynağı ile birleştirilmesinde, farklı akım değerlerinin malzemenin mekanik özelliklerine etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Kaynak işlemleri sonrası, TS EN ISO standartları doğrultusunda mekanik testler gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklı plakalardan elde edilen numunelerin makro yapı incelemelerinde, 150 A'lik akım şiddetiyle kaynaklanmış parçada, kaynağın parçaya oldukça iyi nüfuz ettiği, 175 A'lik akım şiddetiyle kaynaklanan malzemede hem yüz, hem de kök kaynağında nüfuziyetin sınırlı kaldığı, 200 A'lik akım şiddetiyle kaynaklanan malzemede hem yüz, hem de kök kaynağında nüfuziyetin sınırlı kalmasının yanı sıra, plakalar arasında kısmen birleşme problemleri olduğu görülmüştür. Mikro yapı incelemelerinde ise, her üç numunenin kaynak yapısının östenit tanelerinin yanı sıra tane sınırlarındaki ferrit fazını ihtiva ettiği, kaynak akımı yükseldikçe, östenit tanelerinin küçüldüğü, ferrit oranının arttığı ve sigma fazı oluşumuna neden olduğu belirlenmiştir. Altta Şekil 5.23'de 175 A akım şiddetinde kaynaklanmış olan numunenin kaynak bölgesindeki fazların neler olduğu gösterilmiştir.

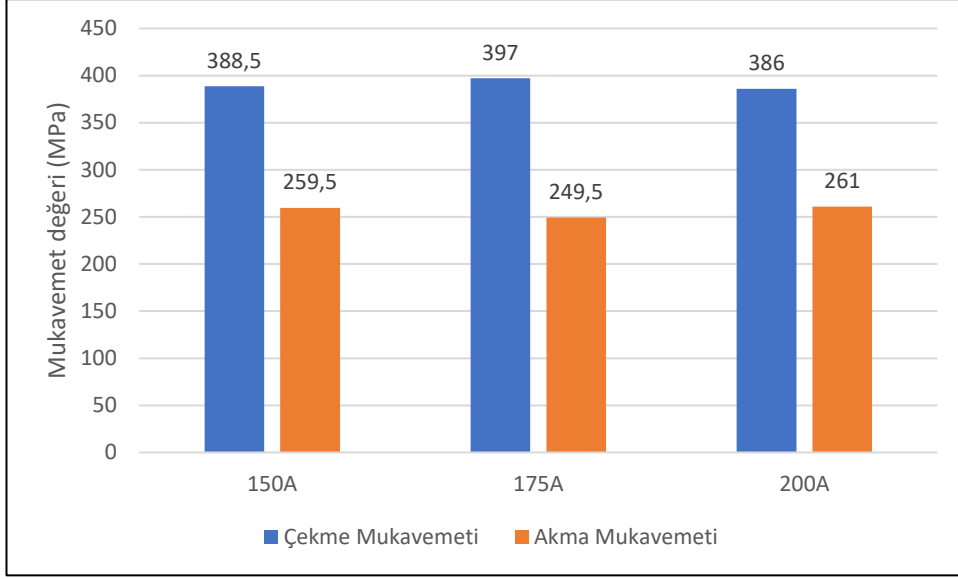


Şekil 6.1 : 175 A ile kaynaklanmış numunenin Kaynak bölgesinde oluşan fazlar

Mikro ve makroyapı incelemeleri sonrasında gerçekleştirilen sertlik ölçümleri incelendiğinde, kaynak akımı artışının, sertlik üzerinde de etkisi olduğu belirlenmiştir. Buna göre 200 A akım şiddetinde kaynaklanan numunenin ana malzemedan kaynak metaline doğru sertliğinin çok az değiştiği, bunun da özellikle kaynak bölgesindeki ferrit oranının artışından kaynaklandığı söylenebilir. 175 A akım şiddetinde kaynaklanan numunenin ana malzemedan kaynağa doğru sertliğinin belirgin şekilde yükseldiği, bu artışın ITAB'da östenit boyutunun kısmen küçülmesinden, kaynak bölgesinde ise, sigma fazının varlığından kaynaklandığı söylenebilir. 150 A akım şiddetinde kaynaklanan numunede de sertliğin ana malzemedan kaynağa doğru belirgin şekilde yükseldiği, fakat kaynak bölgesinin ortalama sertliğinin 175 A ile kaynaklanmış numuneye göre daha düşük kaldığı, bunun sebebinin ise, 150 A ile kaynaklanmış numunenin kaynak bölgesinde sigma fazının oluşmamış olması veya çok daha az oluşmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Üç farklı akım şiddetinde kaynaklanmış olan plakalardan alınan numunelerin eğme test sonuçları incelenecek olursa, hem kök hem de yüz eğme deneyleri gerçekleştirilen numunelerden, 200 A akım şiddetiyle kaynaklanmış parçanın, 180° eğme açısına gelmeden kaynak dikişinden ayrıldığı, diğer numunelerde ise herhangi bir problemin oluşmadığı belirlenmiştir. Hasar gören numunenin, kaynak bölgesi mikro yapısındaki ferrit oranının çok olması ve östenit taneleri ile arasındaki sertlik farkından kaynaklanmış olabileceği söylenebilir.

Eğme deneyleri sonrası gerçekleştirilen çekme test sonuçları incelenecek olursa; Her üç akım değerinde kaynaklanmış olan numunede kopma, kaynak bölgelerinden gerçekleşmiştir. Her akım değeri için 2'şer numunenin çekme test sonuçlarının ortalama değerleri altta Şekil 5.24'de verilmiştir.



Şekil 6.2 : Numunelerin ortalama çekme ve akma mukavemetleri

Numunelerin akma ve çekme mukavemetleri kıyaslandığında, değer olarak birbirine yakın sonuçların çıktığı, fakat uzama değerlerinde farklılıklar olduğu görülmüştür. Akım değerinin yükselmesiyle beraber, özellikle kaynak bölgesinin mikroyapısal değişiklikleri sebebiyle, uzama değerleri de düşmüştür. 150 A ile kaynaklanmış numunenin ortalama kopma uzaması % 19 iken, bu değer 175 A ile kaynaklanmış numunede yaklaşık % 18, 200 A ile kaynaklanmış numunede ise % 15 olarak ölçülmüştür.


Genel olarak gerçekleştirilen tüm deneyler ve sonuçları ele alındığında, AISI 316 paslanmaz çeliğin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde, kaynak akımı değerinin yükselmesi ile beraber, mekanik özelliklerin kısmen azaldığı ve bu çalışmada, 150 A akım değerinin en uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

EKLER

TEKNOLAB

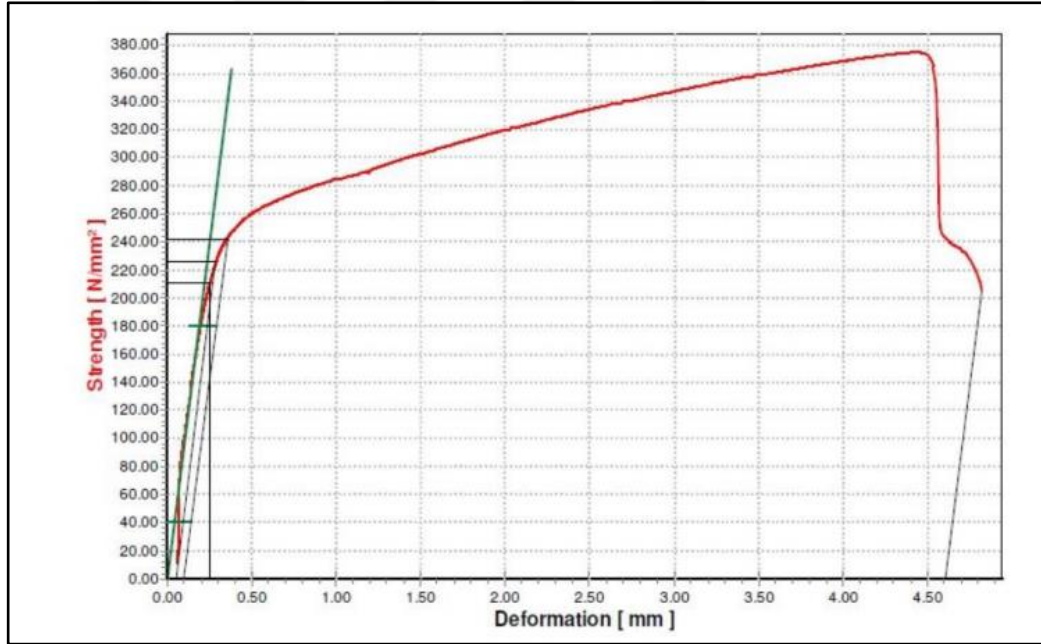
TEKNOLOJİ LABORATUAR HİZMETLERİ LTD. ŞTİ.
Analiz Sonuçları / Results of Analysis

2022/I-01245
07-2022




Lab. Numune No/Rapor No Lab. Order No/Report No	2022/I-01245
Deneğin Yapıldığı Tarih Date of Test	05/07/2022
Numune Adı, Tarihi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.) Name, identity (Declared by Customer)	VEDAT ŞİMŞEK / 150 / 10mm/316L - Numune 1
Ortam Şartları Environmental Conditions	24°C
Açıklama Description	ÇEKME DENEYİ

Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Rm	375.00	N/mm ²	EN ISO 4136
Kopma Bölgesi	KAYNAK		EN ISO 4136
Kalınlık	12.50	mm	EN ISO 4136
Rp0,2	273.00	N/mm ²	EN ISO 4136
A50	16.00	%	EN ISO 4136
Lo	50.00	mm	EN ISO 4136



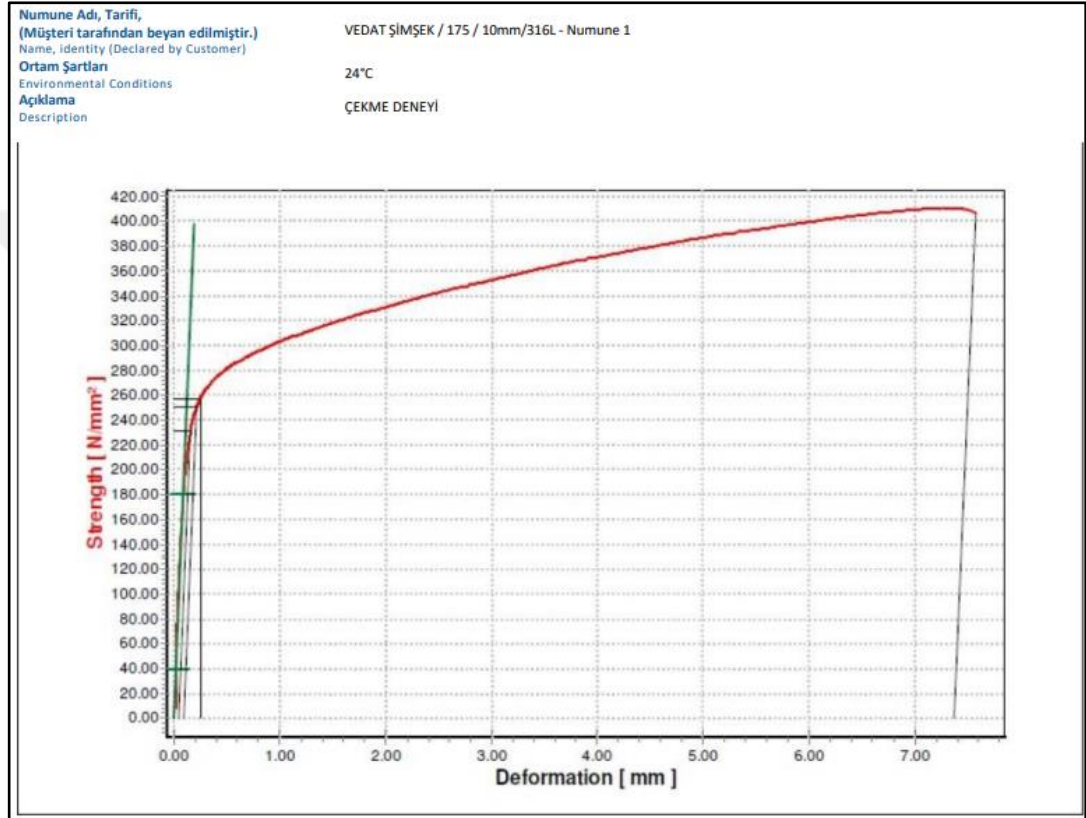
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Yüzey Eğme			
Et Kalınlığı	10.00	mm	TS EN ISO 5173
Mandrel Çapı	40.00	mm	TS EN ISO 5173
Mesnet Mesafesi	65.00	mm	TS EN ISO 5173
Eğme Açısı	180.00	°	TS EN ISO 5173
Başarılı/Başarısız	Başarılı		TS EN ISO 5173

Lab. Numune No/Rapor No Lab. Order No/Report No	2022/T-00467		
Deneğin Yapıldığı Tarih Date of Test	01/07/2022		
Numune Adı, Tarifi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.) Name, identity (Declared by Customer)	VEDAT ŞİMŞEK / 150/ 10mm/316L		
Ortam Şartları Environmental Conditions	24°C		
Açıklama Description	1.Ölçüm:Ana Malzeme, 2.Ölçüm:Haz Bölgesi, 3.Ölçüm:Kaynak Bölgesi, 4.Ölçüm:Haz Bölgesi, 5.Ölçüm:Ana Malzeme 6.Ölçüm:Ana Malzeme, 7.Ölçüm:Haz Bölgesi, 8.Ölçüm:Kaynak Bölgesi, 9.Bölüm:Haz Bölgesi, 10.Bölüm:Ana Malzeme		
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Vickers Sertlik Ölçümü			
1.Ölçüm Vickers	179.93-176.80-178.03	HV10	EN ISO 9015-1
2.Ölçüm Vickers	192.53-194.37-196.03	HV10	EN ISO 9015-1
3.Ölçüm Vickers	215.15-218.17-218.28	HV10	EN ISO 9015-1
4.Ölçüm Vickers	197.71-195.78-197.67	HV10	EN ISO 9015-1
5.Ölçüm Vickers	186.90-184.20-184.18	HV10	EN ISO 9015-1
6.Ölçüm Vickers	182.05-180.92-180.39	HV10	EN ISO 9015-1
7.Ölçüm Vickers	193.25-193.42-195.09	HV10	EN ISO 9015-1
8.Ölçüm Vickers	214.03-216.18-214.20	HV10	EN ISO 9015-1
9.Ölçüm Vickers	197.98-197.90-197.92	HV10	EN ISO 9015-1
10.Ölçüm Vickers	182.10-180.33-180.05	HV10	EN ISO 9015-1

Numune Adı, Tarifi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.) Name, identity (Declared by Customer)	VEDAT ŞİMŞEK / 150/ 10mm/316L -Haz		
Ortam Şartları Environmental Conditions	24°C		
Açıklama Description			
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Çentik Darbe Deneyi			
Uzunluk-Genişlik-Kalınlık	55-10-10	mm	TS EN ISO 9016
Çentik	V		TS EN ISO 9016
1.Numune Abs.Enerji-J KV2	265.12		TS EN ISO 9016
2.Numune Abs.Enerji-J KV2	255.96		TS EN ISO 9016
3.Numune Abs.Enerji-J KV2	240.99		TS EN ISO 9016
Deney Sıcaklığı	24.00	°C	TS EN ISO 9016

RADYOGRAFİK KONTROL RAPORU (KAYNAK)										TEKREP. NO	SİRETT. NO	1/1				
COSTUMER MÜŞTERİ			PROJECT NAME PROJJE ADI				JOB NO İŞ NO		REFERENCE DRWG NO REFERANS RESİM NO		EXAMINATION PLACE TEST YERİ					
VEDAT ŞİMŞEK			MALZEME TESTLERİ						150		GEBZE / KOCAELİ					
TESTING STANDARD TEST STANDARTI		CLASS SINIF	ACCEPTANCE STANDARD KABUL STANDARTI		LEVEL SEVİYE	TEST PROCEDURE TEST PROSEDÜRÜ		TEST SCOPE TEST KAPSAMI		DEVINATION OF STANDARD STANDARTTAN SAPMA						
TS EN ISO 17636		B	TS EN ISO 10675-1		1	P13.Rev04		100%								
STAGE OF EXAMINATION TEST AŞAMASI			WELD PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ			JOINT DESING KAYNAK AĞZI		WELD JOINT TYPE KAYNAK BİRLİŞİMİ		MATERIAL TYPE MALZEME CİNSİ	FILLING MATERIAL DOLGU MALZEMESİ					
AFTER PWHT ISIL İŞLEM			ELEKT.ARK SMAW(1111)			TOZALTI SAW(121)		TIG GTAW(141)		316						
AFTER HYDROTEST BASINÇ TESTİ			MAG GMAW(135)			MIG GMAW(131)		OTHER DİĞER		MATERIAL DIMENSIONS MALZEME BOYUTLARI						
										10mm						
EQUIPMENT / EKİPMAN			RADIOGRAPHIC TECHNIQUES RADYOGRAFİ TEKNİĞİ				FILM BRAND & TYPE FİLM MARKASI ve TİPİ		NUMBER OF FILM IN EACH CASSETTE KASİTTESİ FİLM SAYISI		USED PENETREMETRE KULLANILAN PENETREMETRE					
GAMA		X-RAY		FOCAL SPOT SIZE ODAK BOYUTU		SINGLE WALL EXP. / SİNGLE İMMGE TIK GİDAR. TIK GÖRÜNÜ		DOUBLE WALL EXP. / DOUB. E İMMGE ÇFT. GİDAR. TIK GÖRÜNÜ		DOUBLE WALL EXP. / DOUB. E İMMGE ÇFT. GİDAR. ÇİFT GÖRÜNÜ		PANOGRAM PANOGRAM				
i-192		Se-75		Kv mA						CARESTREAM T200		1				
0		250		5						SCREENS EKRANLAR		10 SS EN				
										SOURCE SIDE IŞIK TARAFI		MANUEL BATH ELLE BANYO / 20°C-5 Dak. OTOMATIC BATH OTOMATİK BANYO				
										FILM SIDE FİLM TARAFI		SOURCE TO OBJECTİON. TO FİLM DISTANCE İŞIK KAYNAĞI MALZEME İNKLÜZİYE FİLM MESAFESİ				
										Pb		On Arka				
										0,125		500 MM				
										1,5DK						
İTEM NO / SİRNO NO	WELD NO KAYNAK NO	DEFECTİON AREA İNKLÜZİYE BÖLGESİ (mm)	CORRENT YÖNÜMLÜK	RİSİS TEL NO	DİAMETER ÇAP	INDİKASYON / İNKLÜZİYE BÖLGESİ (mm)	NORMAL / FİLM İNKLÜZİYE BÖLGESİ	FILM SIZE FİLM EBATI				DEFECT TYPE HATA ÇEŞİTİ	DEFECT LOCATION HATA BÖLGESİ	ACCEPT KABUL	REJECT RET	CUSTOMER APPROVAL MÜŞTERİ ONAYI
								19 X 12	19 X 16	19 X 24	19 X 48					
1	TEST PARÇASI 1(150)	0-48	2.5- 2.9	17	-	10mm	-							OK		
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
TOTAL NUMBER OF FILMS / TOPLAM FİLM ADEDİ								0	0	0	1					
DESCRIPTIONS AÇIKLAMALAR																
WELD NO EXTENSION KAYNAK NUMARASI EKLERİ			REPAIR / TAMİR R		CUT-OUT / KES CİO		PROCESSING DEFECT FİLM HATASI FF		RE-SHOOT / FİLM TEKRARI RS		FILM ADDİTIONALLY REQUESTED İSTENEN EXTRA FİLM EF		FILM EXDENTED UZATILMIŞ FİLM EX			
İW ye göre: Ea: Boyuna çatlak (Longitudinal crack) Eb: Enine çatlak (Transverse crack) Ec: Kırık çatlak (Crater crack) Aa: Gözenek (Porosity) Aa1: Toplu gözenek (Clustered Porosity) Aa2: Gıda kısımları (Food particles) Ac: Sıralı gözenek (Linear Porosity) Ba: Çınlık (Slag) Bb: Uzamış çınlık (Elongated slag) Da: Kıkırtı konkavite (Internal Concavity) H: Metalik kısımlar (Metallic inclusion) J: Çınlık tutulması (Slag inclusion) C: Yetersiz nüfuziyet (Lack of fusion) D: Yetersiz nüfuziyet (Lack of penetration) F: Yanma oluğu, kapak (Undercut, cover) F: Yanma oluğu kök (Undercut, root)			EN ISO 6520-1'e göre: 101-Boynuz Çatlak (Long.) 102-Enine Çatlak (Transverse) 104-Kırık Çatlak (Crater) 202-Çukma Boşluğu (Shrinkage Cavity) 304-Metalik kısımlar (Metallic Inclusion) 2011-Gözenek (Porosity) 2012-Homojen dağılım gözenek (Distributed porosity) 2013-Toplu Gözenek (Cluster Porosity) 2014-Sıralı Gözenek (Linear Porosity) 2015-Uzamış Gözenek (Elongated Porosity) 2016-Kurt Deligi (Wormhole) 204-Kırık Boşluğu (Crater pipe) 3011-Sıralı Çınlık Kalıntılar (Linear Slag) 3012-Sıralı Çınlık Kalıntılar (Isolated Slag) 3014-Toplu Çınlık Kalıntılar (Clustered Slag) 3041-Turgulan Kalıntılar (Turant Incl.) 401-Naynema Noksanlığı (Lack of Fusion) 402-Nüfuziyetsizlik (Lack of Penetration) 501-Yanma Oluğu (Undercut)					API 1104'e göre: IP: Hi-Lordan kaynaklanan yetersiz nüfuziyet (Inadequate Cross Penetration due to Hi-Lo) IP: Yetersiz nüfuziyet (Incomplete Penetration) IOP: Yetersiz nüfuziyet (gibi taraflı kaynaklar) (Inadequate Cross Penetration) F: Enine Noksanlığı (Incomplete Fusion) FD: Boşluk Birleşimi (Incomplete Fusion due to Cold Lap) C: Çınlık (Crack) ES: Uzamış Çınlık Kalıntısı (Elongated Slag Inclusion) IS: İzole Çınlık Kalıntısı (Isolated Slag Inclusion) IU: Yanma Oluğu kökleri (Internal Undercut) EU: Yanma Oluğu, kapaklık (External Undercut) HU: Kökleri Uzamış Gözenek (Hollow Bead) IC: Kıkırtı konkavite (Internal Concavity) BT: Yanma Deligi, kök (Burn Through) P: İzole Gözenek (Porosity) SP: Homojen Dağılım Gözenek (Scattered Porosity) CP: Toplu Gözenek (Clustered Porosity) AI: Farklı Sınıfsızlık Topluluğu (Accumulation of Imperfection)								

Numune Adı, Tarifi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.) Name, Identity (Declared by Customer)		VEDAT ŞİMŞEK / 175 / 10mm/316L - Numune 1	
Ortam Şartları Environmental Conditions		24°C	
Açıklama Description		ÇEKME DENEYİ	
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Rm	410.00	N/mm ²	EN ISO 4136
Kopma Bölgesi	KAYNAK		EN ISO 4136
Kalınlık	12.50	mm	EN ISO 4136
Rp0,2	250.00	N/mm ²	EN ISO 4136
A50	19.00	%	EN ISO 4136
Lo	50.00	mm	EN ISO 4136



Numune Adı, Tarifi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.) Name, Identity (Declared by Customer)		VEDAT ŞİMŞEK / 175/ 10mm/ 316L	
Ortam Şartları Environmental Conditions		24°C	
Açıklama Description			
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Yüzey Eğme			
Et Kalınlığı	10.00	mm	TS EN ISO 5173
Mandrel Çapı	40.00	mm	TS EN ISO 5173
Mesnet Mesafesi	65.00	mm	TS EN ISO 5173
Eğme Açısı	180.00	°	TS EN ISO 5173
Başarılı/Başarısız	Başarılı		TS EN ISO 5173

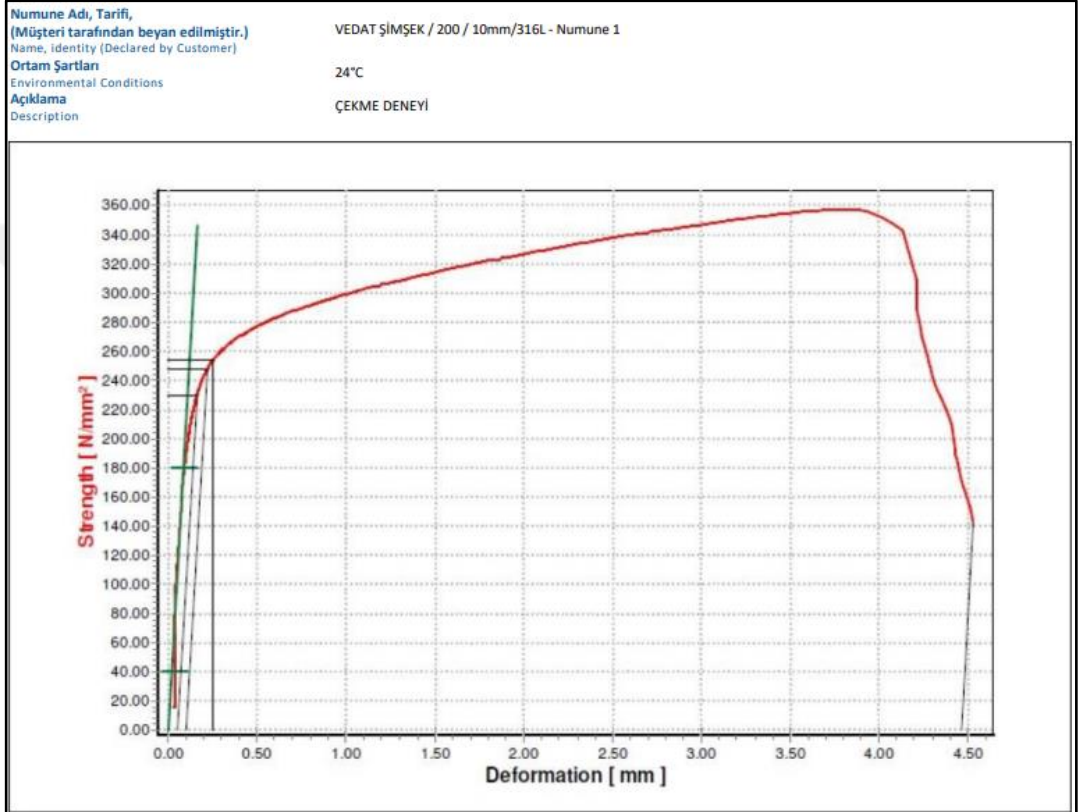
Numune Adı, Tarifi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.)		VEDAT ŞİMŞEK / 175/ 10mm/ 316L	
Name, Identity (Declared by Customer)			
Ortam Şartları Environmental Conditions		24°C	
Açıklama Description		1.Ölçüm:Ana Malzeme, 2.Ölçüm:Haz Bölgesi, 3.Ölçüm:Kaynak Bölgesi, 4.Ölçüm:Haz Bölgesi, 5.Ölçüm:Ana Malzeme 6.Ölçüm:Ana Malzeme, 7.Ölçüm:Haz Bölgesi, 8.Ölçüm:Kaynak Bölgesi, 9.Bölüm:Haz Bölgesi, 10.Bölüm:Ana Malzeme	
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Vickers Sertlik Ölçümü			
1.Ölçüm Vickers	186.03-188.07-186.10	HV10	EN ISO 9015-1
2.Ölçüm Vickers	200.71-200.20-200.28	HV10	EN ISO 9015-1
3.Ölçüm Vickers	230.70-236.20-238.40	HV10	EN ISO 9015-1
4.Ölçüm Vickers	199.01-197.65-197.95	HV10	EN ISO 9015-1
5.Ölçüm Vickers	182.20-185.05-184.09	HV10	EN ISO 9015-1
6.Ölçüm Vickers	184.94-181.20-183.15	HV10	EN ISO 9015-1
7.Ölçüm Vickers	201.30-202.42-200.40	HV10	EN ISO 9015-1
8.Ölçüm Vickers	240.20-242.35-239.10	HV10	EN ISO 9015-1
9.Ölçüm Vickers	198.18-199.94-198.80	HV10	EN ISO 9015-1
10.Ölçüm Vickers	179.10-181.40-181.80	HV10	EN ISO 9015-1

Numune Adı, Tarifi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.)		VEDAT ŞİMŞEK / 175/ 10mm/ 316L -Haz	
Name, Identity (Declared by Customer)			
Ortam Şartları Environmental Conditions		24°C	
Açıklama Description			
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Çentik Darbe Deneyi			
Uzunluk-Genişlik-Kalınlık	55-10-10	mm	TS EN ISO 9016
Çentik	V		TS EN ISO 9016
1.Numune Abs.Enerji-J KV2	76.35		TS EN ISO 9016
2.Numune Abs.Enerji-J KV2	71.38		TS EN ISO 9016
3.Numune Abs.Enerji-J KV2	69.31		TS EN ISO 9016
Deney Sıcaklığı	24.00	°C	TS EN ISO 9016

RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT (WELDING) RADYOGRAFIK KONTROL RAPORU (KAYNAK)										REFERANS NO REF ID NO		SHEET NO SAYFA NO																													
COSTUMER MÜŞTERİ		PROJECT NAME PROJE ADI				JOB NO İŞ NO		REFERENCE DRWG NO REFERANS RESİM NO		EXAMINATION PLACE TEST YERİ																															
VEDAT ŞİMŞEK		MALZEME TESTLERİ						175		GEBZE / KOCAELİ																															
TESTING STANDARD TEST STANDARTI		CLASS SINIF		ACCEPTANCE STANDARD KABUL STANDARTI		LEVEL SEVİYE		TEST PROCEDURE TEST PROSEDÜRÜ		TEST SCOPE TEST KAPSAMI		DEVINATION OF STANDARD STANDARTTAN SAPMA																													
TS EN ISO 17636		B		TS EN ISO 10675-1		1		P13.Rev04		100%																															
STAGE OF EXAMINATION TEST AŞAMASI				WELD PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ				JOINT DESIGN KAYNAK AÇIĞI				MATERIAL TYPE MALZEME ÇİNSİ		FILLING MATERIAL DOLGU MALZEMESİ																											
AFTER PWHT ISIL İŞLEM				SLEKT-ARK SMAW(111)				TIG GTAW(141)				316																													
AFTER HYDROTEST BASINÇ TESTİ				MAG GMAW(135)				OTHER DİĞER						MATERIAL DIMENSIONS MALZEME BOYUTLARI																											
														10mm																											
EQUIPMENT / EKİPMAN				RADIOGRAPHIC TECHNIQUES RADYOGRAFI TEKNİĞİ				FILM BRAND & TYPE FİLM MARKASI İVİ TİPİ		NUMBER OF FILM IN EACH CASSETTE / KASSETTE FİLM SAYISI		USED PENETRATION KULLANILAN PENETREMETRE		BATH PROCESS BANYO İŞLEM TEKNİĞİ																											
GAMA		X-RAY		FOCAL SPOT SIZE ODAK BOYUTU		SINGLE WALL SPP / SİNGLE WALL TEK CİDAR / TEK SÖKANTU		DOUBLE WALL SPP / SİNGLE WALL TEK CİDAR / TEK SÖKANTU		DOUBLE WALL SPP / SİNGLE WALL TEK CİDAR / TEK SÖKANTU		DOUBLE WALL SPP / SİNGLE WALL TEK CİDAR / TEK SÖKANTU		DOUBLE WALL SPP / SİNGLE WALL TEK CİDAR / TEK SÖKANTU																											
i-152 Ci		Se-75 Ci		Kv mA		250 5						10 SS EN		MANUEL BATH ELLE BANYO / 20°C-5 Dk OTOMATIC BATH OTOMATİK BANYO																											
								CARESTREAM T200		1				SOURCE SIDE İŞLEM TARAFI																											
								Pb		0n Anlık		0,125		FILM SIDE FİLM TARAFI																											
														EXPOSURE TİME POZ SÜRESİ																											
														500 MM																											
														1,5DK																											
EVALUATION DEĞERLENDİRME												ACCEPT KABUL		REJECT RET		CUSTOMER APPROVAL MÜŞTERİ ONAYI																									
ITEM NO / SERİ NO		WELD NO KAYNAK NO		DEFECT YUZAKLIK		SIZE TEL NO		DEPTH CİFT		WELDING TEKNİĞİ		FILM SIZE FİLM EBATI		DEFECT TYPE HATA ÇİNSİ		DEFECT LOCATION BÖLGESİ																									
1		TEST PARÇASI 2 (175)		0-48		2,5- 2,9		17		10mm		19 X 12		X		511		0-48		RET																					
TOTAL NUMBER OF FILMS / TOPLAM FİLM ADETİ																						0		0		0		1													
DESCRIPTIONS AÇIKLAMALAR																																									
WELD NO EXTENSIONS KAYNAK UZUNLUĞU EKLERİ						REPAIR / TAMİR R		CUT-OUT / KES CİD		PROCESSING DEFECT Fİ		RE-SHOOT / FİLM TEKRARI RS		FILM ADDITIONALLY REQUESTED İSTENEN EXTRA FİLM EF				FILM EXTENDED UZATILMIŞ FİLM EX																							
EN ISO 6823-1'e göre: B1: Eğriye çatlak (Longitudinal crack) B2: Enine çatlak (Transverse crack) B3: Krater çatlığı (Crater crack) A1: Gözenek (Porosity) A2: Toplu gözenek (Clustered Porosity) A3: Çatı kapağı (Undercut) A4: Serik gözenek (Linear Porosity) B4: Çıruf (Slag) B5: Uzun çıruf (Elongated slag) B6: Kökeli kavis (Internal Concavity) B7: Kökeli kavis (External Concavity) B8: Kökeli kavis (Internal Concavity) B9: Kökeli kavis (External Concavity) B10: Kökeli kavis (Internal Concavity) B11: Kökeli kavis (External Concavity) B12: Kökeli kavis (Internal Concavity) B13: Kökeli kavis (External Concavity) B14: Kökeli kavis (Internal Concavity) B15: Kökeli kavis (External Concavity)						EN ISO 6823-1'e göre: 101-Koyun Çatlak (Long) 102-Enine Çatlak (Transverse) 104-Krater Çatlığı (Crater) 200-Coleman Boşluğu (Shrinkage Cavity) 304-Metalik kısımlar (Metallic Inclusion) 2011-Gözenek (Porosity) 2012-Homojen dağılım gözenek (Distributed porosity) 2013-Toplu Gözenek (Cluster Porosity) 2014-Serik Gözenek (Linear Porosity) 2015-Uzun Çıruf (Elongated Porosity) 2016-Kıvrık Delik (Wormhole) 2024-Krater Boşluğu (Crater gap) 3011-Serik Çıruf Kalıntılar (Slag) 3012-İzole Çıruf Kalıntılar (Isolated Slag) 3041-Toplu Çıruf Kalıntılar (Clustered Slag) 3041-Tungsten Kalıntılar (Tungsten Inc.) 401- Kaynama Eksikliği (Lack of Fusion) 402- Nüfuslanmazlık (Lack of Penetration) 501-Yanma Oluğu (Undercut) 515-Kökeli Kavis (Concavity)						API 1104'e göre: IPD: Hı-Löten kapaklılar yanma (Inadequate Cross Penetration due to Hı-Lö) IP: Yanma Nüfuslanmazlık (Incomplete Penetration) ECP: Yanma Nüfuslanmazlığı (Eğri kırık yanma) (Inadequate Cross Penetration) F: Yanma Eksikliği (Inadequate Fusion) FFD: Soğuk Birleşim (Incomplete Fusion due to Cold Lap) C: Çatlak (Crack) ESI: Uzun Çıruf Kalıntılar (Elongated Slag Inclusion) ISI: İzole Çıruf Kalıntılar (Isolated Slag Inclusion) I2: Yanma Oluğu Kavis (Internal Undercut) E2: Yanma Oluğu Kapağı (External Undercut) H2: Kökeli Uzun Çıruf (Hollow Slag) IC: Kökeli kavis (Internal Concavity) BT: Yanma Delik Kavis (Burn Through) P: İzole Gözenek (Porosity) SP: Homojen Dağılım Gözenek (Scattered Porosity) CP: Toplu Gözenek (Clustered Porosity) A: Farklı Sınıflarda Toplanma (Accumulation of Imperfection)																													
EXAMINED BY MÜAYENEYİ YAPAN						EVALUATED BY DEĞERLENDİREN						EMPLOYER APPROVAL İŞ VEREN ONAYI																													
NAME / AD SOYAD						NAME / AD SOYAD						NAME / AD SOYAD																													
LEVEL/SEVİYE						LEVEL/SEVİYE						LEVEL/SEVİYE																													
CERTIF. NO/SERTIF. NO						CERTIF. NO/SERTIF. NO						CERTIF. NO/SERTIF. NO																													
DATE / TARİH						DATE / TARİH						DATE / TARİH																													

SİLTER KALİTE		GÖRSEL MUAYENE RAPORU (KAYNAK)		REFERANS NO	294523-35					
MÜŞTERİ		PROJE ADI		PROJE NO	1/1					
VEDAT ŞİŞEK		MALZEME TESTLERİ		175	GEZİK/KOCAELİ					
TESTING STANDART TEST STANDARTI	CLASS SINIF	ACCEPTANCE STANDART KABUL STANDARTI	LEVEL SEVİYE	TEST PROCEDURE TEST PROSEDÜRÜ	TEST SCOPE TEST KAPSAMI					
TS EN ISO 17637		TS EN ISO 5817	B	MY5-P17.Rev03	100%					
STAGE OF EXAMINATION TEST AŞAMASI		WELD PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ		JOINT DESIGN KAYNAK AĞZI	WELD JOINT TYPE KAYNAK BİRLEŞİMİ					
AFTER PRINT GİL İŞLEMİ	ÖNCEŞİ <input type="checkbox"/>	SONRAŞI <input type="checkbox"/>	YOK <input type="checkbox"/>	ELKAT ANK. SARMI (11)	TOTALİ SARMI (12)					
AFTER HYDROTEST BASINÇ TESTİ	ÖNCEŞİ <input type="checkbox"/>	SONRAŞI <input type="checkbox"/>	YOK <input type="checkbox"/>	TIG GTAW (14)	OTHER DİĞER					
STAGE OF MANUFACTURING İMALAT AŞAMASI		SURFACE CONDITION YÜZEY DURUMU		PURPOSE OF TEST TEST AMACI						
BEFORE MARK. ÖN. ÖNCEŞİ	DURING MARK. SİZİMLERİNDE	AFTER MARK. SONRASI	PERIODICAL INS. PERİYODİK KONTROL	NO OPERATOR İŞÇİSİNİN	NO OPERATOR İŞÇİSİNİN					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
COMPARATOR MUKAYYESE KATALOĞU		LIGHT FORCE AND MEASURING DEVICE FOTODİYALİZ KUVVETİ VE ÖLÇÜM CHAZI	DAYLIGHT INTENSITY GÖRÜNÜR IŞIK ŞİDDETİ (1000lx)	MATERIAL TEMPERATURE MALZEME SICAKLIĞI	EXAMINATION EQUIPMENT MUAYENE EDİPMANI					
SNIP	SONRA	YOK KULLANILMADI	100 METRE / VOLTDA	800 lux	20 °C	MEASURING TAPE ÖLÇÜM BANTI				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				VERNIER CALLIPERS KALIPAS				
						FEELER GAUGES SİNTEL				
						ENDSCOPE ENDOSKOP				
						WELD GAUGES KAYNAK KALIPASI				
						VIDEOSCOPE VİDEOSKOP				
						RADIUS GAUGE RADYUS BAKIYASI				
						PROFILE MEAS. DEVICE PROFİL ÖLÇÜM CHAZI				
						MARKING LINE BİTİRTEÇ				
						OTHER DİĞER				
SKETCHES AND REMARKS / ÇİZİMLER VE AÇIĞLAMALAR										
ITEM NO SIRA NO	WELD NO KAYNAK NO	WELD PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ	WELDER NO KAYNAKÇI NO	WELD LENGTH KAYNAK UZUNLUĞU	DIAMETER ÇAP (mm)	THICKNESS KALINLIK (mm)	DEFECT TYPE HATA TİPİ	LOCATION OF DEFECT HATANIN YERİ	ACCEPT KABUL	REJECT RET
1	TEST PARÇASI (175)	135	-	-	-	10mm	511	0-48		RET
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
DESCRIPTIONS AÇIĞLAMALAR							TOTAL CONTROL LENGTH TOPLAM KONTROL UZUNLUĞU			
EXAMINED BY MUAYENEYİ YAPAN			EVALUATED BY DEĞERLENDİREN			EMPLOYER APPROVAL İŞ VEREN ONAYI				
NAME / AD SOYAD TUĞAN AKIN			NAME / AD SOYAD TUĞAN AKIN							
LEVEL/SÜVİYE LEVEL II			LEVEL/SÜVİYE LEVEL II							

Numune Adı, Tarifi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.)		VEDAT ŞİMŞEK / 200 / 10mm/316L - Numune 1	
Name, Identity (Declared by Customer)			
Ortam Şartları Environmental Conditions		24°C	
Açıklama Description		ÇEKME DENEYİ	
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Rm	357.00	N/mm ²	EN ISO 4136
Kopma Bölgesi	KAYNAK		EN ISO 4136
Kalınlık	12.50	mm	EN ISO 4136
Rp0,2	248.00	N/mm ²	EN ISO 4136
A50	14.00	%	EN ISO 4136
Lo	50.00	mm	EN ISO 4136



Numune Adı, Tarifi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.)		VEDAT ŞİMŞEK / 200/ 10mm/316L	
Name, Identity (Declared by Customer)			
Ortam Şartları Environmental Conditions		24°C	
Açıklama Description			
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Yüzey Eğme			
Et Kalınlığı	10.00	mm	TS EN ISO 5173
Mandrel Çapı	40.00	mm	TS EN ISO 5173
Mesnet Mesafesi	65.00	mm	TS EN ISO 5173
Eğme Açısı	180.00	°	TS EN ISO 5173
Başarılı/Başarısız	Başarısız		TS EN ISO 5173

Numune Adı, Tarihi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.) Name, identity (Declared by Customer)		VEDAT ŞİMŞEK / 200/ 10mm/316L	
Ortam Şartları Environmental Conditions		24°C	
Açıklama Description		1.Ölçüm:Ana Malzeme, 2.Ölçüm:Haz Bölgesi, 3.Ölçüm:Kaynak Bölgesi, 4.Ölçüm:Haz Bölgesi, 5.Ölçüm:Ana Malzeme 6.Ölçüm:Ana Malzeme, 7.Ölçüm:Haz Bölgesi, 8.Ölçüm:Kaynak Bölgesi, 9.Bölüm:Haz Bölgesi, 10.Bölüm:Ana Malzeme	
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Vickers Sertlik Ölçümü			
1.Ölçüm Vickers	184.84-182.80-184.71	HV10	EN ISO 9015-1
2.Ölçüm Vickers	185.20-186.28-186.56	HV10	EN ISO 9015-1
3.Ölçüm Vickers	189.88-189.71-191.50	HV10	EN ISO 9015-1
4.Ölçüm Vickers	183.56-184.93-183.88	HV10	EN ISO 9015-1
5.Ölçüm Vickers	181.23-180.80-178.94	HV10	EN ISO 9015-1
6.Ölçüm Vickers	179.71-179.20-182.03	HV10	EN ISO 9015-1
7.Ölçüm Vickers	185.81-183.88-185.21	HV10	EN ISO 9015-1
8.Ölçüm Vickers	187.81-188.53-188.03	HV10	EN ISO 9015-1
9.Ölçüm Vickers	185-185-185	HV10	EN ISO 9015-1
10.Ölçüm Vickers	178.53-176.71-178.37	HV10	EN ISO 9015-1


Numune Adı, Tarihi, (Müşteri tarafından beyan edilmiştir.) Name, identity (Declared by Customer)		VEDAT ŞİMŞEK / 200/ 10mm/316L -Haz	
Ortam Şartları Environmental Conditions		24°C	
Açıklama Description			
Parametreler Parameters	Analiz Sonuçları Result of analysis	Birim Unit	Deney Metodu Analysis Method
Çentik Darbe Deneyi			
Uzunluk-Genişlik-Kalınlık	55-10-10	mm	TS EN ISO 9016
Çentik	V		TS EN ISO 9016
1.Numune Abs.Enerji-J KV2	53.20		TS EN ISO 9016
2.Numune Abs.Enerji-J KV2	50.17		TS EN ISO 9016
3.Numune Abs.Enerji-J KV2	58.90		TS EN ISO 9016
Deney Sıcaklığı	24.00	°C	TS EN ISO 9016

BİLTEK KALİTE		RADIĞRAFİK KONTROL RAPORU (KAYNAK)		REFERANS NO	-											
COSTUMER MÜŞTERİ		PROJECT NAME PROJESİ ADI		REFERENCE DRWG NO	-											
VEDAT ŞİŞEK		MALZEME TESTLERİ		REFERENCE RESİM NO	1/1											
TESTING STANDARD TEST STANDARTI	CLASS SINIF	ACCEPTANCE STANDARD KABUL STANDARTI	LEVEL SEVİYE	TEST PROCEDURE TEST PROSEDÜRÜ	TEST SCOPE TEST KAPSAMI	DEVATION OF STANDARD STANDARTAN SAPMA										
TS EN ISO 17636	B	TS EN ISO 10675-1	1	P13.Rev04	100%	-										
STAGE OF EXAMINATION TEST AŞAMASI		WELD PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ		JOINT DESIGN KAYNAK AÇI	WELD JOINT TYPE KAYNAK BİRLEŞİMİ	MATERIAL TYPE MALZEME CİNSİ	FILLING MATERIAL DOLGU MALZEMESİ									
AFTER PAINT İSLİŞLEM	ÖNCESİ SONRASİ	ELEKT ARIK SMAW(111)	TOZALI SAW(121)	TIG GTAW(141)		316	-									
AFTER HYDROTEST BASINÇ TESTİ	ÖNCESİ SONRASİ	MAG GMAW(135)	MIG GMAW(131)	OTHER DİĞER	BUTT ALIN FİLET KÖŞE OTHER DİĞER											
EQUIPMENT / EKİPMAN		RADIOGRAPHIC TECHNIQUES RAYDOGRAFI TEKNİĞİ		FILM BRAND & TYPE FILM MARKASI İVİ TİPİ	NUMBER OF FILM IN EACH CASSETTE KASSETTEDEKİ FILM SAYISI	USED PENETREMETRE KULLANILAN PENETREMETRE	BATH PROCESS BANYO İŞLEM TEKNİĞİ									
GAMA	X-RAY	FOCAL SPOT SIZE ÇOKLUK BOYUTU	SINGLE WALL EXP / SINGLE İNŞİRE TEK CİDAR TEK İNŞİRE	CARESTREAM T200	1	10 SS EN	MARBLE BATH İLLE BANYO / 20°C-5 Dak									
n-192 Ci	Se-75 Ci	Kv	mA	SCREENS EKRAKANLAR	0,125	SOURCE SIDE İŞİ TARAFI	EXPOSURE TIME FÖZ SÜRESİ									
		250	5			FILM SIDE FILM TARAFI	500 MM									
							1,5DK									
FILM NO / SERİ NO	WELD NO KAYNAK NO	INSPECTION AREA / İNŞİRE ALANI (MM)	CORRECT. YÖNÜ / DÜZELTİ	ISO NO TEL NO	DANGER / ÇAT	REMARKS / İZAH / NOTLAR	FILM SIZE / FILM EBATI				DEFECT TYPE / HATA CİNSİ	EVALUATION / DEĞERLENDİRME		CUSTOMER APPROVAL / MÜŞTERİ ONAYI		
							10 X 12	10 X 18	10 X 24	10 X 48		DEFECT LOCATION HATA BÖLGESİ	ACCEPT KABUL		REJECT RET	
1	TEST PARÇASI 3 (200)	0-48	2.5-2.9	17	-	10mm				X	511	0-48		RET		
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
TOTAL NUMBER OF FILMS / TOPLAM FILM ADEDİ								0	0	0	1					
DESCRIPTIONS / AÇIKLAMALAR																
WELD NO EXTENSIONS / KAYNAK NUMARASI EKLERİ		REPAIR / TAMİR	CUT-OUT / KES	PROCESSING DEFECT / FILM HATASI	RE-SHOOT / FILM TEKRARI	FILM ADDITIONALLY REQUESTED / İSTENEN EKTRA FILM	FILM EXEMPTED / UZATILAN FILM									
RW ya göre: Ea: Dişine çatlak (Longitudinal crack) Eb: Enine çatlak (Transverse crack) Ec: Kırak çatlak (Crater crack) Ae: Gözenek (Porosity) Ad: Toplu gözenek (Clustered Porosity) Ab: Çatı çatlak (Surface) Ac: Sırağı gözenek (Linear Porosity) Ba: Çatı (Slag) Bb: Uzun çatı (Elongated slag) Da: Kökçe konca (Internal Concavity) H: Metalik katman (Metallic inclusion) I: Çatı katman (Crack inclusion) C: Yeterli kaynama (Lack of fusion) D: Yeterli nüfuz (Lack of penetration) F: Yama dışı kapak (Undercut, cover) F: Yama dışı, kök (Undercut, root)				EN ISO 10263-1'e göre: 101-Boşuna Çatlak (Lung) 102-Enine Çatlak (Transverse) 104-Kırak Çatlak (Crater) 202-Çatıya Bağlı (Shrinkage Cavity) 304-Metalik katmanlar (Metallic Inclusion) 2011-Gözenek (Porosity) 2012-Horizantal dağılım gözenek (Distributed porosity) 2013-Toplu Gözenek (Cluster Porosity) 2014-Sırağı Gözenek (Linear Porosity) 2015-Uzun çatı (Elongated Porosity) 2016-Kırı Delik (Wormhole) 2018-Kırak Topluğu (Crater pipe) 2011-Sırağı Çatı Kalınlaşma (Linear Slag) 2012-İzole Çatı Kalınlaşma (Isolated Slag) 2014-Toplu Çatı Kalınlaşma (Clustered Slag) 2014-Tungsten Kalınlaşma (Tungsten Incl.) 401-Kaynama Eksikliği (Lack of Fusion) 402-Nüfuzsuzluk (Lack of Penetration) 501-Yama Dışı (Undercut) 515-Kökçe Konca (Concavity)			API 1104'e göre: FD: Yeterli nüfuz (adequate fusion) IP: Yeterli nüfuz (Incomplete Penetration) ICP: Yeterli nüfuz (İft berrak kaynak) (Inadequate Cross Penetration) IF: Eksik nüfuz (Incomplete Fusion) IFD: Soğuk birleşim (Incomplete Fusion due to Cold Lap) C: Çatlak (Crack) ECL: Uzun Çatı Kalınlaşma (Elongated Slag Inclusion) IS: İzole Çatı Kalınlaşma (Isolated Slag Inclusion) IU: Yama Dışı, kökçe (Internal Undercut) EU: Yama Dışı, kapak (External undercut) IB: Kökçe Uzun Gözenek (Yellow Bead) IC: Kökçe konca (Internal Concavity) BT: Yama Delik, kökçe (Burr Through) IP: İzole Gözenek (Porosity) SP: Horizantal Dağılım Gözenek (Scattered Porosity) CP: Toplu Gözenek (Clustered Porosity) A: Farklı Sıkışıklık Toplanması (Accumulation of Imperfections)									
EXAMINED BY / İNŞİRE YAPAN		EVALUATED BY / DEĞERLENDİREN		EMPLOYER APPROVAL / İŞ VEREN ONAYI												
NAME / AD SOYAD	HACIHALI AYÇİÇEK	NAME / AD SOYAD	HACIHALI AYÇİÇEK													
LEVEL/SEVİYE	LVL B	LEVEL/SEVİYE	LVL B													
CERTIF. NO/SERTİF. NO	1A 192	CERTIF. NO/SERTİF. NO	1A 192													
DATE / TARİH	1.07.2024	DATE / TARİH	1.07.2024													

CUSTOMER MÜŞTERİ		PROJECT NAME PROJE ADI		JOB NO İŞ NO		REFERENCE DRAWING NO REFERANS RESİM NO		EXAMINATION PLACE TEST YERİ															
VEDAT ŞİŞEK		MALZEME TESTLERİ				200		GEZEKENDÖCELİ															
TESTING STANDARD TEST STANDARTI		CLASS SINIF		ACCEPTANCE STANDARD KABUL STANDARTI		LEVEL SEVİYE		TEST PROCEDURE TEST PROSEDÜRÜ		TEST SCOPE TEST KAPSAMI		DEVATION OF STANDARD STANDARTTAN SAPMA											
TS EN ISO 17637				TS EN ISO 5817		B		MYS-P17.Rwg3		100%													
STAGE OF EXAMINATION TEST AŞAMASI				WELD PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ				JOINT DESIGN KAYNAK AĞZI		WELD JOINT TYPE KAYNAK BİREĞİMİ		MATERIAL TYPE MALZEME ÇİNSİ		FILLING MATERIAL DOLGU MALZEMESİ									
AFTER PAINT GİLİŞİM		ÖNCEŞİ		SONRASI		YOK		SERT ANK SAR(111)		TOZALTI SAR(121)		TIG GTAW(141)		316									
AFTER HYDROTEST BAŞAÇ TESTİ		ÖNCEŞİ		SONRASI		YOK		MAG GMW(122)		MIG GMW(131)		OTHER DİĞER		MATERIAL DIMENSIONS MALZEME BOYUTLARI									
														10mm									
STAGE OF MANUFACTURING İMALAT AŞAMASI				SURFACE CONDITION YÜZEY DURUMU				PURPOSE OF TEST TEST AMAÇI				TEST TECHNIQUES TEST TEKNİKİ											
BEFORE MANİ. ÖNCEŞİ		DURING MANİ. İÇİNDE		FINAL INS. SON KONTROL		PERIODICAL INS. PERİYODİK KONTROL		NO OPERATION İŞLEMİMSİZ		SAND BLASTED KUMLA MASAJ		MACHINED İŞLENMİŞ		GRINDING TULANMIS		MEASURE CONTROL ÖLÇÜ KONTROLÜ		ROUGHNESS CONTROL PÜRÜZLÜK KONTROLÜ		DIRECT CONTROL DOĞUDAN KONTROL		INDIRECT CONTROL DOLAYLI KONTROL	
COMPARATOR MUYAYENE KATILGULU				LIGHT FORCE AND MEASURING DEVICE KÜÇÜK KUVVET VE ÖLÇÜM CİHAZI				DAYLIGHT INTENSITY GÖRÜNÜR IŞIK ŞİDDETİ ($\approx 1000lx$)				MATERIAL TEMPERATURE MALZEME SICAKLIĞI				EXAMINATION EQUIPMENT MUYAYENE EKİPMANI							
IMP		SCRETA		NON KULLANILMIS		100 METRE / 1 VOLTDA		800 lux		20 °C		MEASURING TAPE CETVEL/İNÇÖLÇÜ		VERNIER CALLIPERS KURŞAK		FEELER GAUGE SİNTLE		BORSCOPE BOROSKOP		RADIUS GAUGE RADIUS BAŞTAR		MAGNIFYING LENS BÜYÜTEÇ	
												MIRROR AYNA		ENDSCOPE ENDOSKOP		WELD GAUGES KAYNAK KURŞAKI		VIDEOSCOPE VİDEOSKOP		PROFILE MEAS. DEVICE PROFİL ÖLÇÜM CİHAZI		OTHER DİĞER	
SKETCHES AND REMARKS / ÇİZİMLER VE AÇIKLAMALAR																							
ITEM NO SIRA NO	WELD NO KAYNAK NO	WELD PROCESS KAYNAK YÖNTEMİ	WELDER NO KAYNAKÇI NO	WELD LENGTH KAYNAK UZUNLUĞU	DIAMETER Ø (mm)	THICKNESS KALINLIK (mm)	DEFECT TYPE HATA TİPİ	LOCATION OF DEFECT HATANIN YERİ	ACCEPT KABUL	REJECT RET													
1	TEST PARÇASI (200)	135	-	-	-	10mm	511	0-48															
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
DESCRIPTIONS AÇIKLAMALAR							TOTAL CONTROL LENGTH TOPLAM KONTROL UZUNLUĞU		EMPLOYER APPROVAL İŞ VEREN ONAYI														
EXAMINED BY MUYAYENE YAPAN				EVALUATED BY DEĞERLENDİREN																			
NAME / AD SOYAD TUFAN AKIN				NAME / AD SOYAD TUFAN AKIN																			
LEVEL/SINIF LEVEL B				LEVEL/SINIF LEVEL B																			

Mill Test Certificate

Customer Purchase		Product Hot rolled stainless steel coil Condition of Supply: 1D/No.1/Solid solution/Pickling/C			
Specification EN10028-7 EN10088-4:2009 ASTMA240/A240M		Grade 1.4404/316L	Mill S'No. 946171-240		Certificate No. 4644945096610340
			Customer Order No. MYS2003BAY001-BAY		Consignment No. MYS200273A
			Mark Of Manufacturer: 		Melting furnace EAF+AOD K-OBM-S+VOD
Heat Treatment Temperature Solution 1040-1100°C Quenching in water					

No.	Material No.	Heat No.	Dimensions (mm)	Quantity	Weight (Kg)	 0035-CPR-A210 EN10088-4
1	FA00431330K20	A1001378	10*1500	1	8480	
Acceptable Visual And Dimensions:OK				Total	1	8480

No.	Max	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%	N%
1	H	0.016	0.46	1.13	0.028	0.001	16.6	10.0	2.1	0.04

No.	P.D	Y.S. Rp0.2 Mpa	Y.S. Rp1.0 Mpa	T.S. Rm Mpa	EL. A5 %	Hardness HBW	Hardness HBW
1	2	Room	Room	Room	Room	Room	Room

No.	Max	Y.S. Rp0.2 Mpa	Y.S. Rp1.0 Mpa	T.S. Rm Mpa	EL. A5 %	Hardness HBW	Hardness HBW
1	2	316	361	586	57	168	168

Notes	C-Cutting edge; H-Heat analysis; P-Product analysis; D-Electroslag remelting; P.D-Position and Direction; Y.S.=Yield Strength (Room = Normal Temperature (Room Temperature)); T.S.=Tensile Strength; EL.=Elongation; A5:Lo=5.65SQRT(So); 2= () Transverse
-------	---

Remarks	1.The quality management system is in conformity with ISO9001:2015 standard and ISO14001:2015. 2.No weld repair; Free of mercury.No radiation contamination. 3.CREDIT NUMBER:203011220AA00005
---------	---

Issued by Manufacturer:
We hereby certify that material described herein has manufactured and tested with satisfactory results in accordance with the requirements of the above material specification.



Manufacturer:SHANXI TAIGANG STAINLESS STEEL CO.,LTD.
Jiancaoping,Taiyuan,Shanxi,P.R. China. zip code 030003
After-sale Service:800-806-1998 400-653-1998


Quality Manager

KAYNAKLAR

- [1] **Odabas, C.** (2004). “*Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri*”, Askaynak-İstanbul.
- [2] **Tülbentçi, K. ve Kaluç, E.** (1994). “*Geçmişten Günümüze Paslanmaz Çelikler*”, META, Sayı 20, 47-52.
- [3] **Türkyılmazoğlu, A.** (2006). “*Dubleks, Martenzitik ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4] Teknik Metal Endüstri Malzemeleri Tic. ve San. A.Ş., “*Paslanmaz Çelikler*”, Adana, 2002.
- [5] **Gözütok, E.** (2009). “*Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Argon-Hidrojen Gaz Karışımının Birleştirmelerin Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerine Etkisi*”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] **Kaluç, E. ve Tülbentçi, K.** (1998). Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi, Eğitim ve Uygulama Merkezi.
- [7] **ABINGTON PUBLISHING.** (1994). Welding Metallurgy of Stainless Steels”, Abington Welding Training Module, Cambridge, 1-45.
- [8] **Kayır, Y. Z.** (2003). “*Türkiye Paslanmaz Çelik Üretebilir mi?*”, II.Ulusal Demir Çelik Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara, 11-23.
- [9] **Url-1** <https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-imagefiles/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_TR.pdf>, alındığı tarih: 05.04.2022.
- [10] **Aran, A. ve Temel, M. A.** (2004). “*Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller Üretimi-Kullanımı-Standartları*”, SARITAŞ TEKNİK YAYIN NO:1, 2. BASKI, İstanbul, Ağustos
- [11] **Url-2** <<https://uslularhadde.com/paslanmaz-celikler>>, alındığı tarih: 05.04.2022.
- [12] **Kurt, U.** (1988). “*Paslanmaz çelik kaynak özelliklerinin incelenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimi Enstitüsü, Ankara.
- [13] **Aran, A. ve Temel, M. A.** (2004). “*Paslanmaz Çeliklerin Üretimi, Kullanımı, Standartları*”, Sarıtaş Teknik Yayın No:1, 2. Baskı, İstanbul, 54-65.
- [14] **Stoeckinegarand G.R. ve Neumann J.P.** (1970) J.App1.Cryst,3, p.32.
- [15] **Url-3** < http://www.askaynak.com.tr/contents/34/20110704120329_paslanmaz-celikler.pdf>, alındığı tarih: 11.04.2022.
- [16] **Odabaş, C.** (2004) “*Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri*”, Askaynak-İstanbul.
- [17] **Aran, A.** (2003). “*Paslanmaz çelik üretimi kullanımı standartları*”, 3. Baskı, Sarıtaş Teknik Yayınları, No: 1, İstanbul
- [18] **El-Batahgy A.M.** (1997). “*Effect of laser welding parameters on fusion zone shape and solidification structure of austenitic stainless steels*”, Material Letters, 32.
- [19] **Url-4** <http://www.askaynak.com.tr/contents/34/20110704120329_paslanmaz-celikler.pdf>, alındığı tarih: 05.04.2022.

- [20] **Smith, W. F.** (2000). “*Paslanmaz Çelikler, Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri- Cilt 1*”, Çeviri, ERDOĞAN, M., Ankara, 169-214.
- [21] **Aran, A. ve Temel, M. A.** (2004). “*Paslanmaz Çelik*”, Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul.
- [22] **Brooks, J.A. and Lippold, J.C.** (1993). ASTM Handbook, Volume 6, “*Welding Stainless Steels, Selection of Wrought Austenitic Stainless Steels*”, 456-470.
- [23] **Yıldırım M. M.** (1981). Malzeme bilgisi, F.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Yayın No: 61.
- [24] **Abuç, S.** (2006). “*Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi ile Kaynağında Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi*”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25] **Anık, S.** (1991). Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü.
- [26] On dokuz mayıs üniversitesi MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ Malzeme Üretim Laboratuvarı I Deney Föyü KAYNAK DENEYİ.
- [27] **Url-5**<<https://personel.omu.edu.tr/files/1298/files/B%C3%B6l%C3%BCm%202-Kaynakl%C4%B1-%20Birle%C5%9Fimler.pdf>>, alındığı tarih: 05.04.2022.
- [28] **Tülbentçi, K.** (1998). MIG/MAG “*Gazaltı Kaynak Yöntemi*”, Arctech Yayını, İstanbul.
- [29] **Anık, S. ve Anık, E. ve Vural, M.** (1993). “*1000 Soruda Kaynak*” Teknolojisi El Kitabı, Cilt 2, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [30] **Tülbentçi, K.** (1985). “*Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*”, Böhler Kaynak Dünyası, 11.
- [31] **Kaluç, E. ve Tülbentçi, K.** (1998). “*Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği*”, Seminer Notları, Kocaeli.
- [32] **Kaluç, E.** (1990). “*Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*”, Gedik Holding Kaynak Dünyası, İstanbul.
- [33] **Url-6**<<http://w3.bilecik.edu.tr/makine/wp-content/uploads/sites/27/2016/12/kaynakteknigi-f%C3%B6y-notu.pdf>>, alındığı tarih: 11.03.2022.
- [34] **Cunat P.J.** (2007). “*Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*”, The European Stainless Steel Development Association, EURO INOX.
- [35] **Gürçan, M.** (1987). “*TIG Kaynağı*”, SEGEM (Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü, Ankara.
- [36] **Anık, S. ve Vural, M.** (1997). “*Gazaltı Ark Kaynağı (TIG.MIG.MAG)*” Gedik Holding Yayınları, 3. Baskı, İstanbul, 111–125.
- [37] **Kaluç, E.** (2004) Kaynak Teknolojisi El Kitabı. Cilt 1: “*Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri*”, Makine Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi, Kocaeli.
- [38] **Ural, M. ve Kaluç, E.** (1996). “*Paslanmaz Çeliklerin TIG Yöntemi ile Kaynağı*”, Makine & Metal Dergisi, 12-20, Mart.
- [39] **Kahraman, N.** (2009). “*Modern Kaynak Teknolojisi Ders Notları*”, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, 1-10.

- [40] **Sindo, K.** (2003). “*Welding Metallurgy, Second Edition*”, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, pp. 8-19.
- [41] **Grant, K.H.** (1998). “*Gas-Tungsten arc welding*”, ASM Handbook, Welding, Brazing, and Soldering, London, vol. 6, pp. 590-602.
- [42] **Norberto, J. ve Pires, A.L. ve Gunnar, B.** (2006). “*Welding robots, technology, system issues and applications*”, British Library Cataloguing in Publication Data Pires, pp. 25-35.
- [43] **Kırmacı A.T.** (2007). “*Tungsten Elektrotların Hazırlanması ve Seçilmesi İçin İpuçları*”, Askaynak.
- [44] **Eryürek, B.** (2003). “*Gazaltı Kaynağı*”, Askaynak Yayınları, Mart.
- [45] **Suban, M. ve Tusek, J.** (2001). “*Dependence of Melting Rate in MIG-MAG Welding on the Type of Shielding Gas Used*”, J. Mater. Proc. Tech, pp. 119, 1-3, 185-192.
- [46] **Yılmaz, R.ve Barlas, Z.** (2005). “*Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi*”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, sayı. 11, 391-400.
- [47] **Kaluç, E. ve Sarı, N.Y.** (1996). “*Paslanmaz Çeliklerin MIG Yöntemi ile Kaynağı*”, Metal ve Kaynak 32-75, İstanbul.
- [48] **Folkhard, F.** (1984). “*Welding Metallurgy of Stainless Steel*”, Springer-Verlag Wien, Newyork.
- [49] **Baggerud A.** (1966). “*Çelikler İçin Kaynak Metalurjisi.*”, Çeviri: ANIK S.ve TÜLBENTÇİ K, İstanbul.
- [50] **Lin, Y.C. ve Chen, P.Y.** (1997). “*Effect Of Preheating On The Residual Stress İn Type 304 Stainless Weldment, Journal Of Materials Processing Technology*”, pp. 145- 151, 797-801.
- [51] **Eryürek, İ.B.** (1998). “*Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağı*”, Askaynak Yayını, İstanbul
- [52] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (2006) “*Metal Teknolojisi, MIG Kaynağı*”, Megep (Meslekî Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), Ankara.
- [53] **Liao, M.T. ve Chen, P.Y.** (1998). “*The Effect of Shielding-Gas Compositions on The Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Weldments*”, Materials Chemistry and Physics, pp. 55, 145-151.
- [54] **Roover, M.P.** (2010). “*Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems.*” (4th ed., pp.729-730). New York: Wiley
- [55] **Url-7**<<http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr>>, alındığı tarih: 12.03.2022.
- [56] **İpek, İ.** (2008). “*Nikel ve Monel Malzemelerin Kaynağı*”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [57] **Anık, S. ve Tülbentçi, K. ve Kaluç, E.** (1991). “*Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı*”, Gedik Holding Yayını, İstanbul.
- [58] **Eşme, U.** (2006). “*Effect of Pool Geometry on the Quality of TIG Welded Joints*”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [59] **Şirin, K.** (2004). “*Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Spiral Boru Üretiminde Kaynak Dikiş Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*”, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [60] **Tülbentçi, K.** (1990) “*Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*”, MIG-MAG Eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding, İstanbul.
- [61] **Linnert, G.E.** (1994) “*Welding Metallurgy-Carbon and Alloy Steels*”, Fourth Edition, vol. 1, Chapter 7, U.S.A.
- [62] **Url-8** <<http://www.imkosanmuhendislik.com.tr/solutions/centik-darbe-testi/>>, alındığı tarih: 12.05.2022.
- [63] **Url-9** <<https://www.zwickroell.com/tr/sektoerler/malzeme-testi/darbe-testi/centikli-cubuk-darbe-testi-metal-iso-148-1/>>, alındığı tarih:15.05.2022.
- [64] **Url-10** <<https://www.askaynak.com.tr/yayinlar/bultenler/kaynakli-birlestirmeye-uygulanacak-tahribatli-testler-nelerdir>>, alındığı tarih: 15.05.2022.
- [65] **Url-11** <<http://www.matil.org/uploads/numunetalimat.pdf>>, alındığı tarih:15.05.2022.
- [66] **Url-12** <<http://www.matil.org/uploads/numunetalimat.pdf>>, alındığı tarih:15.05.2022.
- [67] **Url-13** <<http://www.makinaegitimi.com/vickers-sertlik-olcme-yontemi/>>, alındığı tarih:04.06.2022.

ÖZGEÇMİŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2007, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji
Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

