

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT BİLİM DALI**

**LAZER VE TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ AISI 304
PASLANMAZ ÇELİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE
GERİLMELİ KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Ali Osman EMET

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Selda AKGÜN KAYRAL**



MANİSA-2019

Ali Osman
EMET

**LAZER VE TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ AİSİ 304 PASLANMAZ
ÇELİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE GERİLMELİ
KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

2019

TEZ ONAYI

Ali Osman EMET tarafından hazırlanan " Lazer Ve TIG Kaynağı İle Birleştirilmiş AISI 304 Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Ve Gerilmeli Korozyon Davranışının İncelenmesi "adlı tez çalışması 19/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Dr. Öğr. Üyesi Selda AKGÜN KAYRAL**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Uğur ÇAVDAR**
İzmir Demokrasi Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Elif MALYER**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ali Osman EMET



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	2
2.1. Paslanmaz Çeliklere Uygulanan Kaynak Türleri.....	6
2.1.1. Gazaltı Kaynak Yöntemi (MIG-MAG).....	7
2.1.2. Tozaltı Kaynak Yöntemi	9
2.1.3. Örtülü Elektrotlu Ark Kaynağı Yöntemi	10
2.1.4. TIG Kaynağı Yöntemi	12
2.1.5. Lazer Işın Kaynağı Yöntemi	16
2.2. Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu.....	21
2.2.1. Paslanmaz Çeliklerde Gerilmeli Korozyon.....	24
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
3.1. Numunelerin Birleştirilmesi.....	29
3.1.1. Lazer Kaynağı ile Birleştirme	29
3.1.2. TIG Kaynağı ile Birleştirme	32
3.2. Metalografik Analiz	34
3.3. Mikrosertlik Testi.....	36
3.4. Çekme Testi (Tensile Test)	37
3.5. Üç Nokta Eğme Testi	38
3.6. Gerilmeli Korozyon Testi	40
3.6.1. Bükme Aşaması	40
3.6.2. Koroziv Çözeltide Bekletme Aşaması	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	45
4.1. Mikroyapı İncelemeleri.....	45
4.2. Sertlik Ölçümleri.....	47
4.3. Çekme Testi Sonuçları	49
4.4. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları.....	50
4.5. Gerilmeli Korozyon Testi Sonuçları	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	58
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Birim Alan
AC	Alternatif Akım
AISI	American Iron And Steel Institute
ASTM	International Standards Worldwide
CNC	Bilgisayar Sayımlı Yönetim
DC	Doğru Akım
DIN	Alman Standardlar Enstitüsü
EN	Europeane Norm
E	Elastisite Modülü
GKÇ	Gerilmeli Korozyon Çatlamaı
GMK	Gövde Merkezli Kübik
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
L	Son Boy
L₀	İlk Boy
MAG	Metal Aktif Gaz
MIG	Metal Inert (Pasif) Gaz
Nd: YAG	Yitrium Alüminyum Gamet
P	Uygulanan Yük
TİG	Tungsten Inert Gas
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
σ	Gerilme
ϵ	Elastik Şekil Değişimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Pasivasyon İşleminin Kendini Yenilemesi	2
Şekil 2.2. Schaeffler Diyagramı	6
Şekil 2.3. WRC 1992 Diyagramı	7
Şekil 2.4. Gazaltı Kaynağı Kaynak Bölgesi	8
Şekil 2.5. Gazaltı Kaynağı Ekipman Şeması	8
Şekil 2.6. Tozaltı Kaynak Prensi Şeması	9
Şekil 2.7. Bakır Altılığının Kaynak Bölgesi Altındaki Konumu	10
Şekil 2.8. Örtülü Elektrot Ark Kaynağı Ekipman Şeması	11
Şekil 2.9. TIG Kaynağı Şematik Gösterimi	13
Şekil 2.10. TIG Kaynağı Temel Ekipmanları	13
Şekil 2.11. TIG Kaynağında Sıcak Tel Kullanımı	15
Şekil 2.12. Farklı Parametrelerde TIG Kaynağı Uygulamaları.....	16
Şekil 2.13. Lazer Işını Oluşumu.....	17
Şekil 2.14. Lazer Işınının Oluşum Evreleri.....	18
Şekil 2.15. CO ₂ Lazer Kaynağının Endüstride Uygulanışı.....	19
Şekil 2.16. Lazer Kaynak Mekanizmasının Şematik Görünümü.....	20
Şekil 2.17. Lazer Kaynak ve Geleneksel Kaynağın Karşılaştırılması	20
Şekil 2.18. Pitting (Oyuklanma) Korozyonunun Oluşma Tipleri	23
Şekil 2.19. 304 Çelik Malzemede Taneler Arası Cr ₂₃ C ₆ Çökeltisinin Oluşması	24
Şekil 2.20. Paslanmaz Çelik Malzemelerde Gerilmeli Korozyon Örneği	25
Şekil 2.21. Isıl İşlemin Taneler Arası Korozyona Etkisi	27
Şekil 3.1. Kaynak Yapılacak AISI 304 Levhaların Hazırlanması	29
Şekil 3.2. Alpha Laser ALM200 Lazer Kaynak Makinesi Görünümü	30
Şekil 3.3. Lazer Kaynağın Operatör Tarafından Gerçekleştirilmesi.....	31
Şekil 3.4. Zenweld Ultimate 315 AC/DC TIG Kaynak Makinesi	32
Şekil 3.5. TIG Kaynağın Operatör Tarafından Gerçekleştirilmesi	33
Şekil 3.6. (1) TIG Kaynak (2) Lazer Kaynak Uygulaması Sonucu	34
Şekil 3.7. Struers CitoPress 1 Sıcak Bakalite Alma Cihazı	34
Şekil 3.8. Struers Labopol 5 Zımparalama ve Parlatma Cihazı	35
Şekil 3.9. Nikon Eclipse LV150N Dijital Görüntüleme Cihazı.....	35
Şekil 3.10. Future-Tech FM-700 Marka Cihaz.....	36
Şekil 3.11. Sertlik Ölçüm Prensi.....	36
Şekil 3.12. Çekme Testi Numunesi Boyutları (TS EN ISO 4136)	37
Şekil 3.13. Çekme Testi Cihazı.....	37
Şekil 3.14. Üç Nokta Eğme Deneyinin Şematik Gösterimi	38
Şekil 3.15. Eğme Numunesi Boyutları (TS EN ISO 5173)	39
Şekil 3.16. Numune Üzerinde Eğme Testinin Uygulanması	39
Şekil 3.17. Eğme Deneyi Sonrası Numuneler.....	40
Şekil 3.18. Bükme Numunesi Ölçüleri	41
Şekil 3.19. Bükme Aparatı Boyutları.....	41
Şekil 3.20. Bükülen Numunelerden Bazıları	42
Şekil 3.21. Numune Gruplarının Çözelti İçinde Bekletilmesi	43
Şekil 4.1. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Ana Metal İçyapı Fotoğrafları.....	45
Şekil 4.2. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Kaynak Bölgesi	45
Şekil 4.3. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Geçiş Bölgesi.....	46

Şekil 4.4. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Ana Metal İyapı Fotoğrafi	46
Şekil 4.5. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Geçiş Bölgesi	47
Şekil 4.6. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Kaynak Metali	47
Şekil 4.7. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Mikrosertlik Grafiği	48
Şekil 4.8. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Mikrosertlik Grafiği..	48
Şekil 4.9. Kaynakla Birleştirilmiş Ve Kaynaksız Numunelere Ait Max Çekme Gerilmesi Grafiği	49
Şekil 4.10. Kaynakla Birleştirilmiş Ve Kaynaksız Numunelere Ait Yüzde Uzama Grafiği	50
Şekil 4.11. Kaynakla Birleştirilmiş Ve Kaynaksız Numunelere Ait Max Eğme Gerilmesi Grafiği	50
Şekil 4.12. Kaynakla Birleştirilmiş Ve Kaynaksız Numunelere Ait Deplasman Grafiği	51
Şekil 4.13. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve Eğme Testi Uygulanmış Numunenin Kaynak Bölgesi Fotoğrafi	51
Şekil 4.14. TIG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve Eğme Testi Uygulanmış Numunenin Kaynak Bölgesi Fotoğrafi	52
Şekil 4.15. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 168 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmamış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu....	52
Şekil 4.16. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 192 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmamış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu....	53
Şekil 4.17. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 360 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmamış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu....	53
Şekil 4.18. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 384 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmamış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu....	53
Şekil 4.19. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 408 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmamış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu....	54
Şekil 4.20. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 168 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu	55
Şekil 4.21. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 192 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu	55
Şekil 4.22. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 360 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu	55
Şekil 4.23. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 384 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu	56
Şekil 4.24. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 408 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu	56

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Paslanmaz Çelik Sınıfları ve Kimyasal Değerler	4
Tablo 2.2. Paslanmaz Çelik Yüzey Özellikleri	4
Tablo 2.3. Paslanmaz Çeliklerin Tiplerine Göre Uygulama Alanları.....	5
Tablo 2.4. Korozyon Türleri (ASM Handbook, Vol 13., 1992)	22
Tablo 2.5. Çeşitli Alaşımlarda GKÇ'ye Yol Açan Ortamlar	26
Tablo 3.1. AISI 304 Kimyasal Bileşimi (Ağırlıkça %)... ..	28
Tablo 3.2. AISI 304 Mekanik Özellikleri	28
Tablo 3.3. Lazer Kaynak Makinesi Teknik Özellikleri.....	30
Tablo 3.4. Kullanılan Lazer Kaynağı Parametreleri	31
Tablo 3.5. Kullanılan TIG Kaynağı Parametreleri.....	32
Tablo 3.6. Hassaslaştırılmış ve Hassaslaştırılmamış TIG Kaynaklı Numunelerin Ağırlık Kaybı	44



TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum tez çalıőmasının bütun bölümlerinde desteğini benden esirgemeyen, bilgi, birikim ve deneyimleriyle çalıőmamda bana ışık tutan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Selda AKGÜN KAYRAL'a, yapmış olduğum bütun deneysel çalışmalarda bana samimiyetle yardımcı olan Sayın Makine Y. Mühendisi Gökhan EYİCİ'ye, yüksek lisans eğitim sürecimde maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli iş arkadaşlarıma ve Lütfi BİNİCİOğLU'na, eğitim hayatım boyunca en büyük destekçim olan ve desteklerini her zaman en güçlü şekilde bana hissettiren çok kıymetli aileme içtenlikle ve samimiyetle teşekkürlerimi sunarım.

Ali Osman EMET
Manisa, 2019



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LAZER VE TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ AISI 304 PASLANMAZ ÇELİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE GERİLMELİ KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Ali Osman EMET

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selda AKGÜN KAYRAL

304L paslanmaz çelikler, sadece korozyon dayanımı değil, kolay şekil verilebilme, yüksek mukavemet dayanımı, farklı sıcaklıklarda çalışabilme gibi özelliklerinden dolayı endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Bunların yanında, imalat sanayinin en çok istediği özellik kaynaklanabilirliktir. 304L östenitik paslanmaz çelikler, iyi kaynaklanabilirliğinden dolayı endüstride kendine geniş bir yer bulmaktadır.

Bu malzemelerdeki en büyük handikap, onlara paslanmazlık özelliğini kazandıran Cr elementinin kaynaklanma esnasında tane sınırlarında CrC çökeltileri meydana getirmesidir. Kaynak bölgesine gerilme uygulanması durumunda, malzemenin tane sınırlarından ayrılarak gerilmeli korozyon çatlama neden olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, 304L paslanmaz çeliklerin gerilmeli korozyon davranışları incelenmiş ve sanayiye bu noktada ışık tutulması amaçlanmıştır. 304L paslanmaz çelik levhalar TIG ve Lazer kaynak yöntemleriyle birleştirilmişlerdir. Birleştirilmiş numunelere mikroyapı, sertlik, çekme ve üç nokta eğme testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar hem kaynaklı numuneler hem de kaynaklı numunelerle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşaması, gerilmeli korozyon davranışının incelenmesidir. Gerilmeli korozyon davranışı TIG kaynaklı numunelere uygulanmıştır. Bükülerek gerilme işlemi uygulanan numunelerin bir kısmına 600°C'de 4 saat bekletilerek hassaslaştırma işlemi uygulanmıştır. Ardından tüm numuneler %10 HCl çözeltisinde, sırasıyla 24-408 saat aralığında bekletilmiş ve numunelerde gerilmeli korozyon çatlama oluşup oluşmadığı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 304 paslanmaz çelik, TIG kaynağı, Lazer kaynak, Hassaslaştırma, Korozyon, Gerilmeli korozyon çatlama

2019, 64 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND STRESS CORROSION BEHAVIOR OF AISI 304 STAINLESS STEELS BONDED WITH LASER AND TIG WELDING

Ali Osman EMET

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Selda AKGÜN KAYRAL

304L stainless steels are widely used in the industry because of corrosion resistance, easy formability, high strength, working at different temperatures. In addition, weldability is the most desired feature of the manufacturing industry. 304L austenitic stainless steels have wide area due to their good weldability.

The biggest handicap in these materials is that Cr element, which gives its stainless feature, forms CrC precipitates during welding and precipitating at the grain boundaries. In case of stress on the welded area, these precipitates move away from the grain boundaries and cause stress corrosion cracking.

In this study, stress corrosion behavior of 304 L stainless steels commonly used in the market is investigated and it is aimed to shed light on the industry at this point. 304 L stainless steel plates were welded by TIG and Laser welding methods. Welded samples were tested with microstructure, hardness, tensile and three-point bending tests. The results obtained were compared with non-welded samples and welded samples.

Then, the second stage of the study that is stress corrosion behavior is investigated. Stress corrosion behavior was applied only to TIG welded samples. Some of the samples which were subjected to stretching with bending process were applied to sensitization for 4 hours at 600 ° C. Then, all samples were immersed in 10% HCl solution for 24-408 hours respectively and investigated whether stress corrosion cracking.

Keywords: AISI 304 Stainless steel, TIG welding, Lazer welding, Sensitization, Corrosion, Stress corrosion cracking

2019, 64 pages

1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, özellikle korozyon etkilerine karşı yüksek dayanımından dolayı makine endüstrisinde ve daha birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yalnız korozyon dayanımı değil ayrıca kolay şekil verilebilme, mekanik özelliklerinin iyi olması, uzun ömürlülük, yüksek ve düşük sıcaklıklarda kullanımı da paslanmaz çeliğin öne çıkan özelliklerindedir. Üretimde karşılaşılan kaynakla birleştirme, sıcak veya soğuk ortamlarda çalışmaya bağlı deformasyon, korozyon ortamlarda bulunma, yük altında çalışma vb. durumlarda kullanılan malzemenin azami direnç göstermesi beklenmektedir. AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik, yukarıda bahsettiğimiz özellikleri barındırmasından dolayı endüstride en yaygın olarak kullanılan malzemelerden bir tanesidir.

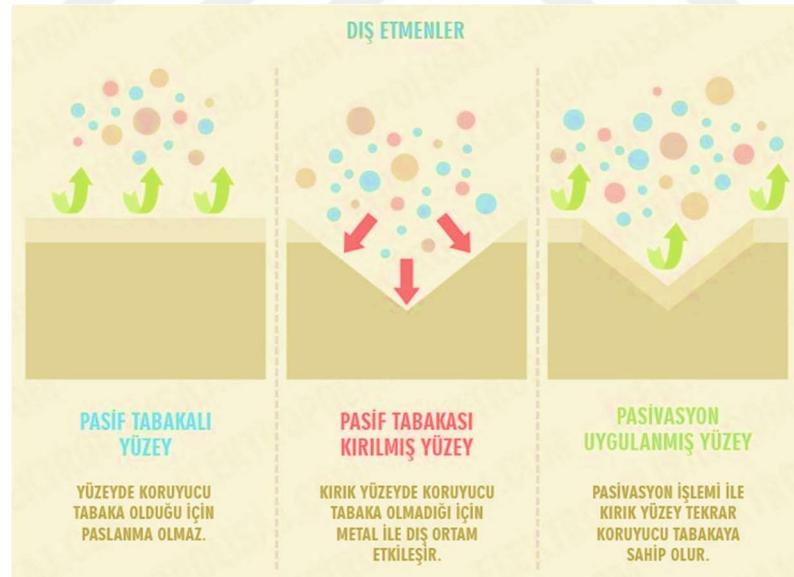
Paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kaynakla birleştirme işlemi birleştirme yöntemlerinden en yaygın kullanılanıdır. Tig kaynağı, lazer kaynak, gazaltı kaynak, tozaltı kaynak, örtülü elektrot kaynağı vb. kaynak türleri en çok kullanılan yöntemlerden bazılarıdır. Paslanmaz çeliklere şekil vermek için endüstride talaşlı veya talaşsız üretim yöntemleri uygulanmaktadır. Talaşlı üretim yöntemi olarak genellikle torna, freze, planya vb. tezgahlarda talaş kaldırma yöntemleri uygulanır. Dövme, pres, haddeleme, ekstrüzyon gibi talaşsız üretim yöntemleri de paslanmaz çelikler için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; lazer veya TIG kaynak yöntemleriyle birleştirilmiş, piyasada en yaygın olarak kullanılan malzemelerden birisi olan, AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin, endüstrideki üretim ve daha sonraki kullanım aşamalarında uğrayabileceği mekanik zorlanmaları ve korozyon ortamlarda bulunma süresine karşın malzemede oluşan yapısal deformasyon ve mikroyapı değişimi miktarını incelemektir.

2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler; içerisinde ağırlığının minimum %10,5 oranında Cr (krom) elementi içeren, Fe (demir) esaslı alaşımlardır. 1913 yılında İngiliz Harry Brearly tarafından keşfedilmiştir. Harry Brearly çeliğin içindeki Cr oranının %12'lere çıkardığı zaman korozyon direncinin arttığını görmüştür ve bu şekilde paslanmaz çeliği ilk ortaya çıkaran kişi olmuştur [1].

Paslanmaz çeliğin içinde bulunan krom elementi, atmosferde bulunan O (oksijen) elementiyle bir araya geldiği zaman metalin yüzey kısmında Cr_2O_3 (krom-oksit) tabakası oluşturur, bu tabakaya aynı zamanda pasivasyon tabakası da denmektedir. Pasivasyon tabakası metalin yüzeyini çok ince bir zar gibi kaplar ve metale dışarıdan nüfuz edebilecek olan su, gaz vb. maddelerin girişini engeller. Bu şekilde metal oksitlenmeye ve korozyona daha dirençli hale gelmektedir. Ayrıca metal yüzeyinin maruz kalacağı delinme, yırtılma gibi deformasyonlarda pasivasyon tabakası kendini yenileyerek metali dış etmenlerden korumaya devam etmektedir [2].



Şekil 2.1. Pasivasyon İşleminin Kendini Yenilemesi [2]

Paslanmaz çelikler, günümüzde inşaat, hafif-ağır makine sanayi, tıp, gıda endüstrisi gibi pek çok alanda kullanılır. Kullanıldığı alanın gereksinimlerine göre de farklı türleri mevcuttur. Paslanmaz çeliğin türleri içerdiği element (krom, nikel,

titanyum, bakır, sülfür, fosfor vb.) ve uygulanan üretim proseslerine göre farklılık göstermektedir [3].

Paslanmaz çelikleri kristal evrelerine ve mikro yapılarına göre sınıflarsak;

1. Östenitik paslanmaz çelikler: En önemli özelliği manyetik özelliğinin olmaması olan bu çelikler, demir elementi etrafında yapılanan nitrojen, krom, magnezyum, nikel içeren paslanmaz çelik alaşımlardır. Kristal yapısı yüzey merkezli kübiktir (YMK). Piyasada 304 ve 316 paslanmaz çelik olarak adlandırılan malzemeler en yaygın kullanılanlarındandır [4].
2. Ferritik paslanmaz çelikler: Isıya maruz kaldığında sertleşme göstermeyen bu çelikler manyetik özelliklidir ve östenitik paslanmaz çeliklere göre paslanma direnci daha düşüktür. Krom alaşımlı çeliklerdir. Kristal yapısı gövde merkezli kübiktir (GMK). Piyasada 409 ve 430 paslanmaz çelik olarak adlandırılan malzemeler en yaygın kullanılanlarındandır [4].
3. Martenzitik paslanmaz çelikler: Mukavemet özellikleri diğer türlerden iyidir ancak paslanma direnci en kötü olan türdür. %16'dan az krom ve %0,3 karbon içerirler. Manyetik özelliğe sahiptirler. Bu çeliklerin kaynakla birleştirmek oldukça zordur. Karbon oranı yüksek olduğu için ısı ile sertleştirilebilir. Piyasada 420 paslanmaz çelik olarak adlandırılan malzemeler en yaygın kullanılanlarındandır [4].
4. Dupleks paslanmaz çelikler (Östenitik-Ferritik): Ferritik ve östenitik çeliklerin özelliklerini bir arada bulundurlar. Korozyon dirençleri ve kaynak kabiliyeti yüksektir. %0,02 karbon, %5,5 nikel, %22 krom, %3 molibden içerirler [4].

Tablo 2.1. Paslanmaz Çelik Sınıfları ve Kimyasal Değerler [4]

	ASTM	Kimyasal Değerler (%)				
		C	Cr	Ni	Mo	Diğer
Ferritik	409	0,02	12	-	-	Ti
	S41050	0,02	11,5	0,4	-	-
	410S430	0,04	12	-	-	-
	S42010	0,04	13,5	-	-	-
Martenzitik	S42010	0,20	13	-	-	-
	420	0,30	12,5	-	-	-
Dubleks	S32304	0,02	23	4,5	-	-
	329	0,02	25	5	1,5	-
	S311803	0,02	22	5,5	3	-
	S32750	0,02	25	7	4	-
Östenitik (genel kullanım amaçlı)	201	0,05	17	5	-	Mn
	301	0,10	17	7	-	-
	304L	0,02	18,3	9,2	-	-
	304	0,04	18,3	8,7	-	-
	304LN	0,02	18,3	8,7	-	-
	321	0,04	18,3	9,2	-	Ti
	305	0,02	18	11,5	-	-
	316L	0,02	17,3	11	2,2	-
	316	0,04	16,8	10,7	2,2	-
	316LN	0,02	17,5	11	2,2	-
	316TI	0,04	17	11	2,2	Ti
	317L	0,02	18,3	12,2	3,2	-
	317LN	0,02	17	11	3,2	-
Östenitik (ısıya karşı dayanıklı)	304H	0,05	18,3	8,7	-	-
	321H	0,05	17,3	9,2	-	Ti
	S30415	0,05	18,5	9,5	-	Si, Ce
	309S	0,06	22,5	12,5	-	-
	310S	0,05	25	20	-	-
	S35315	0,05	25	35	-	Si, Ce

Tablo 2.2. Paslanmaz Çelik Yüzey Özellikleri [4]

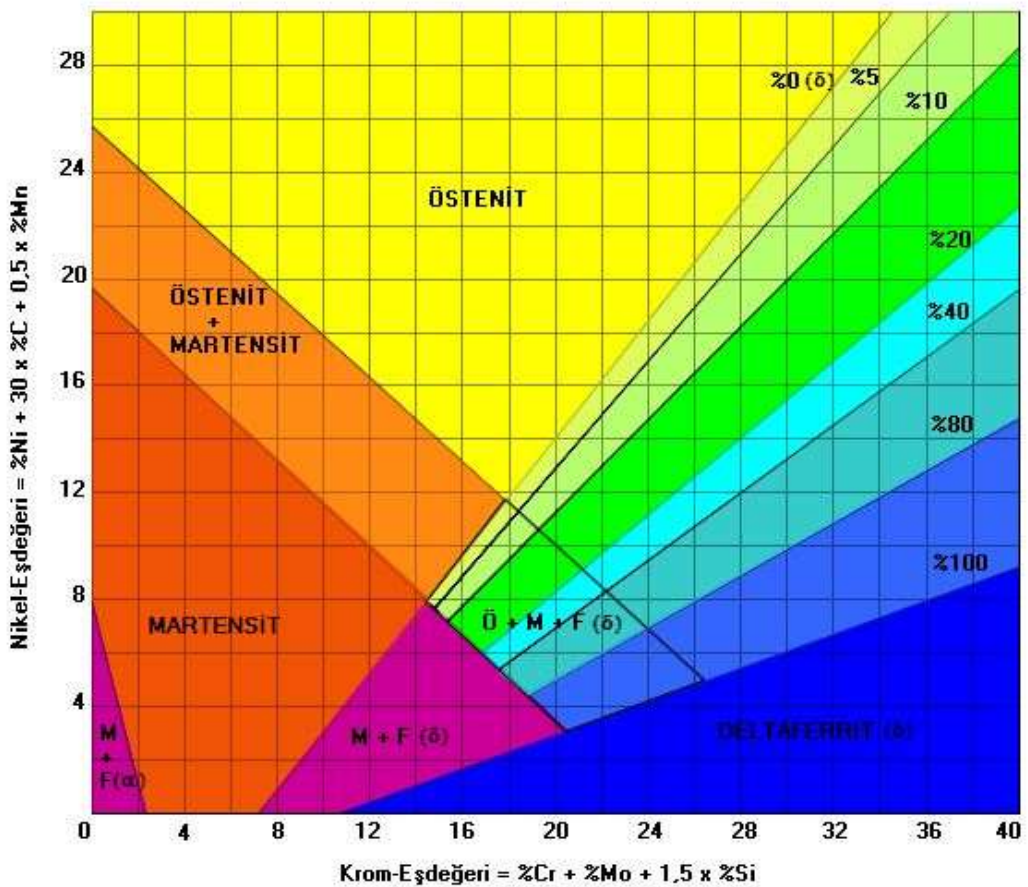
Kodlar			Açıklama
ASTM	EN	DIN	
1	1D	c2/lia	Sıcak çekilmiş, tavllanmış, mat yüzey
2D	2D	h/IIIb	Soğuk çekilmiş, tavllanmış, mat yüzey
2B	2B	n/IIIc	Soğuk çekilmiş, tavllanmış, mat yüzey, temizlenerek hafifçe parlatılmış
3	2G	o/IV	Soğuk çekilmiş, tavllanmış, mat yüzey, satine işlemi uygulanmış
4	2J	p/V	Soğuk çekilmiş, tavllanmış, mat yüzey, satine işlemi uygulanmış
BA	BA	m/lid	Soğuk çekilmiş, tavllanmış, parlak yüzey
	HL		Scotch brtte (firçalanmış yüzey)

Tablo 2.3. Paslanmaz Çeliklerin Tiplerine Göre Uygulama Alanları [4]

AISI TP	Özellikleri	Uygulama Alanları
304	Paslanmaz çeliğin en yaygın çeşididir.450° C'ye kadar yüksek oksidasyon mukavemeti sağlar.	Gıda, mutfak, mutfak eşyaları, ev eşyaları, otomotiv ve tıp endüstrisinde, evye üretiminde kullanılmaktadır.
304L	AISI 304'ün düşük karbonlu versiyonudur.	Depolama tankları ve kazanlar için uygunluk gösterir. Genellikle 400° C'nin altındaki sıcaklıklarda kullanılır.
316	İçerdiği molibden sayesinde mukameveti çok yüksektir. 650° C'ye kadar yüksek oksidasyon mukavemeti sağlar.	Kimya, petro-kimya ve gıda sanayinde kullanılır. Buhar kazanlarında, mutfaklarda ve cephe kaplamalarında kullanılır.
316L	AISI 316'nın düşük karbonlu versiyonudur. Ancak 450° C'ye kadar yüksek oksidasyon mukavemeti sağlar.	Kimya, petro-kimya, gıda endüstrisinde, deniz ve endüstriyel atmosfer şartlarında kullanılmaktadır.
316TI	İçerdiği titanyum sayesinde korozyon hassasiyeti oluşmaz. 650° C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda sürekli kullanılabilir..	Kimya, petro-kimya, kömür, selüloz, tekstil, reçine ve lastik sanayinde kullanılır.
309/309S	1050° C'ye kadar olan sıcaklıklarda oksidasyon mukavemeti yüksektir. Kükürtlü ve azotlu gazlara karşı mukavemet gösterir. Çekme dayanımı ve sürtünme özellikleri iyidir	Fırın yapımında, ısıtıcılarda, sementasyon kutularında ve yüksek sıcaklıkta kullanılacak malzemelerde kullanılır
310/310S	AISI 304'e benzerlik gösterse de yüksek sıcaklık malzemesidir. 1200° C'ye kadar kullanılır. Özellikle kaynak kabiliyeti ve korozyon dayanımı yüksektir.	Fırın yapımında, buhar kazanlarında, petrol tesislerinde ve boru hatlarında kullanılır.
321	İçerdiği titanyum sayesinde korozyon hassasiyeti oluşmaz. 1000° C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda sürekli kullanılabilir. Kaynak kabiliyeti gaz eritme dışındaki yöntemler için çok iyidir.	Gıda,içki ve fotoğraf sanayinde kullanılır.Ayrıca kimya endüstrisinde de kullanılır.
430	Temel ferritik paslanmaz çelik kalitesidir. Korozyon dayanımı yeterlidir.	Otomotiv sanayinde, mutfak aletlerinde ve dekoratif uygulamalarda kullanılır.
430TI	İçerdiği titanyum sayesinde korozyon hassasiyeti oluşmaz. Isı iletkenliği iyidir. Yüksek sıcaklık dayanımı iyidir. Kaynak kabiliyeti orta seviyededir.	Sıcak su sistemlerinde, eksoz borularında ve de çamaşır makinlerinde kullanılabilir.

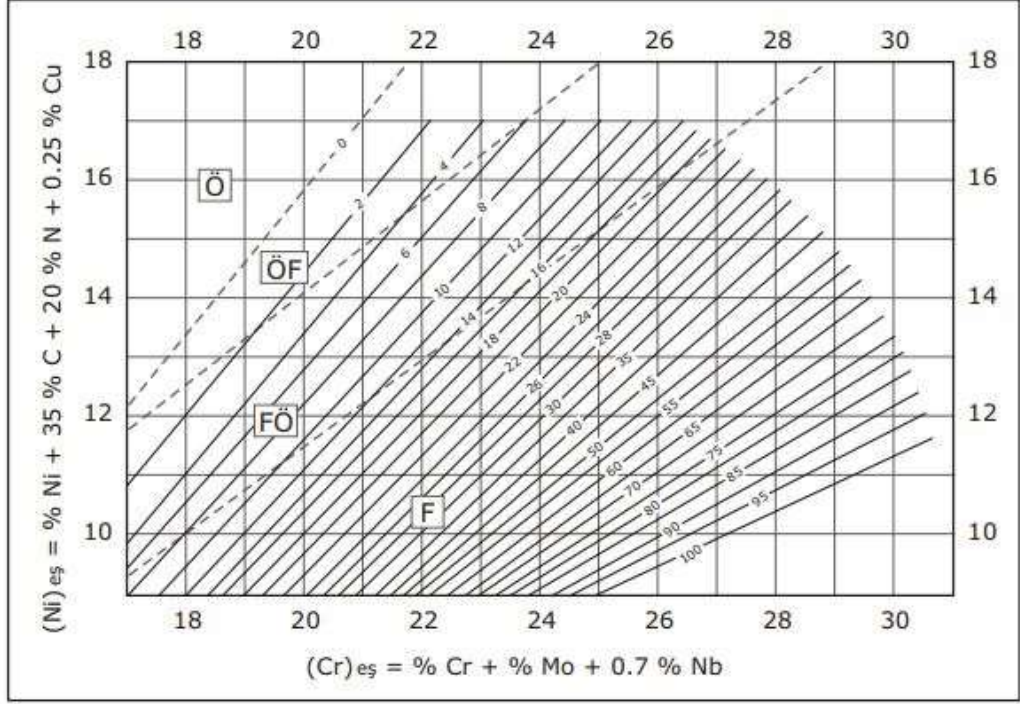
2.1. Paslanmaz Çeliklere Uygulanan Kaynak Türleri

Paslanmaz çeliklere basınç ve ergitme kaynak yöntemleri uygulanır. Yapılacak kaynak işlemi ana metalin özelliklerine göre (korozyon, ısı dayanımı vb.) değişiklik göstermektedir. Bazı paslanmaz çeliklerde doğru kaynak türü belirlenmesinde 'Schaeffler Diyagramı' kullanılabilir. Schaeffler diyagramı; Krom-nikel alaşımli metalin iç yapısını tespit etmede kullanılır. Bu diyagram sayesinde kullanılacak krom-nikel elektrot belirlenir ve çatlama vb. oluşmadan kaynak yapılabilir [5].



Şekil 2.2. Schaeffler Diyagramı [5]

Schaeffler diyagramının, yapıdaki N (azot) etkisini hesaba katmadığı için bazı uzmanlar tarafından yetersiz görüldüğü olmuştur. Ancak bir başka diyagram olan WRC-DeLong diyagramı yapıdaki azot etkisini hesaba katmıştır ve birçok kaynak uzmanın yaygın olarak kullandığı diyagram olmuştur. Bugün ise en yaygın olarak kullanılan diyagram WRC 1992 diyagramıdır [5].

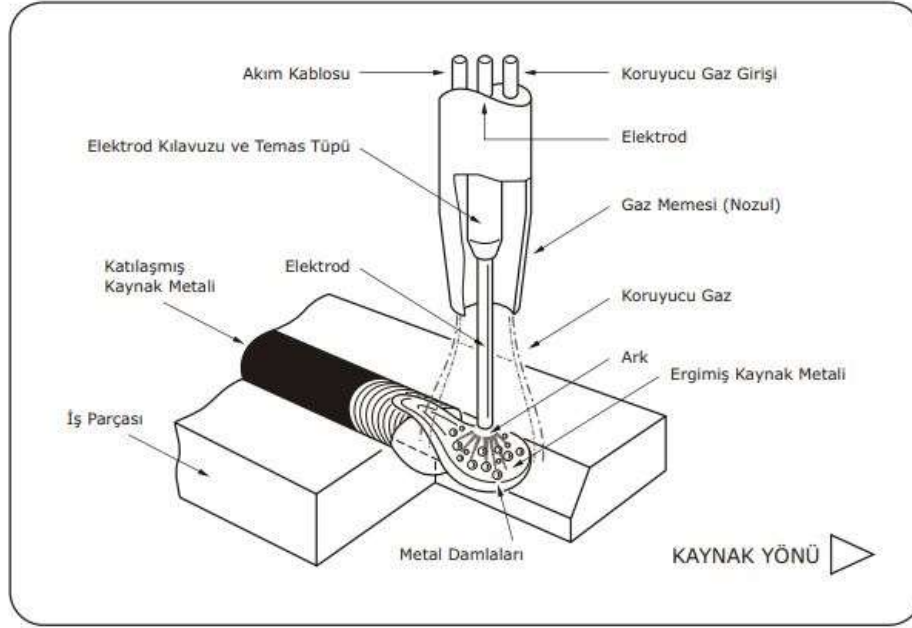


Şekil 2.3. WRC 1992 Diyagramı [5]

Bu diyagramlar ışığında paslanmaz çeliklere uygulanan başlıca kaynak türlerine değinirsek; gazaltı kaynak yöntemi, tozaltı kaynak yöntemi, tig kaynağı yöntemi, örtülü elektrotlu ark kaynağı yöntemi, lazer kaynak yöntemi kullanılır. Bizim bu çalışmamızda kullandığımız yöntem bunlardan TIG kaynağı ve lazer kaynak yöntemleridir.

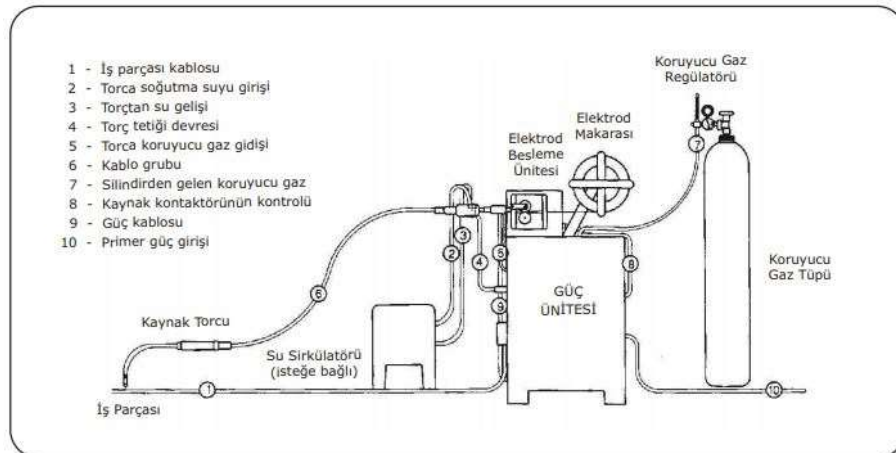
2.1.1. Gazaltı Kaynak Yöntemi (MIG-MAG)

Gazaltı kaynağı adından da anlaşılacağı üzere kaynak işleminin koruyucu gaz altında yapıldığı yöntemdir. Besleme nozulunda dışarıdan sürekli olarak sağlanan elektrotun oluşturduğu ark ile ergiyen malzemeler, Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, ergiyen kaynak bölgesinin katılaşmasıyla birleşir. Kaynak esnasında nozuldan gelen gaz ise hassaslaşan kaynak bölgesinin atmosferle irtibatını keserek hatasız bir kaynak bölgesi oluşmasına katkı sağlar [6].



Şekil 2.4. Gazaltı Kaynağı Kaynak Bölgesi [6]

Gazaltı kaynak yöntemi MIG/MAG yöntemi olarak da adlandırılır. MIG (Metal Inert Gas) yönteminde koruyucu gaz olarak asal gazlar örn: Ar (argon), MAG (Metal Active Gas) yönteminde ise koruyucu gaz olarak aktif gazlar örn: CO₂ (karbondioksit) veya karışım gazlar (Ar+CO₂) kullanılır. Gazaltı kaynak yapmak için gereken donanım başlıca; güç üretici, elektrot besleme, koruyucu gaz ve torç bölümlerinden oluşmaktadır. Güç ünitesi, kaynak için gerekli akımı üretir. Torç ise elektrot, koruyucu gaz ve akımı kaynak bölgesine iletir [7].

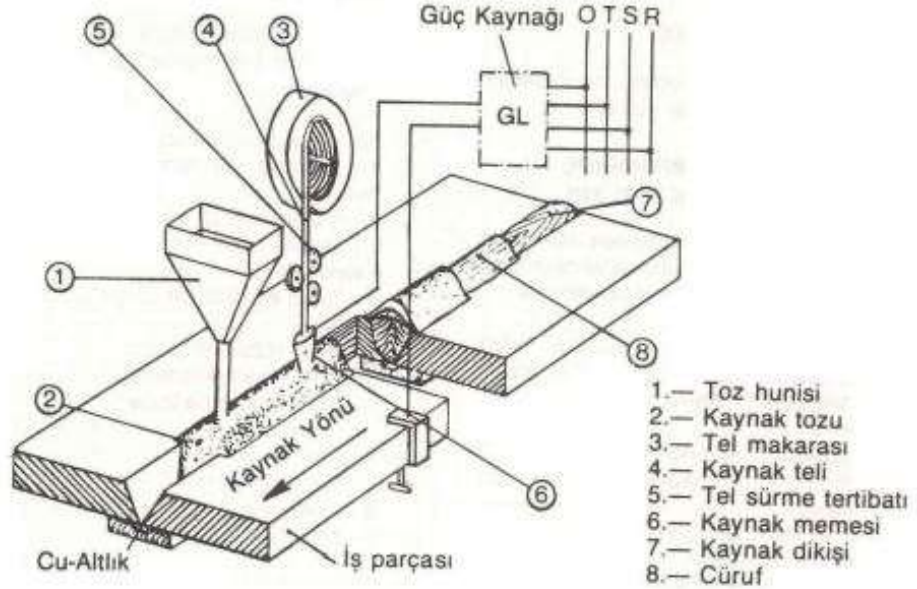


Şekil 2.5. Gazaltı Kaynağı Ekipman Şeması [7]

Gazlatı kaynak yöntemi, karbonlu çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, nikel, bakır ve alaşımlarında kullanılabilir. Paslanmaz çelikler, yüksek alaşımlı çelikler için aktif koruyucu gaz (CO₂ ve karışımları) kullanılması uygundur [7].

2.1.2. Tozaltı Kaynak Yöntemi

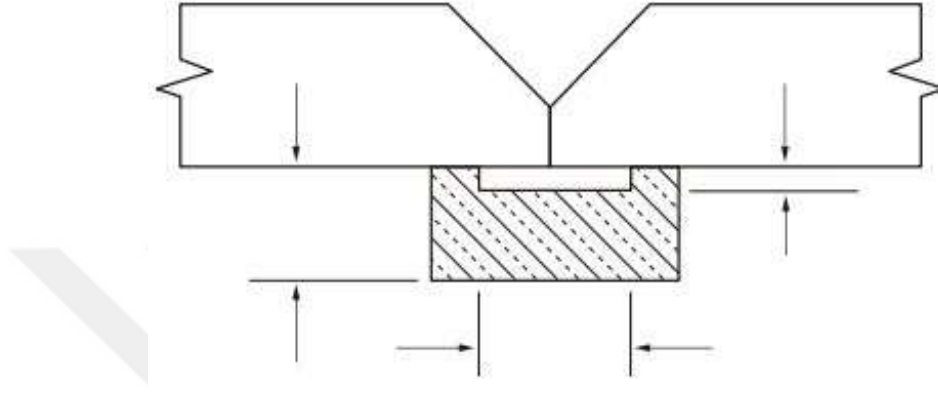
Tozaltı kaynak yönteminde meydana gelen ark, elektrot ve kaynak yapılacak malzeme arasında oluşur. Kaynak bölgesi hazneden dökülen tozun altında kalır ve kaynak işlemi tozun altında devam eder. Kabaca gazaltı kaynakta gazın yaptığı işlevin benzeri burada toz ile yapılır. Bu kaynak türünde toz, kaynak bölgesini atmosferin olumsuz koşullarından korur, zararlı metal tozlarının ve dumanın saçılmasını engeller. Kaynakta kullanılan toz, kaynak dikişinin kalitesini arttıracak şekilde alaşımlandırılabilir. Elektrot, elektrot makarasından nozula kesintisiz olarak besleme yapar ve kesintisiz bir kaynak işlemine imkân verir [8].



Şekil 2.6. Tozaltı Kaynak Prensi Şeması [8]

Tozaltı kaynağı yöntemi, yavaş soğuma özelliğine sahip paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılır. Eğer kaynak metalinin östenitik yapıda olması veya düşük oranda ferrit içermesi istenen durumlarda bu kaynak tipi önerilmez. Kaynak nüfuziyeti

bu kaynak türünde çok yüksek olduğu için ince malzemelerin (ör: <16mm) kaynağında kaynak altlığı kullanılır. Kaynak altlığı ergiyen veya ergimeyen malzemelerden oluşmaktadır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan başlıca ergimeyen altlıklar bakır ve seramik altlıklardır. Ergiyen altlıklar kullanıldığı takdirde altlığın daha sonra ana parçadan kesilip atılması gerekmektedir veya kaynamış halde malzemeye dahil olur [8].



Şekil 2.7. Bakır Altlığın Kaynak Bölgesi Altındaki Konumu [8]

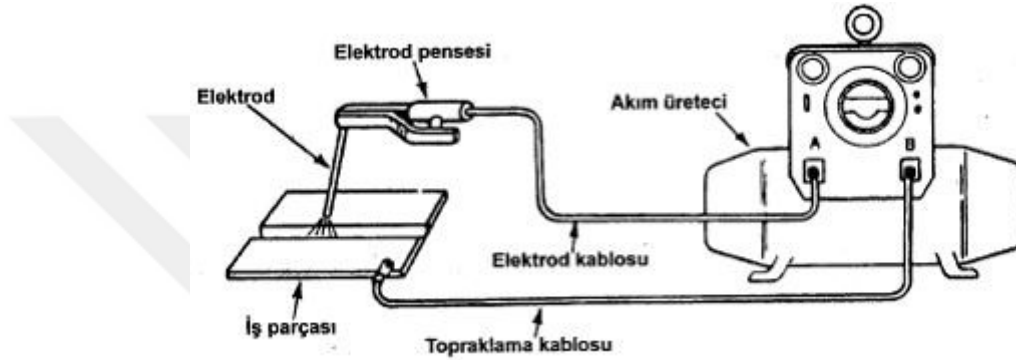
Tozaltı kaynakta kullanılan tozlar iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar, aglomere edilmiş (küçük parçaların bir araya getirilip birleştirilmesi ile oluşturulmuş) ve eritilmiş tip tozlardır. Eritilmiş tozlar, tozu oluşturan elementlerin bir aradan eritilip daha sonra toz haline getirilmesiyle oluşturulur. Aglomere edilmiş tozlar ise tozu oluşturacak elementlerin bir araya getirilip uygun yapıştırıcıyla beraber ısıtılarak birleştirilmesi sonucu oluşturulur. Bu tozları seçerken, kaynak bölgesinde oluşturmak istenen alaşım da belirlenebilir. Yani krom, molibden, nikel vb. elementleri toz yardımıyla kaynak bölgesindeki alaşıma dahil edebilir [9].

2.1.3. Örtülü Elektrotlu Ark Kaynağı Yöntemi

Örtülü elektrotlu ark kaynağı, bir örtü malzemesiyle kaplanmış telin elektrot olarak kullanıldığı kaynak türüdür. Burada elektrot diğer kaynak türlerinde olduğu gibi sürekli değildir yani tükenen bir elektrottur. Kaynak bölgesi, telin etrafında bulunan örtü maddesinin yanması sonucu açığa çıkan gazlar sayesinde dış etmenlere karşı korunur. Ayrıca örtü malzemesinin eriyip kaynak banyosuna karışması kaynak

dikişinin kalitesini artırır. Kaynak işleminin pratik olması, kaynak elemanlarının kolay taşınabilir olması, kullanım alanlarının çeşitliliği gibi avantajları örtülü elektrotlu ark kaynağının yaygın kullanımının en büyük sebeplerindendir [10].

Bir örtülü elektrotlu ark kaynağı devresi; güç kaynağı (AC veya DC), elektrot pensesi, örtülü elektrot ve şase pensesinden oluşmaktadır. Burada güç kaynağından alınan akım kablolar ve pens yardımıyla elektrot üzerinden iş parçasına aktarılır ve ark oluşturur [10].



Şekil 2.8. Örtülü Elektrot Ark Kaynağı Ekipman Şeması [10]

Elektrot örtüsünün, kaynak bölgesinin sıhhati açısından birçok faydası vardır. Arkın tutuşmasını kolaylaştırır, dikiş üzerinde cüruf tabakası oluşturarak kaynak bölgesinin geç soğumasını sağlar, yanma sonucu koruyucu gaz açığa çıkararak kaynak bölgesini atmosferin olumsuz etkenlerine karşı korur. Elektrot örtüleri, rutil elektrotlar, asit elektrotlar, oksit elektrotlar ve bazik elektrotlar olmak üzere birkaç farklı türde sınıflandırılmaktadır. Düşük akımda rahatlıkla kullanılabilir [11].

Rutil elektrotların büyük bir oranını (%35) titandioksit oluşturur bunun yanında kuvarz, feldspat, selüloz, ferromangan, sodyum ve potasyum silikat içermektedir. Sodyum ve potasyum silikat bağlayıcı görevi yapmaktadır. Düz veya alternatif akımda kullanılabilir [12].

Asit elektrotlar kuartz, demiroksit, ferromangan ve bazı dezoksidan maddeler içerir. Akışkandır ve düz dikiş sağlayan bir elektrot tipidir. Kaynak bölgesinin üzerinde oluşan örtü oksitleyici özelliğe sahiptir ve bu özelliğiyle kaynak bölgesindeki alaşım elementlerini yakmaktadır [12].

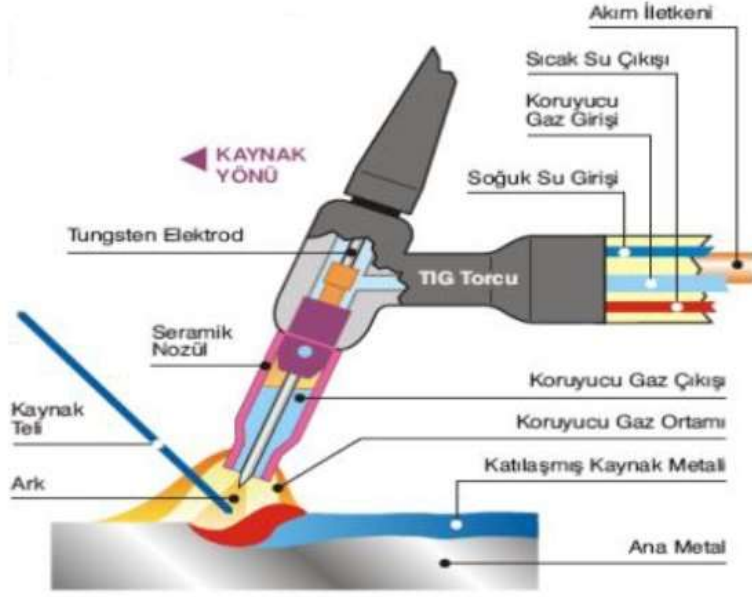
Oksit elektrotların ana maddesi demiroksittir. Yüksek akım altında çalışır ve kaynak bölgesi oldukça akışkandır. Düzgün görümlü kaynak dikişi elde etmek için bu elektrot kullanılabilir [12].

Bazik elektrotlar, kalsiyum, kalsiyum florür ve toprak alkali metallerin karbonatlarını içerir. Çok akışkan bir cüruf yapısına sahip olduğu için rutil ve silikatla örtü desteklenir [12].

Paslanmaz çeliklerin kaynağında bu elektrot türlerinde rutil ve bazik tip örtülü elektrotlar (bazik örtüler mutlaka doğru akımda kullanılmalıdır) kullanılır [12].

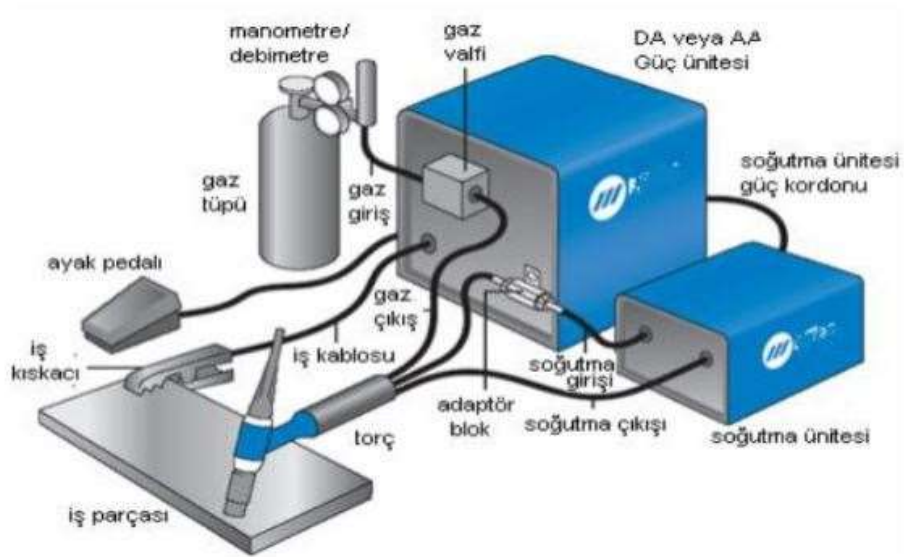
2.1.4. TIG Kaynağı Yöntemi

TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağında diğer kaynak türlerinden farklı olarak tükenmeyen bir tungsten elektrot kullanılır. Tungsten, toryum, lantan ve seryumla alaşımlandırılmıştır. Bu kaynak tipinde ark, tungsten elektrot ile malzeme arasında oluşur, genel olarak çoğu metalin kaynağında doğru akım kullanılır ancak alüminyum malzemeler alternatif akımla kaynak yapılır. MIG/MAG kaynak türünde olduğu gibi koruyucu gaz kullanımı TIG kaynağında da mevcuttur. Kullanılan koruyucu gazlar; argon, helyum, karbondioksit ve karışım gazlardır. Kaynak işlemi esnasında tungsten elektrot erimeği için, dolgu malzemesi olarak, ilave metal kullanılabilir [13].



Şekil 2.9. TIG Kaynağı Şematik Gösterimi [13]

İlave metal akım yüklü değildir, çubuk halinde sonlu olarak veya makaradan beslenerek sürekli halde kullanılır. Bazı TIG kaynağı düzeneklerinde kaynak torcunu soğutmak için su soğutucu sistem de bulunmaktadır. Kaynak elemanlarını tümüyle ele aldığımızda kullanılan elektrot dışında MIG/MAG kaynağıyla arasında pek bir farklılık öne çıkmamaktadır [13].



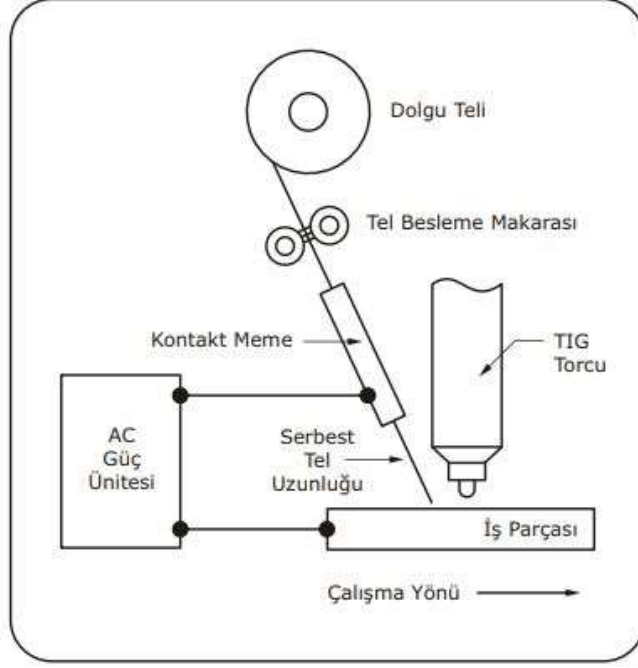
Şekil 2.10. TIG Kaynağı Temel Ekipmanları [14]

Tungsten elektrotların tipi kaynak edilen metal türü ve kaynak yöntemine göre farklılık göstermektedir. Örneğin; paslanmaz çeliklerde doğru akım ile alaşımlı tungsten elektrotlar kullanılırken, magnezyum ve alüminyum alaşımlarında alternatif akım ile alaşımsız saf tungsten elektrotlar kullanılır [14].

TIG kaynağının başlıca avantajları; manuel ve otomatik kaynak sistemlerinde kullanımı uygundur, ince malzemelerin kaynağı için uygundur, kaynak dikişi oldukça düzgündür, her pozisyonda kaynak yapılabilir, ısı kaynak bölgesinde yoğunlaştığı için malzemede deformasyona yol açmaz. Bu avantajların yanı sıra, tungsten elektrotun kaynak banyosuna karışması, düşük akımdan kaynaklanan yetersiz ergime ve gözenek oluşumu TIG kaynağının dezavantajları arasındadır [14].

Bu çalışmada kullanılan kaynak türlerinden biri olan TIG kaynağı, paslanmaz çeliklerin her türünde kullanılabilir. Koruyucu gaz olarak çoğunlukla argon gazı kullanılır ancak kalın parçalar kaynaklanırken argon gazına helyum gazı da ilave edilir. Argon gazının akış hızı düşüktür ve stabil bir ark oluşturur, böylelikle ark voltajı düşük tutulur. Bu durum ince malzemelerin kaynağında bize büyük avantaj sağlamaktadır. Yukarıda bahsettiğimiz tungstenin toryum, lantan ve seryumla alaşımlandırılmasının avantajı, saf tungsten elektrota göre daha yüksek akıma uygun olması ve kaynak arkının kararlılığının daha yüksek olmasıdır [15].

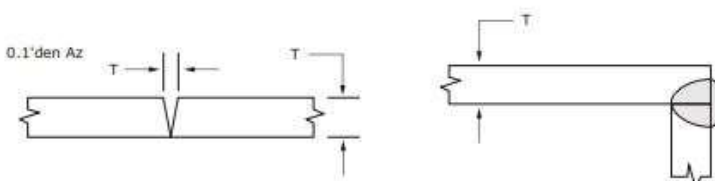
TIG kaynağında kullanılan dolgu teli malzemeleri MIG/MAG kaynağı ve tozaltı kaynaklarda kullanılan dolgu malzemeleriyle benzerlik teşkil etmektedir. Kaynak yapılacak malzemenin özelliğine göre seçilebilir. Dolgu telinin sıcak ve soğuk olarak iki tip uygulaması mevcuttur. Soğuk dolgu teli uygulaması yaygın olarak kullanılan uygulamadır ve tel beslemesi kaynak banyosunun önünden yapılır. Sıcak dolgu teli uygulamasında Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, tel makaradan salınarak kontakt meme dediğimiz ısıtıcı ünitenin içinden geçer ve buradan kaynak bölgesine gider. Kaynak bölgesine varmadan erime noktasına gelen bu ilave tel, ayrıca tungsten elektrot tarafından ısıtılıp eritmeye ihtiyaç duymaz böylelikle tungsten elektrot enerjisini ana malzemeyi eritmek için kullanır [16].

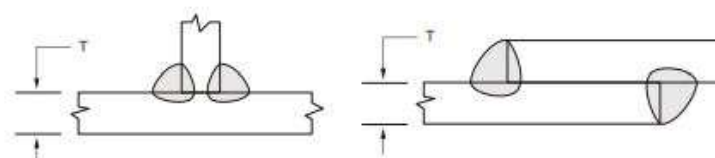


Şekil 2.11. TIG Kaynağında Sıcak Tel Kullanımı [16]

Güç ünitesi seçiminde doğru akımlı (DC) ve yüksek frekanslı üniteler tercih edilmelidir. Yüksek frekans sayesinde elektrot ucu malzemeye temas etmeden ark oluşur, bu durum elektrotun paslanıp aşınmasını engeller ayrıca kaynak banyosuna tungsten karışımının da önüne geçmiş olur [16].

Paslanmaz çeliklerin kaynağında birden fazla tungsten elektrot kullanılması kaynak hızını arttıran bir sebeptir. Kaynak işlemi yüksek hızda gerçekleşirse kaynak dikişi yanında oluşan kaynak oluklarının oluşmasının engellenmesinde de bu durum avantaj sağlamaktadır. Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde farklı uygulamalar mevcuttur. Şekil 2.12’de farklı birleşme türleri ve değişken parça kalınlıklarına göre uygulamalar gösterilmiştir [16].

						
Parça Kalınlığı "T" (mm)	1.6	2.4	3.2	4.8	6.4	12.7
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2
Akım (amp) DC (-)	80-100	100-120	120-140	200-250	200-350	225-375
Gaz Debisi Argon (lt/dak)	4.7	4.7	4.7	7.1	9.4	11.8
Tel Çapı (mm)	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2
Kaynak Hızı (mm/sn)	5.1	5.1	5.1	4.2	3.4	3.4
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0548	0.0548	0.0548	0.0656	0.0820	0.0820

						
Parça Kalınlığı "T" (mm)	1.6	2.4	3.2	4.8	6.4	12.7
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2
Akım (amp) DC (-)	90-100	110-130	130-150	225-275	225-350	225-375
Gaz Debisi Argon (lt/dak)	4.7	4.7	4.7	7.1	9.4	11.8
Tel Çapı (mm)	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2
Kaynak Hızı (mm/sn)	4.2	4.2	4.2	3.4	3.4	3.4
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0656	0.0656	0.0656	0.0820	0.0820	0.0820

Dik aşağıdan yukarıya ve tavan pozisyonlarında kaynak akımı % 10 - 20 azaltılarak kullanılabilir.

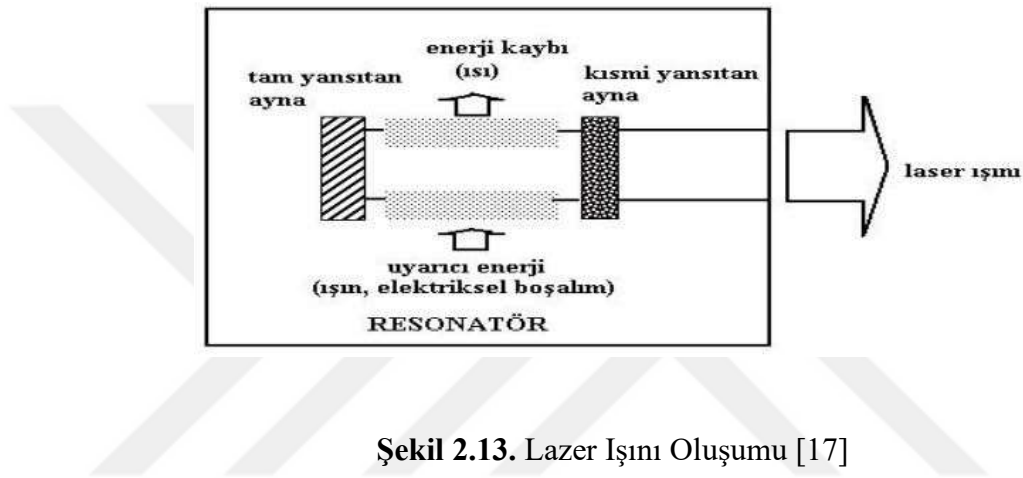
Şekil 2.12. Farklı Parametrelerde TIG Kaynağı Uygulamaları [16]

2.1.5. Lazer Işın Kaynağı Yöntemi

LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) anlam olarak, ışının uyarılmış yayınımla ile ışığın güçlendirilmesi anlamına gelir. Aynı fazlı, yoğun, tek renkli, paralel dalgalara sahip ve yüksek genliğe sahip bir ışık demetidir. Bir diğer deyişle, suni bir radyasyon tetiklemesiyle ışığın kuvvetlendirilmesidir [17].

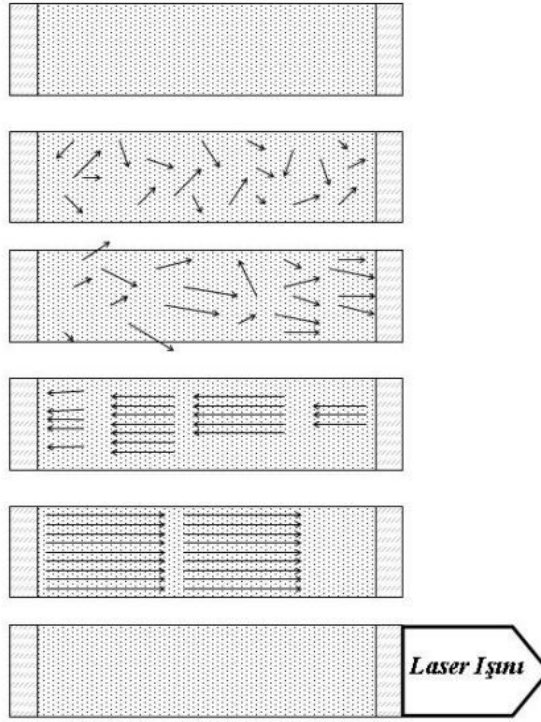
Lazer ışın teorisi ilk olarak 1917 yılında Albert Einstein tarafından ortaya atılmıştır. 1960 yılında ise ABD'li fizikçi Theodore Maiman sentetik bir yakut kristali kullanarak ilk işletim darbeleri lazer üretimini gerçekleştirmiştir [17].

Lazer ışınının oluşturulması için dört temel bileşen gereklidir. Bunlar; aktif ortam, uyarma mekanizması, yansıtıcı ayna ve yarı saydam aynadır. Aktif ortam, elektronları bir enerji kaynağı yardımıyla yüksek enerji seviyesine çıkarabilecek atomlardan oluşan ve bunu bir enerji kaynağının yardımıyla yapan mekanizmadır. Uyarma mekanizması, elektriksel, optik, kimyasal veya bunların karışımından oluşarak aktif ortama enerji sağlar. Yansıtıcı ayna, lazer ışığının tamamını yansıtan aynadır. Yarı saydam ayna, ışığın bir bölümünü geçiren bir bölümünü geçirmeyen aynadır [17].



Şekil 2.13. Lazer Işını Oluşumu [17]

Şekil 2.14’de görülen süreçleri açıklamak gerekirse: İlk evrede, atomlar temel enerji seviyesindedir. İkinci evrede, uyarılan atomlar farklı yönlerde foton oluşturmuşlardır. Üçüncü evrede, oluşan lazer ortamı ekseninde paralel yayılım gösteren fotonlar uç aynaları tarafından yansıtılmıştır. Dördüncü ve beşinci evrede, yansıma olayı defalarca tekrarlanmıştır ve fotonların etkinliği artmıştır. Son evrede ise lazer ışını etkin ortamdan dışarıya çıkmaktadır [17].



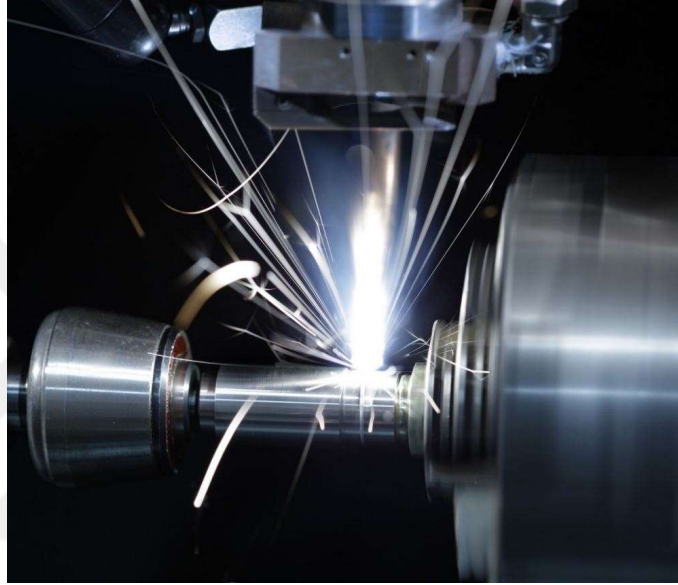
Şekil 2.14. Lazer Işınının Oluşum Evreleri [17]

Lazer ışını diğer ışık kaynaklarından yayılan ışınlar gibi dağınık olmadığı için bir cismin istenen bölgesine yönlendirilebilir. Lazerin bu özelliği sayesinde yüksek güçte lazer ışınlarının cisim üzerine gönderilmesiyle endüstriyel alanda kaynak ve malzeme kesiminde kullanılmaktadır [18].

Bu çalışmada kullanılan kaynak yöntemlerinden bir diğeri de lazer kaynağıdır. Lazer kaynağı prensip olarak, lazer üreticisinden çıkan lazer ışınının çeşitli optik ayna ve merceklerle kaynak yapılacak bölgeye odaklanması ve kaynak bölgesini ısıtarak iki parçanın birbiriyle birleşmesini sağlamaktır. Lazer kaynağı, üretim işlemlerinde geleneksel olarak kullanılan kaynak yöntemlerinin yerine kullanılabilir. Yüksek kaynak hızı, derin nüfuziyet, ve toplam ısı girdisinin düşük olması, ultra ince dikişler atılabilmesi lazer kaynağının üstün yönleri arasındadır [18].

Lazer kaynak sistemi, katı hal lazer sistemi (Nd: YAG Laser) ve gaz lazer sistemi (CO₂ Laser) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gaz lazer kaynağı sistemi de kendi içinde derin kaynak ve ısı iletim kaynağı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [19].

CO₂ lazer kaynak sistemi, 50kW'a kadar yüksek ve sürekli bir güce sahiptir. Bu sistemde aktif ortam olarak gaz karışımı (CO₂, N₂, He) kullanılır. Karışımın kullanılma sebebi tüp içinde lazer ışını meydana gelirken oluşabilecek bozulmaları engellemek içindir. Tüp içindeki CO₂ gazı lazer ışını oluşturur, N₂ gazı lazer ışınlarını uyarır ve lazerin verimini artırır, He gazı ise karışım içindeki ısı transferine yardımcı olur ayrıca CO₂ moleküllerinin taban enerjisine geri dönmesinde etkindir [20].

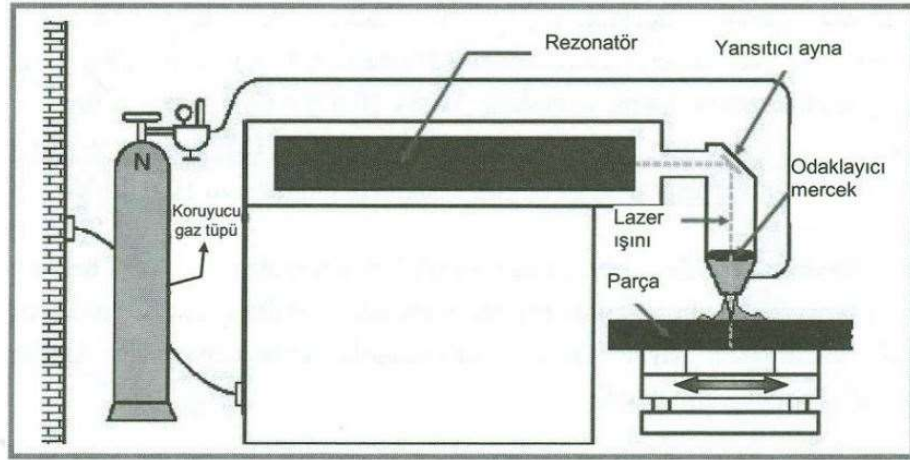


Şekil 2.15. CO₂ Lazer Kaynağının Endüstride Uygulanışı [20]

Nd: YAG (Yttrium Alüminyum Garnet) kaynak sistemlerinde YAG kristalini uyarıcı ark lambaları kullanılır. YAG kristali gelen enerjiyi emer ve 1064nm dalga boyunda kızılötesi ışın demetlerine dönüştürür. Kristalin temel uyarıcı elementi Nd (Neodimium) elementidir. Bu sistem sürekli modda çalıştığında birkaç yüz watt güçlere kadar çalışır ancak noktasal atımlı modda çalıştığı zaman ise 1kW güce kadar çıkabildiği bilinmektedir [19].

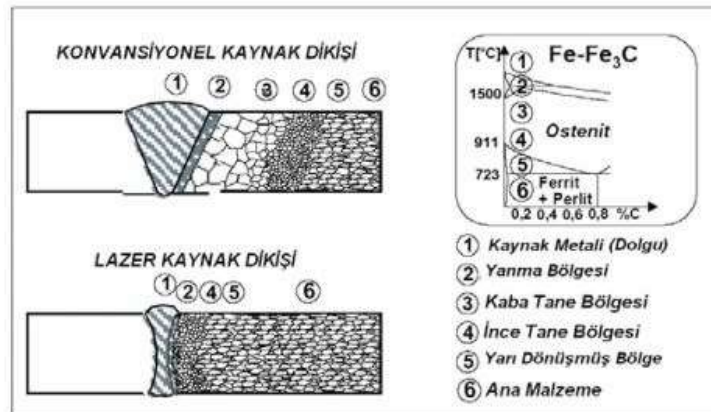
YAG lazeri başta kaynak işlemi olmak üzere, yüzey sertleştirme, kesme, delme, kaplama, markalama gibi işlemlerde endüstriyel alanda kullanılır. Yüksek güce sahip atımlı tipleri, katı hedefler üzerine odaklanmış lazer ile X-Ray üretimi için kullanılmaktadır. Atımlı lazerler ile yapılan kaynak işlemi, periyodik olarak tekrarlanan lazer atımlarının kaynak bölgesinde bir eriyik oluşturarak kaynak dikişini

meydana getirmesidir. Bu kaynak dikişinin kalitesi, atım enerjisi, frekansı, nokta genişliği, kaynak hızı gibi birçok farklı parametreye bağlıdır [19].



Şekil 2.16. Lazer Kaynak Mekanizmasının Şematik Görünümü [19]

Lazer kaynak sisteminde de diğer bahsettiğimiz kaynak sistemlerinde olduğu gibi koruyucu gazlar kullanılmaktadır. Koruyucu gazların görevi; kaynak bölgesini oksidasyona karşı korumak, kaynak nüfuziyetini arttırmak ve kaynak bölgesinde plazma oluşumunu minimuma indirmekte yardımcı olmaktadır. Koruyucu gaz olarak yaygın olarak argon ve helyum kullanılmaktadır. Ancak argon gazının helyuma göre maliyetinin düşük olması, argonun endüstride yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır. Kullanılan gaz debileri genellikle 10-40lt/dk arasında değişiklik göstermektedir. Kaynak hızı arttıkça koruyucu gaz debisi de arttırılmalıdır [21].



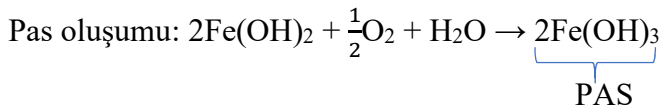
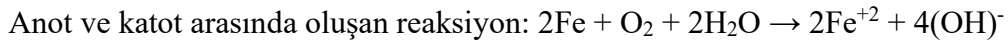
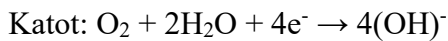
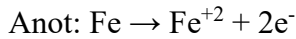
Şekil 2.17. Lazer Kaynak ve Geleneksel Kaynağın Karşılaştırılması [22]

Şekil 2.17’de de görüldüğü üzere geleneksel kaynak tipleri uygulandığında malzemenin ısı tesiri altındaki bölgesinde (ITAB) kaynak dolgusu, yanma bölgesi, kaba ve ince tane bölgesi geniş bir yere sahiptir. Bu durum malzemenin mukavemetine olumsuz olarak yansımaktadır. Ancak lazer kaynak tipinde bu bölgeler oldukça dar bir kısımda oluşur ve malzeme üzerindeki olumsuz etkileri daha azdır. Lazer kaynak tipinin diğer kaynak tiplerine göre en büyük üstünlüklerinden birisi budur [22].

2.2. Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu

Korozyon, maddelerin çevresiyle etkileşimlerinden dolayı mekanik, kimyasal veya elektriksel nedenlerden dolayı aşınmasıdır. Korozyon denildiği zaman genel olarak akla metal malzemeler gelmektedir ancak bütün malzemeler kendi özelliklerine göre korozyona uğrar. Metaller açısından korozyon, malzemede bozukluğa yol açan, malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyen, kimyasal veya elektrokimyasal bir durumdur. Kimyasal korozyonda korozyon oluşumu gaz ortam, genellikle atmosfer, içerisinde oluşur. Elektrokimyasal korozyonda ise nemli ortamlarda korozyon oluşur. Nemli ortam elektrolit oluşumunda elektriğin iletilmesini sağlamaktadır [23].

Elektrokimyasal korozyonu açıklamak gerekirse; burada korozyonun gerçekleşmesi için bazı etkenler olmalıdır. Bu etkenler; anot, katot, iletken ve elektrolittir. Anot, oksitlenen elementtir. Katot, anot malzemede açığa çıkan elektronları toplayan elementtir.



Yukarıdaki kimyasal denklem silsilesini açıklamak gerekirse; anot ve katot aralarındaki potansiyel farktan dolayı reaksiyona girer, sonrasında Fe^{+2} ve OH^{-}

difüzyona uğrayarak $Fe(OH)_2$ 'yi oluşturur, daha sonra $Fe(OH)_2$ 'nin oksijenle yeniden reaksiyona girmesi sonucu $2Fe(OH)_3$ yani pas oluşur [23].

Tablo 2.4. Korozyon Türleri (ASM Handbook, Vol 13., 1992) [24]

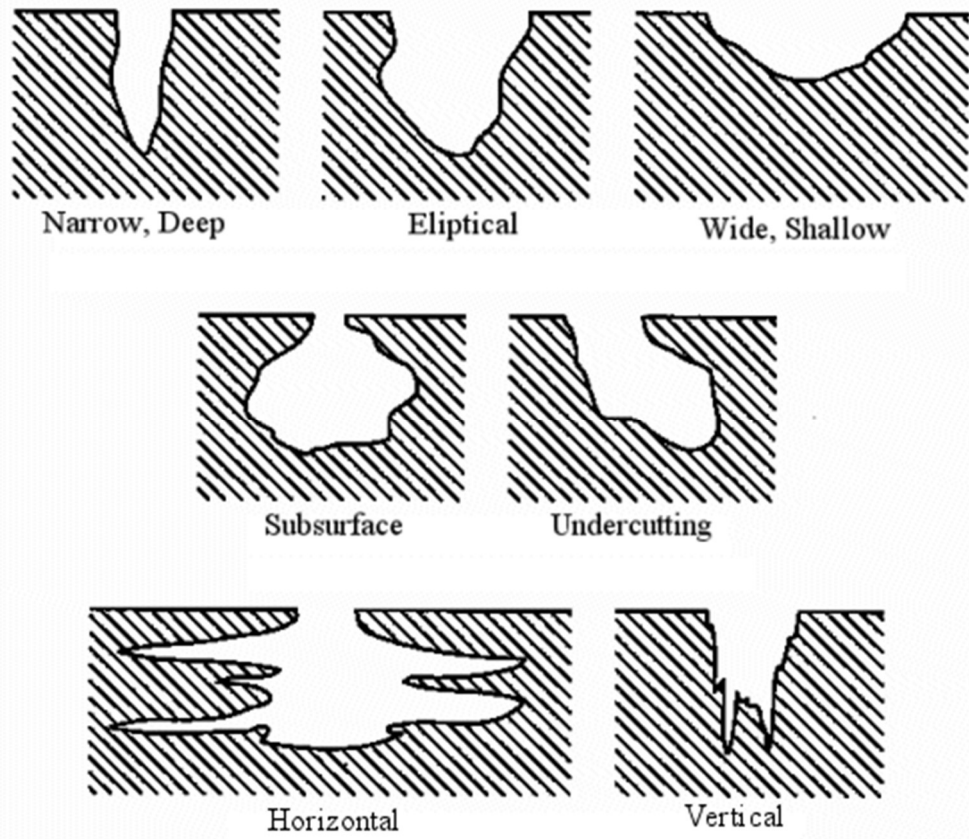


Yukarıdaki çizelgede metaller için korozyon türlerinin sınıflandırılmasını görmekteyiz. Bunlardan genel korozyon kendi içinde atmosferik, galvanik, kaçak akım, biyolojik ve yüksek sıcaklık korozyonu olmak üzere kısımlara ayrılır. Atmosferik korozyon; metalin atmosferdeki maddelerle etkileşimi sonucu uğradığı korozyondur. Galvanik korozyon; bir metalin diğer bir metale elektrolit vasıtasıyla elektriksel akım ile elektron geçişidir. Kaçak akım korozyonu; ortamda oluşan kaçak akımın metal içinde korozyon oluşturmasıdır. Biyolojik korozyon; bakteri ve mikroplar gibi biyolojik organizmaların hızlandırdığı korozyon tipidir. Yüksek sıcaklık korozyonu; oksitlenme reaksiyonunun yüksek sıcaklığın etkisiyle elektrolite gerek kalmaksızın direkt gaz ile oluşmasıdır [24].

Korozyon türleri arasında, bu çalışmada da kullandığımız, gerilmeli korozyona ayrıca değinmek gerekmektedir. Gerilmeli korozyon, malzeme üzerine zorlayıcı bir kuvvet uygulanarak malzeme yüzeyinde çatlak oluşması ve çatlakın ilerleyişi durumlarının meydana gelmesi sonucu oluşan korozyon tipidir. Elbette ki malzemede oluşan çatlak pasivasyon ile kendini koruyabilir ancak ortamdaki parametrelerden

kaynaklı korozyon hızı pasivasyon hızından fazlaysa burada korozyon gerçekleşmektedir. Gerilmeli korozyonun ayırıcı özelliği, oluşan korozyonun çatlak yüzeyinde değil çatlağın dip kısmında oluşmasıdır [25].

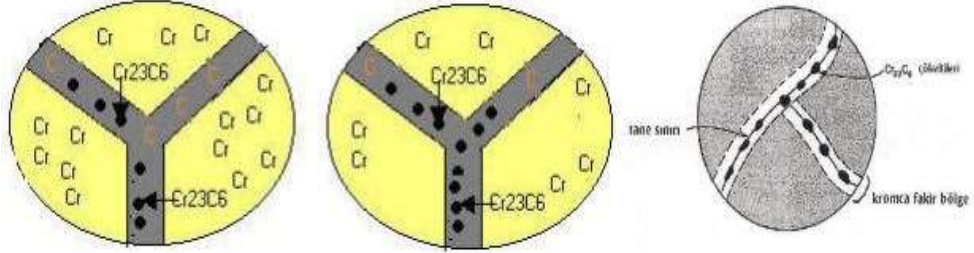
Pitting (oyuklanma) korozyonu, malzemenin yüzeyinde derinleşen bir oyukta gözlemlenen korozyon tipidir. Korozyonun oyuk içinde ilerlemesinin sebebi olarak malzemenin delindiği de çoğu zaman görülür. Bu tip korozyonun en çok karşılaşıldığı yerler, içlerinden akışkan geçen borulardır. İnhibitör kullanımı, yüksek sıcaklıklarda çalışmama, asit çözeltili ortamlardan uzak tutulması vb. oyuklanma korozyonunu engelleyen faktörlerdir [26].



Şekil 2.18. Pitting (Oyuklanma) Korozyonunun Oluşma Tipleri [26]

Taneler arası korozyon; metallerin ergime sıcaklıklarına yakın derecelerde ısınıp sonra tekrar soğuması sonucu oluşan tanecikler arası dar bölgelerin korozyon dayanımının zayıf olması kaynaklı meydana gelen korozyondur. Paslanmaz çelikte de tane sınırları olduğunda tane aralarında krom oranı düşüktür ve bu bölge malzemenin

korozyon dayanımı en düşük bölgesidir. Örneğin; 304 tip çeliği 650°C'de 1 saat beklettiğimizde malzeme içindeki krom ve karbon reaksiyona girerek krom karbür ($Cr_{23}C_6$) bileşiği oluşur. Bu bileşik çelik içinde çözülemediği için çökeltiler halinde tane sınırları arasında bulunmaktadır. Tane sınırları arasında korozyon dayanımının düşük olma nedeni bu bileşiğin oluşurken ortamdaki krom oranını düşürmesidir [26].



Şekil 2.19. 304 Çelik Malzemede Taneler Arası $Cr_{23}C_6$ Çökeltisinin Oluşması [27]

Paslanmaz çelik malzemeye kaynak yapıldığında kaynak bölgesi ergime sıcaklığına ulaşmaktadır ve tekrar soğuduğunda kaynak bölgesi çevresinde krom karbür çökmesi yoğun gözlemlenebilir. Buradan anlaşılacağı üzere kaynak bölgesi çevresinin korozyona dayanımı, malzemenin diğer bölgelerinden daha düşüktür [27].

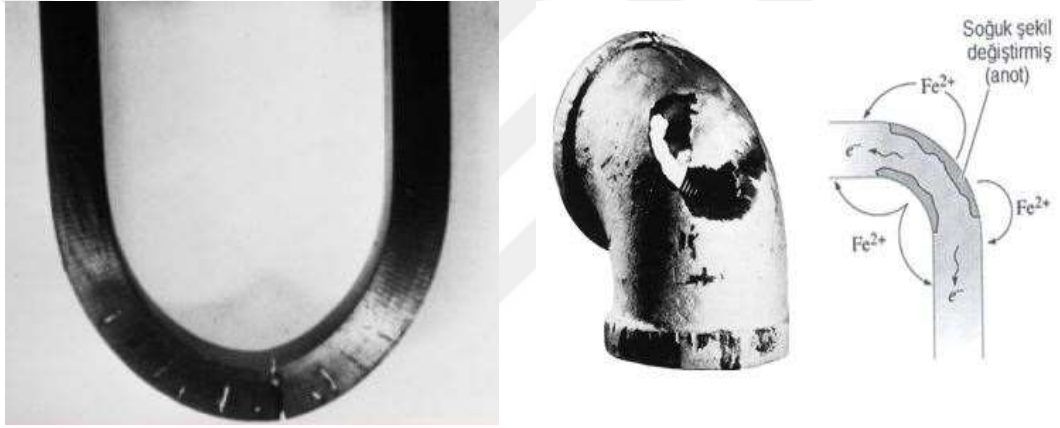
Paslanmaz çeliklerde meydana gelen korozyonlar bazı tedbirler alınarak önlenebilir. Çalışma ortamına uygun malzeme seçimi, katodik koruma, kaplama, boyama vb. işlemlerle çalışan malzemenin korozyona karşı direnci artırılabilir. Korozyona karşı korumada temel amaç, malzemenin korozyona sebep olacak ortam ile olan etkileşimini koparmaktır [27].

2.2.1. Paslanmaz Çeliklerde Gerilmeli Korozyon

Paslanmaz çeliklerde en çok rastlanan korozyon tiplerinden bir tanesi gerilmeli korozyondur. Bu korozyon tipinde korozif ortamda bulunan malzemeler aynı zamanda mekanik gerilme altındadır. Malzemenin gerilme altında bulunan kısmının yüzeyinde ortaya çıkan çatlak vb. geometrik düzensizliklerden dolayı korozyon ilk olarak bu yüzeylerde başlamaktadır. Çatlak ilerlemesi, çatlağın uç kısmında gerilme yığılması neticesiyle ortaya çıkan plastik şekillenme ve dislokasyon miktarının yüksek

olmasından dolayı anodik çözünme gibi etkenler sonucu çatlak büyümesiyle gerçekleşir. Üretim yöntemlerinden kaynaklanan dezonformasyon sertleşmesi düşük karbon oranına sahip paslanmaz çeliklerde başlıca gerilmeli korozyon sebeplerindendir [28].

Gerilmeli korozyonun ortaya çıkması için bazı etkenler gereklidir. Bu etkenleri; çekme gerilmesi vb. zorlamalar, korozif ortam, etkilenen bir malzeme ve gereken zaman olarak sıralayabiliriz. Buradan çıkaracağımız sonuç, bahsedilen korozyon türünde kimyasal etkiler ve mekanik etkiler birbirlerini destekleyici özellikte olmaktadır ve malzemeye aynı anda tesir etmektedir. Kimyasal ve mekanik etkilerin aynı anda tesir etmediği korozyona gerilmeli korozyon diyemeyiz [29].



Şekil 2.20. Paslanmaz Çelik Malzemelerde Gerilmeli Korozyon Örneği [29]

Gerilmeli korozyonun iyi anlaşılması ve buna bağlı olarak oluşacak korozyonu önleme çalışmaları o kadar önemlidir ki endüstriyel uygulamalarda, makine parçaları ve diğer yapılarda rastlanan kırılma olaylarının %22'si gerilmeli korozyon yüzünden gerçekleşmesi bu önemi açıklayan en çarpıcı göstergedir [29].

Gerilmeli korozyon çatlamasında (GKÇ) oluşan çatlaklar çok küçük yapılarda olduğu için gözle görülemeyebilirler, çok kısa zaman içinde oluşabilecekleri gibi parçaların çalışması esnasında uzun süreler sonucunda da ortaya çıkabilirler. GKÇ oluşmasını takip eden süreç çatlağın ilerlemesi, derinleşmesi ve sonuç olarak iş parçasının kırılması veya deformasyonudur [30].

GKÇ oluşması için bazı çevresel faktörler gereklidir. Çatlamanın ilerlemesi için ana malzeme olarak titanyum, alüminyum esaslı alaşımlar veya pasivasyon direnci yüksek östenitik paslanmaz çelik malzemeler olmalıdır. Malzemenin bulunduğu ortamda bulunan klorürler, aminler, derişik hidroksiller, metil alkol, nemli endüstriyel atmosferler vb. maddeler de GKÇ'ye yol açan etkenlerdir [31].

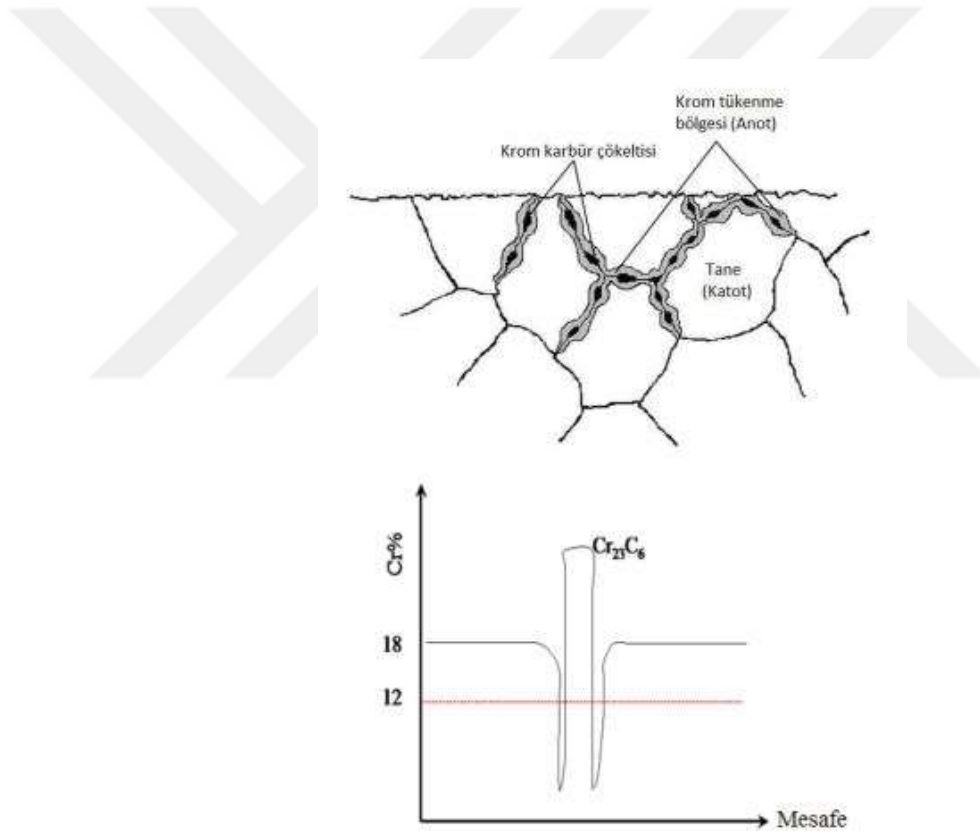
Tablo 2.5. Çeşitli Alaşımlarda GKÇ'ye Yol Açan Ortamlar [32]

Alaşım	Ortamlar
Alüminyum alaşımları	Klorürler Nemli endüstriyel atmosferler Deniz atmosferleri
Bakır alaşımları	Amonyum iyonu Aminler
Nikel alaşımları	Sıcak derişik hidroksiller Hidroflorik asit buharı
Düşük karbonlu çelikler	Kaynar derişik hidroksiller Kaynar derişik nitratlar
Düşük alaşımlı çelikler	Klorürler
Paslanmaz çelikler (ostenitik, 300 serisi)	Kaynar klorürler Kaynar derişik hidroksiller
Paslanmaz çelikler (ferritik ve martensitik, 400 serisi)	Klorürler
Titanyum alaşımı	Klorürler, Metil alkol

Gerilmeli korozyon çatlağını tetikleyen çevresel etkileri anlamak için bilim insanları çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalarda GKÇ'ye en çok maruz kalan malzemeler ve maruz kaldığı ortamlar çeşitli parametrelerde incelenmektedir. Bu çalışmalara örnek olarak piyasada yaygın bir şekilde kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerden AISI 304 ve 316 malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar gösterilebilir. Malzemelerde gerilme oluşması için bükme, çevre etkilerini gözlemlemek için hassaslaştırma gibi ısıl işlemler uygulanır. Daha sonra malzemenin gerilen kısımlarındaki korozyonun hızlı bir şekilde oluşması için çeşitli çözeltiler kullanılması gerekmektedir. Yapılan bu işlemler sonucu malzemelerin mikro yapıları, sertlik vb. gibi mekanik özellikleri incelenerek korozyona yol açan etmenlerin malzemeye etkisi gözlenmektedir [32].

Deneyisel çalışmalarda yapılan hassaslaştırma işlemi, endüstride karşımıza çıkan hatalı ısıl işlemler, malzemeler üzerine kaynak yapılması ve iş parçasının yüksek sıcaklıklarda çalışması durumunda malzemelerin korozyona karşı tepkisini gözlemlemek için yapılmaktadır [33].

Östenitik paslanmaz çelikler üzerinde yapılan hassaslaştırma işlemi, malzemenin 450°C – 850°C arası bir sıcaklıkta sabit tutulup belirli bir zaman bekletilmesidir. Bekletme işlemi sonucu malzemenin mikro yapısında krom karbür çökeltisi meydana gelir. Bu çökelti daha önce de bahsettiğimiz gibi tane sınırları arasında oluşmaktadır ve krom miktarı açısından fakirleşen bu bölgede korozyon direnci en düşük kısım haline gelmiştir [33].



Şekil 2.21. Isıl İşlemin Taneler Arası Korozyona Etkisi [33]

Yapılan bu ve benzeri çalışmalarda, paslanmaz çeliklerin stres altında bulunmaları ve ortam şartlarının malzeme mikro yapılarına olumsuz etkilerinin gözlenmesi bizlere malzemelerin korozyon dirençlerini olumsuz yönde etkileyen en önemli sebepleri göstermektedir [32].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Paslanmaz çeliklerin endüstride kullanılan en yaygın türlerinden olan AISI 304 paslanmaz çelik türüdür. Bu türün, iyi derecede korozyon dayanımı, kaynak yapmaya elverişli olması, yüksek mukavemete sahip olması, kolay şekillendirilebilmesi vb. özellikleri başlıca tercih sebeplerindedir. Çalışmada kullanılan AISI 304 paslanmaz çeliğe ait kimyasal bileşim Tablo 3.1’de ve mekanik özellikleri ise Tablo 3.2’de verilmektedir [34].

Tablo 3.1. AISI 304 Kimyasal Bileşimi (Ağırlıkça %) [34]

	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Fe
AISI 304	0,07	1,01	0,75	18-20	8-10	0,027	0,02	Kalan

Tablo 3.2. AISI 304 Mekanik Özellikleri [34]

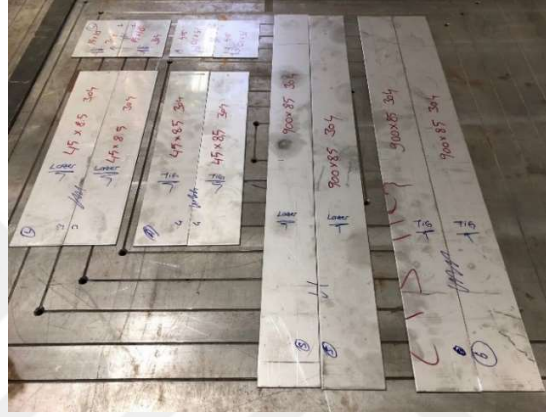
Mekanik Özellikler	Değerler
Çekme Mukavemeti	500-700 MPa
Akma Mukavemeti (%0,2)	≥ 190 MPa
Sertlik (HB)	≤ 215

Östenitik paslanmaz çelik türlerinden olan AISI 304 paslanmaz çelikler 1.4301 kalite paslanmaz çelikler olarak da adlandırılırlar. Mıknatıslanma özellikleri yoktur ancak soğuk işleme, kumlama gibi işlemler geçirdikten sonra yapısal değişikliğe uğradıklarında mıknatıslanma özelliğinin olduğu görülmüştür [35].

AISI 304, otomotiv sanayi, otomotiv yan sanayi, kimya, gıda, petrokimya, mutfak araç ve gereçleri, eşanjör, kazan ve boyler üretimi vb. daha birçok üretim alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [35].

Bu çalışmada 2mm kalınlığındaki AISI 304 tip paslanmaz çelik numuneler, TIG ve lazer kaynak ile birleştirilmiştir. Ayrıca malzemenin yapılan testlere karşı asıl davranışını gözlemek için kaynaklız numuneler de hazırlanmıştır. Kaynakla birleştirilen ve kaynaklız numuneler, yapılacak deneyin standartlarına ve test cihaz cihazına uygun boyutlarda lazer kesim ile kesilmiştir.

Hazırlanan numunelere sırasıyla, mikroyapı, sertlik, çekme testi, üç nokta eğme testi ve gerilmeli korozyon testi uygulanmıştır.



Şekil 3.1. Kaynak Yapılacak AISI 304 Levhaların Hazırlanması

3.1. Numunelerin Birleştirilmesi

3.1.1. Lazer Kaynağı ile Birleştirme

Sac parçalardan 2 adet 900x85mm, 2 adet 450x85mm ve 2 adet 150x100mm lazer kaynak yapılmak üzere hazırlanmıştır. Çalışmada *Alpha Laser ALM200* Nd:YAG lazer kaynak makinesi kullanılmıştır (Şekil 3.2). Makinenin teknik özellikleri Tablo 3.3’de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.2. Alpha Laser ALM200 Lazer Kaynak Makinesi Görünümü

Tablo 3.3. Lazer Kaynak Makinesi Teknik Özellikleri

TECHNICAL DATA	ALM 200
LASER	
Laser type / wave length	Nd:YAG, 1064 nm
Average power	200 W
Peak pulse power	9 kW
Pulse energy	90 J
Pulse duration	0.5 - 20 ms
Pulse frequency	Single pulse - 100 Hz
Operating mode	Pulsed
Welding spot Ø	0.2 - 2.0 mm
Focusing objective	150 mm, further according to lens data sheet
Pulse shaping	Adjustability of power curve within a laser pulse
Display and operation	Display with membrane keyboard Laser parameters can also be set using a multifunctional footswitch, motor controls can be set through a touchscreen or optional external operating unit
OBSERVATION LENS	Leica microscope attachment with eyepieces for glasses wearers, 10x Optional 16x
WORK AREA	The processing head can be freely positioned in the space and additionally moved using a joystick
Movement speed (X, Y, Z)	0 - 25 mm/s
Movement range (X, Y, Z)	120 x 110 x 800 mm
Lowest working point	530 mm
Highest working point	1590 mm
Arm deflection	1300 mm
EXTERNAL DIMENSIONS	
W x D x H	730 x 1410 x 1585
Weight	320 kg
EXTERNAL CONNECTIONS	
Electrical connection	3 x 400 V / 50-60 Hz / 3 x 16 A
Extreme cooling	Prepared Prepared
OPTIONS	Turn and tilt objective Rotary axis module with chuck, tiltable, for horizontal to vertical rotation External operating unit (remote control) TV system for demonstrating and observing the welding process Ergo wedge

Birleştirme işlemi esnasında kullanılan lazer kaynak parametreleri Tablo 3.4'te verilmektedir.

Tablo 3.4. Kullanılan Lazer Kaynağı Parametreleri

İlave metal	0,5 mm çapında AISI 304 ilave tel
Kaynak hızı	5,5 m/s
Lazer gücü	244 V
Lazer frekansı	19,0 Hz
Vuruş çapı	1,2 mm
Koruyucu gaz	Ar (Argon) gazı

Yapılan parametre seçimlerinde ilave metal olarak, kaynak esnasında ortaya çıkabilecek uyumsuzlukları önlemek adına, ana metal ile aynı malzeme seçilmiştir. Kaynak hızı, kaynak nüfuziyeti açısından önem teşkil etmektedir. Lazer gücü, kaynak bölgesine etki eden lazer ışınının elektriksel gücü; lazer frekansı ise kaynak bölgesine gönderilen lazer ışınının atım aralığıdır. Burada vuruş çapı, lazer ışının tek atımda malzemede üzerine etki eden ışının çapıdır. Kullanılan koruyucu gaz diğer kaynak türlerinde de olduğu gibi kaynak bölgesini dış etkilerden koruma görevini görür.



Şekil 3.3. Lazer Kaynağın Operatör Tarafından Gerçekleştirilmesi

3.1.2. TIG Kaynağı ile Birleştirme

TIG kaynağı 2 adet 900x85mm, 2 adet 450x85mm ve 2 adet 150x100mm sac levha üzerinde uygulanmıştır. Kaynak makinesi olarak *Zenweld Ultimate 315 AC/DC* model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Zenweld Ultimate 315 AC/DC TIG Kaynak Makinesi

Sac levhalara TIG kaynağı yaparken uygulanan kaynak parametreleri Tablo 3.5'te verilmektedir.

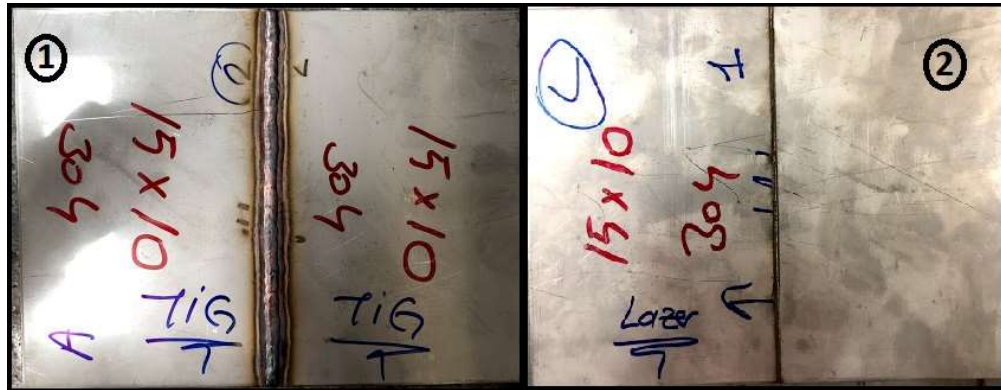
Tablo 3.5. Kullanılan TIG Kaynağı Parametreleri

İlave metal	1,6 mm çapında AISI 304 ilave tel
Kaynak hızı	5,5 m/s
Kaynak gücü	9,9 – 11,0 Volt ve 100 Amper
Tungsten çapı	2,4 mm
Koruyucu gaz	Ar (Argon) gazı
Gaz debisi	0,9 l/dk



Şekil 3.5. TIG Kaynağın Operatör Tarafından Gerçekleştirilmesi

Her iki yöntem ile kaynaklanmış numunelere ait resimler Şekil 3.6'da verilmektedir. TIG ve lazer kaynak uygulanan levhalar kaynak bölgelerinin farklılıklarıyla gözle fark edilebilmektedir. Lazer kaynağın kaynak bölgesi daha ince ve düzgün iken, TIG kaynağı uygulanan levhada kaynak bölgesi kalın ve pürüzlü bir yüzeye sahiptir.



Şekil 3.6. (1) TIG Kaynak (2) Lazer Kaynak Uygulaması Sonucu

3.2. Metalografik Analiz

Kaynaklanmış numunelerin içyapı incelemesi ve gerilmeli korozyon testinde çatlak oluşumunun gözlemlenmesi için, malzemelerin metal mikroskopunda analize hazır hale getirilmesi adına, malzemeye metalografi işlemi uygulanmıştır. Metalografi işlemleri MCBÜ Mühendislik Fakültesi metalografi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Numuneler, zımparalama ve parlatma işlemleri esnasında tutuş kolaylığı sağlaması amacıyla, Şekil 3.7’de görülen *Struers CitoPress 1* sıcak bakalite alma cihazında kalıplanmıştır.



Şekil 3.7. Struers CitoPress 1 Sıcak Bakalite Alma Cihazı

Şekil 3.8’de görülen *Struers Labopol 5* marka Zımparalama ve Parlatma Cihazı ile sırasıyla 240, 400, 600, 800 ve 1000 ve 1200 meshlik zımparalardan geçirilmişlerdir. Ardından 3 μm ’luk Struers DiaPro MolB3 ve 1 μm ’luk Struers DiaPro NapB1 çözeltileri ile parlatılmışlardır.



Şekil 3.8. Struers Labopol 5 Zımparalama ve Parlatma Cihazı

Parlatılmış numuneler, 15cc hidroklorik asit (HCl), 10cc nitrik asit (HNO₃), 10cc asetik asit (CH₃COOH), 3 damla gliserin (C₃H₈O₃) çözeltisinde dağlandıktan sonra Şekil 3.9’da gösterilen *NIKON Eclipse LV100* marka metal mikroskobuyla incelenmiştir.



Şekil 3.9. Nikon Eclipse LV150N Dijital Görüntüleme Cihazı

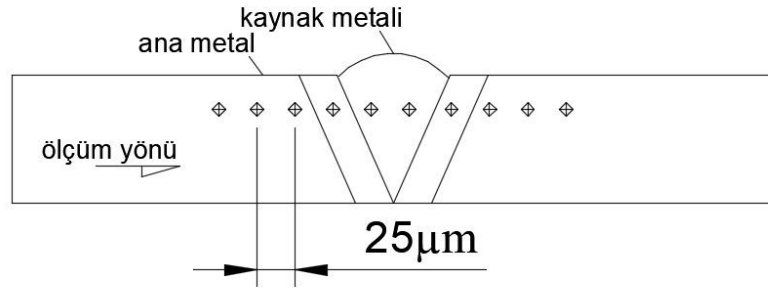
3.3. Mikrosertlik Testi

Lazer kaynak ve TİG kaynağıyla birleştirilen, parlatılmış AISI 304 paslanmaz çelik numunelerin mikrosertlikleri ölçülmek için Şekil 3.10'da gösterilen *Future-Tech FM-700* marka cihaz kullanılmıştır. Sertlik ölçümü, 300 gf yük, 10 sn süresince uygulanarak gerçekleştirilmiştir. (1000 gf = 9.81 N)



Şekil 3.10. Future-Tech FM-700 Marka Cihaz

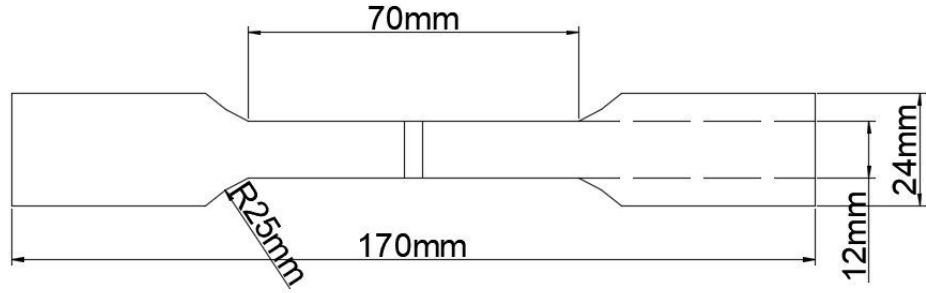
Sertlik ölçümleri ana metalden başlayıp kaynak bölgesine ilerleyen ve tekrar ana metalle sonuçlanan doğrusal bir çizgi üzerinde gerçekleştirilmiştir. İzler arası mesafe $25\mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Sertlik Ölçüm Prensibi

3.4. Çekme Testi (Tensile Test)

Çekme testi uygulanacak AISI 304 paslanmaz çelik numuneler, TS EN ISO 4136 standardına uygun olarak hazırlanmış olup, numune boyutları Şekil 3.12’de ve standarda uygun olarak hazırlanmış numuneler ise Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Çekme Testi Numunesi Boyutları (TS EN ISO 4136)

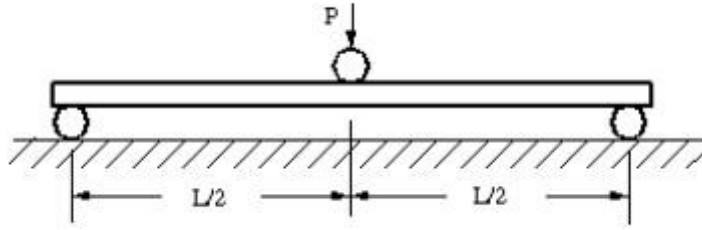
Kesilen numuneler, Şekil 3.13’te gösterilen *Shimadzu* marka *Autograph AG-IS 100kN* model çekme testi cihazında teste tabii tutulmuştur.



Şekil 3.13. Çekme Testi Cihazı

3.5. Üç Nokta Eğme Testi

Üç nokta eğme testi, iki adet desteğe uçlarından serbest biçimde oturtulan yuvarlak veya dikdörtgen kesitli malzemenin tam ortasına doğrusal bir yükün uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Malzemenin eğilmesi durumunda ortaya çıkan mekanik özelliklerini elde etmemiz için yaygın olarak kullanılan bir deney metodudur [37]. Deney numunesine uygulanan yük sonucu numune kesitinin iç yüzeyinde basma gerilmesi dış yüzeylerinde ise çekme gerilmesi oluşmaktadır [38].



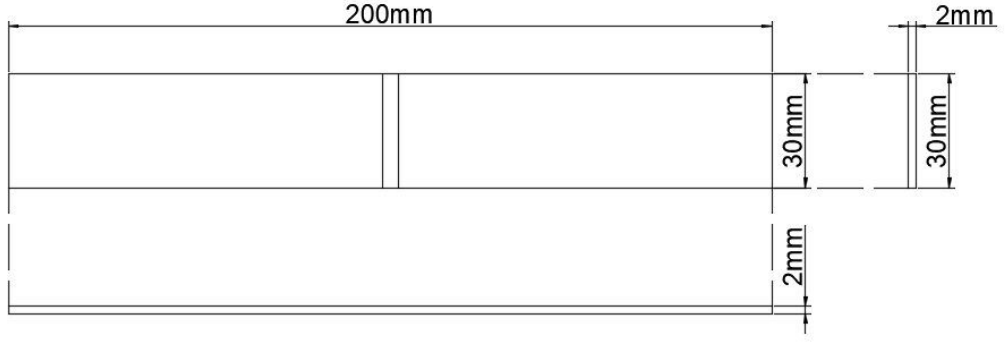
Şekil 3.14. Üç Nokta Eğme Deneyinin Şematik Gösterimi [38]

Eğme deneyi neticesinde; eğilme dayanımı (σ_e), eğme momenti (M_e), uygulanan yük (P), eğilme miktarı (δ) gibi veriler bize malzemenin eğme deneyine karşı mukavemetini verir. Bu değerlerin hesaplanması ise şu şekildedir;

- Eğilme miktarı: $\delta = (l-l_0) / l_0$ (l : son boy, l_0 : ilk boy)
- Eğilme dayanımı: $\sigma_e = M_e / W_x$ (M_e : eğme momenti, W_x : x yönünde atalet momenti)
- Eğme momenti: $M_e = P \times (L/4)$ (P : uygulanan yük, L : mesnetler arası mesafe)
- Atalet momenti: $W_x = (b \cdot h^2) / 6$ (b : malzeme genişliği, h : malzeme kalınlığı)
-

Yukarıda verilen formüllere göre deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmakta ve malzemenin eğmeye karşı dayanımı ortaya çıkmaktadır [38].

Üç nokta eğme testi uygulanacak AISI 304 paslanmaz çelik numuneler, TS EN ISO 5173 standardına uygun olarak hazırlanmış olup, numune boyutları Şekil 3.15’da verilmiştir.



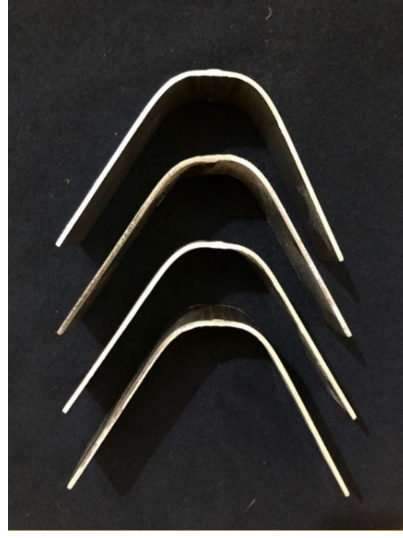
Şekil 3.15. Eğme Numunesi Boyutları (TS EN ISO 5173)

Kesilen numuneler Şekil 3.13’de görülen *Shimadzu* marka *Autograph AG-IS 100kN* model çekme/eğme testi cihazında eğme gerilmesine tabii tutulmuştur.



Şekil 3.16. Numune Üzerinde Eğme Testinin Uygulanması

Şekil 3.16’de görüldüğü üzere numune uçlarından iki adet serbest mafsala yerleştirilmiş, kaynaklı malzemelerde ise tam ortasındaki kaynak bölümünden çatlayana kadar P kuvvetine maruz bırakılmıştır. P kuvvetinin uygulandığı mandrel $R=5\text{mm}$ çapındadır. Mafsalların mandrele mesafesi $(L/2)$ 100 mm’dir.



Şekil 3.17. Eğme Deneyi Sonrası Numuneler

Çatlama anına kadar yük uygulanan numunelerde Şekil 3.17’de görüldüğü üzere deplasman oluşmuştur. Oluşan bu deplasman, numunenin sünekliği hakkında bilgi vermektedir. Oluşan deplasman ne kadar fazla ise malzemenin veya kaynak bölgesinin o kadar sünek olduğu sonucuna varılmaktadır.

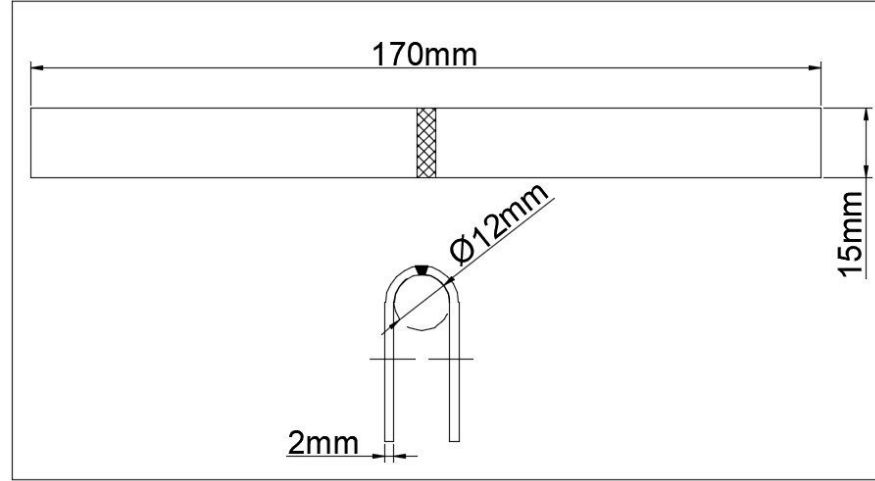
3.6. Gerilmeli Korozyon Testi

Gerilmeli korozyon testinin uygulanabilmesi için, numuneler iki farklı aşamadan geçmek zorundadır. Deneyin birinci aşamasında malzemelere bükme işlemi uygulanmakta olup, ikinci aşamasında ise gerilme uygulanmış numunelerin korozif ortamda bekletilmesi gerekmektedir. Bu çalışmaların sonuçlarını görebilmek için numunelerin bükme bölgelerinden metalografi işlemi yapılarak çatlak oluşumu incelenmiştir.

3.6.1. Bükme Aşaması

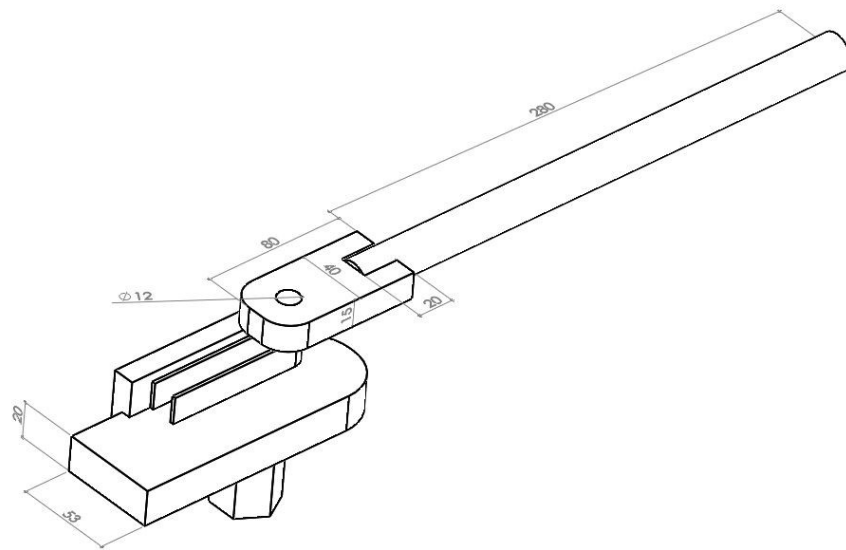
AISI 304 paslanmaz çelik piyasada çoğu alanda tercih edilen bir malzemedir, çalıştığı ortamlarda birçok gerilime maruz kalmaktadır. Malzeme üzerinde oluşan gerilmeler imalat yöntemlerinden veya parçanın çalıştığı ortamlardan kaynaklanabilir. Ancak bu malzeme gerilim korozyon çatlamasına (GKÇ) karşı da oldukça hassastır [32].

Yapılan çalışmada, TIG kaynakla birleştirilmiş numuneler, Şekil 3.18'deki boyutlarda kesilmiş ve her bir numuneye üzerinde gerilim oluşturmak için Şekil 3.19'da görülen bir aparatla U bükme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18 Bükme Numunesi Ölçüleri

Hazırlanan numunelerin gerilim değeri; $\epsilon = t / 2R$ ($t < R$ ise) formülünden bulunmaktadır. Formülde bulunan ϵ : gerilim değeri, t : numune et kalınlığı, R : büküm yarıçapını göstermektedir [32]. Bu formüle göre bizim numunemizin gerilim değeri; $\epsilon = 2 / 2.12 = 0,083$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.19. Bükme Aparatı Boyutları

Yapılan bükme işlemi için özel olarak tasarlanan ve üretilen bu aparat manuel olarak çalışmaktadır. Aparat, 2mm kalınlığında, 15mm genişliğinde ve 170mm uzunluğunda tek parça veya ortasından kaynaklanmış paslanmaz çelik numunelerin rahatça U bükümünün yapılabilmesi için tasarlanmıştır. Aparat öncelikle altındaki altıgen kısımdan mengineye sabitlenir, Şekil 3.19'da görüldüğü gibi yerleştirilen numune, kolun çevrilmesiyle bükülüp U şeklini almaktadır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Bükülen Numunelerden Bazıları

3.6.2. Koroziv Çözeltide Bekletme Aşaması

AISI 304 paslanmaz çelikten üretilmiş ürünler günümüzde çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kullanılan bu alanların içinde malzeme üzerindeki GKÇ'yi oluşturacak veya hızlandıracak aynı zamanda da taneler arası korozyonu da ortaya çıkaracak ortamlar çokça bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan AISI 304 paslanmaz çelik gibi bazı östenitik paslanmaz çelik malzemelerde, malzemenin 450°C – 850°C arasında sıcaklıklara yükselmesi ve bekletilmesi sonucu tane sınırlarında krom karbür çökmesi oluşumu meydana gelmektedir. Kaynak, ısıl işlem gibi malzemenin ısıya maruz kaldığı durumlarda *hassaslaştırılma* meydana gelmektedir ve tane sınırlarında kromca zayıflama oluştuğu için tane sınırlarında korozyon oluşmaktadır. [32].

Bu çalışmada numunelerin bir kısmı 600°C de 4 saat bekletilmiş ve yavaşça soğumaya bırakılıp *hassaslaştırma* işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra hassaslaştırılmış ve hassaslaştırılmamış numuneler, hazırlanan %10 HCl ve %90 etil alkol çözeltisinde büküm bölgelerinden daldırılmışlardır. İlk numuneler 24 saat beklettikten sonra çıkarılmıştır. Ardından her 24 saatte bir, bir grup çözeltiden çıkarılmıştır (Şekil 3.21).

Çıkarılan her bir numune grubunda;

- TİG kaynaklı hassaslaştırılmış numune
- TİG kaynaklı hassaslaştırılmamış numune bulunmaktadır.

Bardaklarda bulunan çözelti her 48 saatte bir değiştirilmiştir. Birbirini takip eden işlemler sonucunda 408 saat süren bekleme sürelerine ulaşılmıştır.



Şekil 3.21. Numune Gruplarının Çözelti İçinde Bekletilmesi

Numunelerde ağırlık değişimini gözlemleyebilmek adına numuneler çözeltiye daldırılmadan önce ve sonra 0,0001g hassasiyetli terazide ölçülmüştür.

Tablo 3.6. Hassaslaştırılmış ve Hassaslaştırılmamış TIG Kaynaklı Numunelerin Ağırlık Kaybı

HASSASLAŞTIRILMIŞ TIG KAYNAKLI NUMUNELERDE						HASSASLAŞTIRILMAMIŞ TIG KAYNAKLI NUMUNELERDE					
AĞIRLIK KAYBI						AĞIRLIK KAYBI					
NO	BEKLEME SÜRESİ (saat)	İLK ÖLÇÜM (g)	SON ÖLÇÜM (g)	KAYIP (g)	KAYIP ORANI (%)	NO	BEKLEME SÜRESİ (saat)	İLK ÖLÇÜM (g)	SON ÖLÇÜM (g)	KAYIP (g)	KAYIP ORANI (%)
20B	168	39,2878	38,1133	-1,1745	2,99	5A	168	39,5155	38,6319	-0,8836	2,24
21B	192	36,9398	35,8615	-1,0783	2,92	6A	192	39,0435	38,1829	-0,8606	2,20
22B	216	37,4350	36,3901	-1,0449	2,79	7A	216	39,2131	38,2936	-0,9195	2,34
23B	240	37,5479	36,4419	-1,1060	2,95	8A	240	39,0665	38,1384	-0,9281	2,38
24B	264	37,5118	36,4912	-1,0206	2,72	9A	264	39,2577	38,2114	-1,0463	2,67
25B	288	39,8399	38,3727	-1,4672	3,68	10A	288	40,7447	39,4778	-1,2669	3,11
26B	312	39,8899	38,0146	-1,8753	4,70	11A	312	38,8777	37,6113	-1,2664	3,26
27B	336	40,0344	37,7712	-2,2632	5,65	12A	336	39,2665	37,8214	-1,4451	3,68
28B	360	40,3138	38,0754	-2,2384	5,55	13A	360	39,3965	37,6430	-1,7535	4,45
29B	384	39,8433	37,3744	-2,4689	6,20	14A	384	39,3717	37,3816	-1,9901	5,05
30B	408	38,9186	35,9735	-2,9451	7,57	15A	408	39,0995	37,0232	-2,0763	5,31
16B	408	38,9923	35,9115	-3,0808	7,90	1A	408	39,3745	37,0367	-2,3378	5,94
17B	408	39,3762	36,3654	-3,0108	7,65	2A	408	41,5209	39,3095	-2,2114	5,33
18B	408	39,5871	36,5970	-2,9901	7,55	3A	408	39,7026	37,4733	-2,2293	5,61
19B	408	39,2416	36,1517	-3,0899	7,87	4A	408	39,3140	37,1375	-2,1765	5,54

Tablo 3.6’da kayıp oranlarını incelediğimizde iki sonuç karşımıza çıkmaktadır. İlk sonuç, numunenin çözeltide bekleme süresi arttıkça ağırlık kaybı oranı da doğru orantılı olarak artmaktadır. İkinci sonuç, hassaslaştırılmış numunelerdeki ağırlık kaybı oranları hassaslaştırılmamış numunelerdekinden daha fazladır.

Korozif çözeltide beklemiş numuneler bükme bölgelerinden kesilmiş ve yan yüzeylerinden bakalite alınmıştır. Daha sonra zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerinin ardından metal mikroskobunda çatlak incelemesi yapılmıştır.

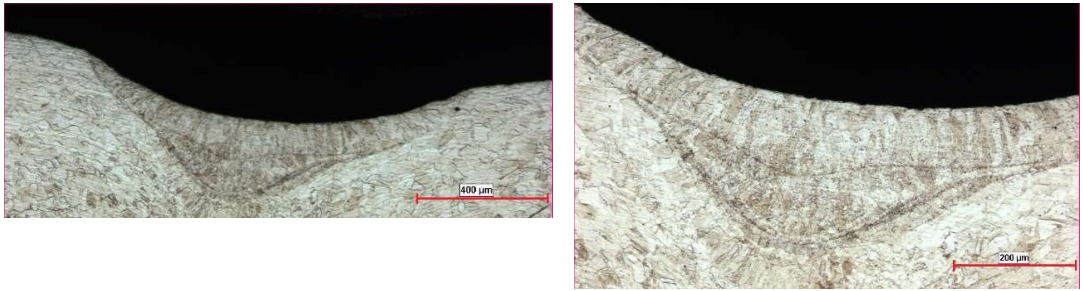
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Mikroyapı İncelemeleri

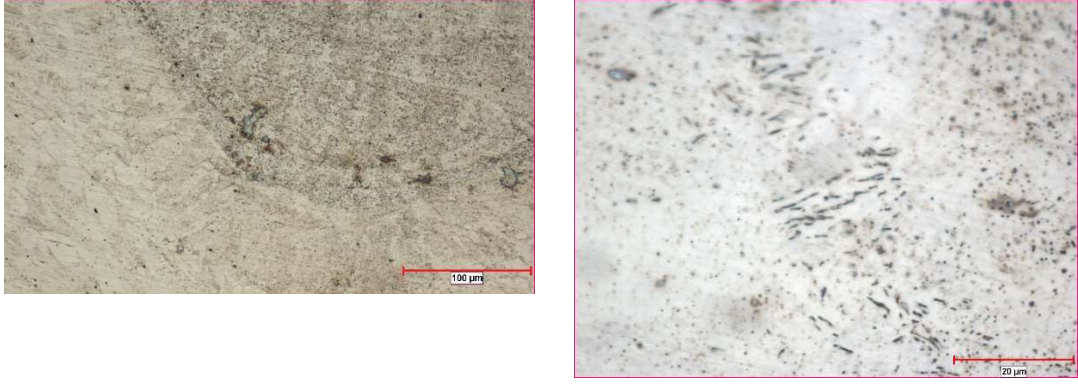
Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te lazer kaynağı ile birleştirilmiş 304L paslanmaz çeliğe ait iç yapı fotoğrafları görülmektedir. Ergitmesiz kaynak yöntemlerinden biri olan lazer kaynak yönteminde ilave tel olarak 0,5 mm kalınlığında 304L ince bir tel kullanılmıştır. Yöntemin özelliğinden dolayı geniş bir kaynak bölgesi olmadığı içyapı resimlerinden de gözlemlenmektedir.



Şekil 4.1. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Ana Metal İçyapı Fotoğrafları



Şekil 4.2. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Kaynak Bölgesi



Şekil 4.3. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Geçiş Bölgesi

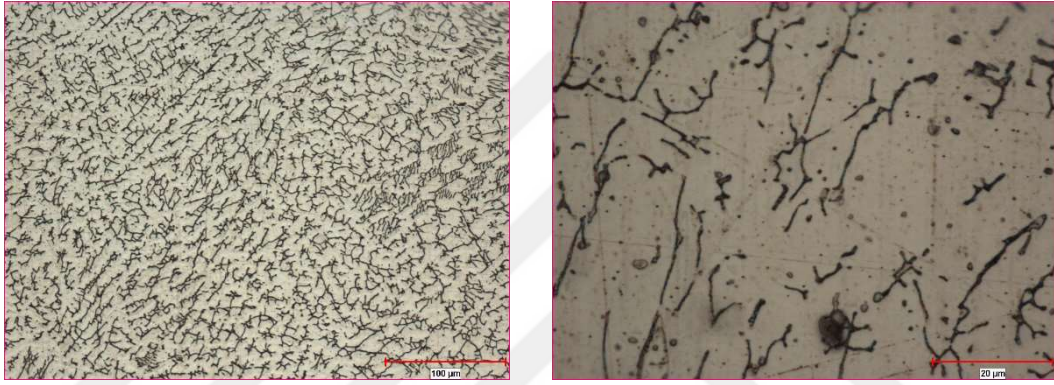
Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da TİG kaynağı ile birleştirilmiş 304L paslanmaz çeliğe ait iç yapı fotoğrafları görülmektedir. Burada da ilave tel olarak bu kez lazer kaynak yönteminde kullanılanla kıyasla daha kalın bir tel (1.6mm) kullanılmıştır. İçyapı fotoğrafları incelendiğinde ana metalin, geçiş bölgesinin ve kaynak metalinin çok net olarak gözlemlendiği görülmektedir. Kaynak bölgesi hızlı soğumanın etkisi ile dentritik bir yapıdan oluşmuştur.



Şekil 4.4. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Ana Metal İçyapı Fotoğrafı



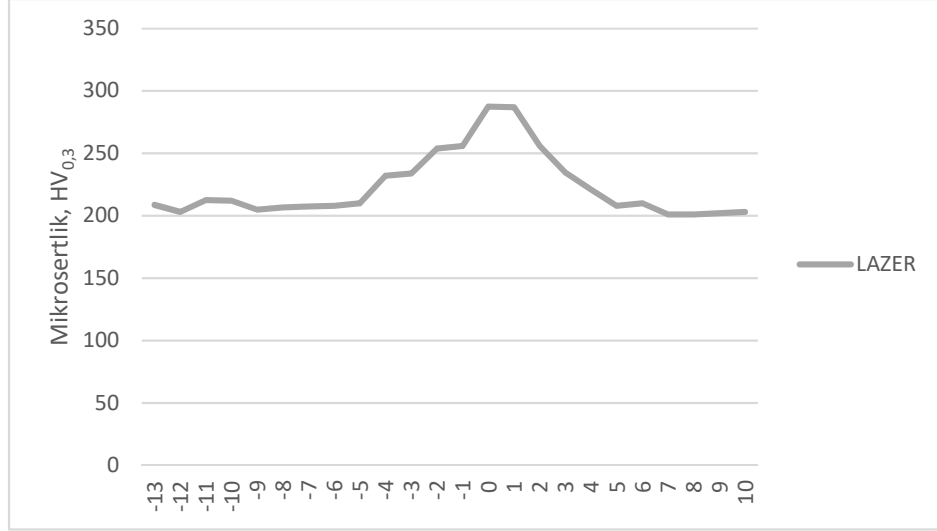
Şekil 4.5. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Geçiş Bölgesi



Şekil 4.6. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Kaynak Metali

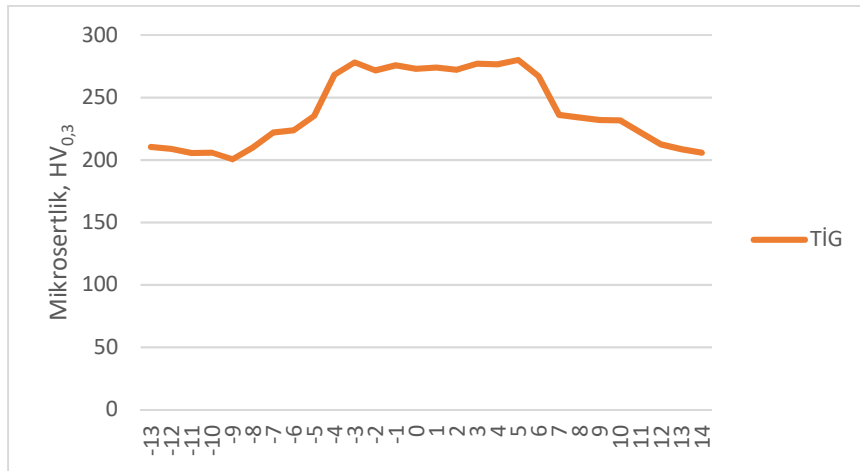
4.2.Sertlik Ölçümleri

Şekil 4.7’de lazer kaynağı ile birleştirilmiş numuneye ait mikrosertlik grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’e paralellikte sonuçlar elde edildiği ortaya çıkmaktadır. Kaynak bölgesinin hızlı soğumasından dolayı, kaynak metalinin bulunduğu merkez bölgesinde sertlik en yüksek değerde çıkmaktadır. Kaynak metali ile ana metal arasındaki geçiş bölgesinde ise sertlik dengeli bir şekilde azalmıştır. Kaynak bölgesinin dar mesafede olduğu sertlik sonuçlarıyla da desteklenmektedir.



Şekil 4.7. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Mikrosertlik Grafiği

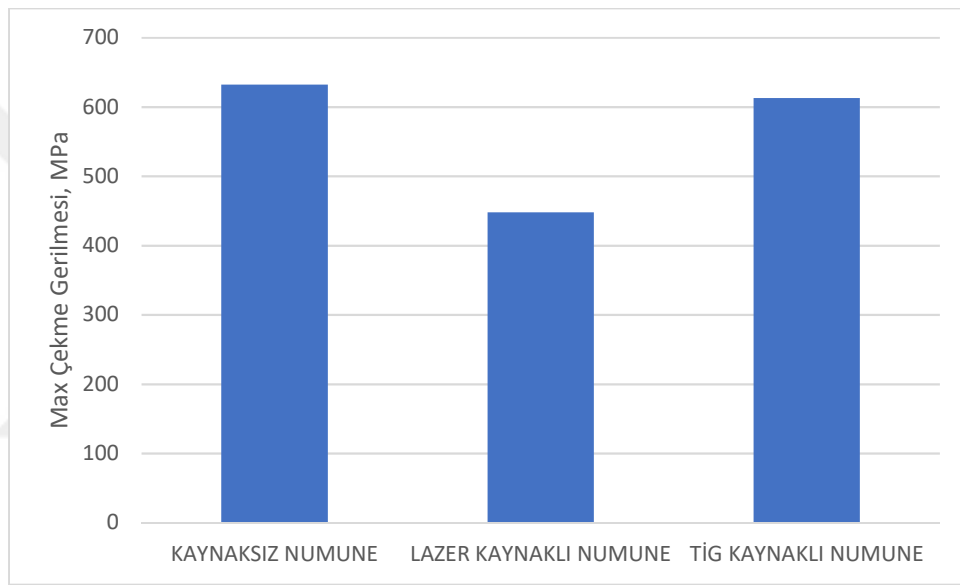
Şekil 4.8’de TİG kaynağı ile birleştirilmiş numuneye ait mikrosertlik grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6’ya paralellikte sonuçlar alındığı ortaya çıkmaktadır. Kaynak bölgesinin hızlı soğumasından dolayı, kaynak metalinin bulunduğu ve dentritik iç yapıya sahip merkez bölgede sertlik en yüksek değerde çıkmaktadır. Kaynak metalini ile ana metal arasındaki geçiş bölgesinde ise sertlik dengeli bir şekilde azalmıştır. Max. mikrosertlik değerlerinin bulunduğu kısmın Şekil 4.7’ye göre daha geniş olmasının nedeni kaynak bölgesinin daha geniş olmasından kaynaklanmaktadır. Her iki yöntemde de ulaşılan max. sertlik değeri değişmemiştir.



Şekil 4.8. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneye Ait Mikrosertlik Grafiği

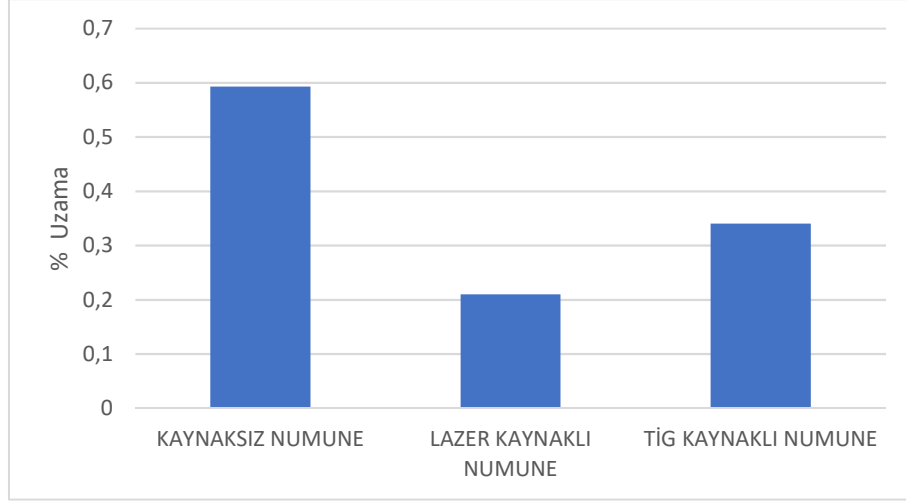
4.3.Çekme Testi Sonuçları

Şekil 4.9’da kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelere ait max. çekme gerilmesi grafiği görülmektedir. En yüksek çekme dayanımının beklendiği üzere kaynaklı olmayan numunede ulaşıldığı en düşük çekme mukavemetine ise lazer kaynağı ile kaynaklanmış numunede ulaşılmasıyla birlikte arada çok büyük farklılıkların olmadığı anlaşılmaktadır. TIG kaynağı ile kaynaklanmış numunede kaynaklı olmayan numuneye yakın mukavemet değerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu da malzemenin son derece başarılı şekilde kaynaklandığını göstermektedir.



Şekil 4.9. Kaynakla Birleştirilmiş Ve Kaynaklı Numunelere Ait Max. Çekme Gerilmesi Grafiği

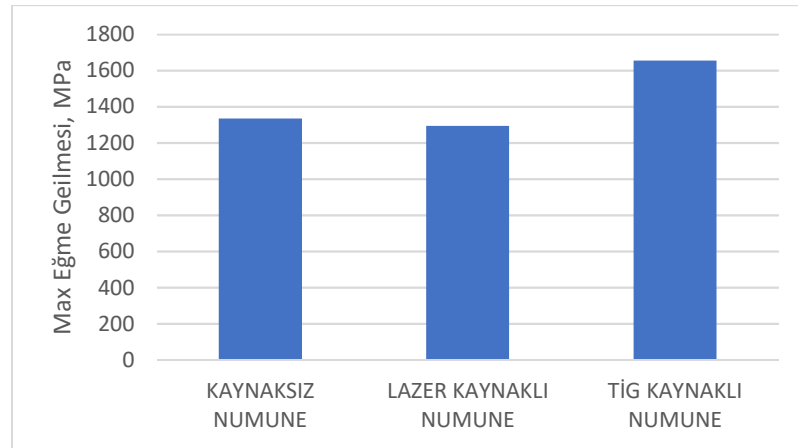
Şekil 4.10’da kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelere ait yüzde uzama grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, Şekil 4.9 ile paralel sonuçlar elde edilmiştir. Kaynaklanmış numunelerin yüzde uzama değerlerinin kaynaklı olmayan numune ile kıyaslandığında son derece düşük olduğu açıktır. TIG kaynağında uzama değeri kaynaklı olmayan numunenin %40 kadar altındadır. Bunun nedeni ise kaynak metalinin sertlik değerinin ana metalin sertlik değerinden yüksek olmasıdır. Lazer Kaynağında ise uzama değeri daha da düşük çıkmıştır. Bu da kaynaklanma sırasında ısıda etkilenen bölgenin dar olması ve sertlik geçişinin çok keskin olması ile açıklanabilir.



Şekil 4.10. Kaynakla Birleştirilmiş Ve Kaynaksız Numunelere Ait Yüzde Uzama Grafiği

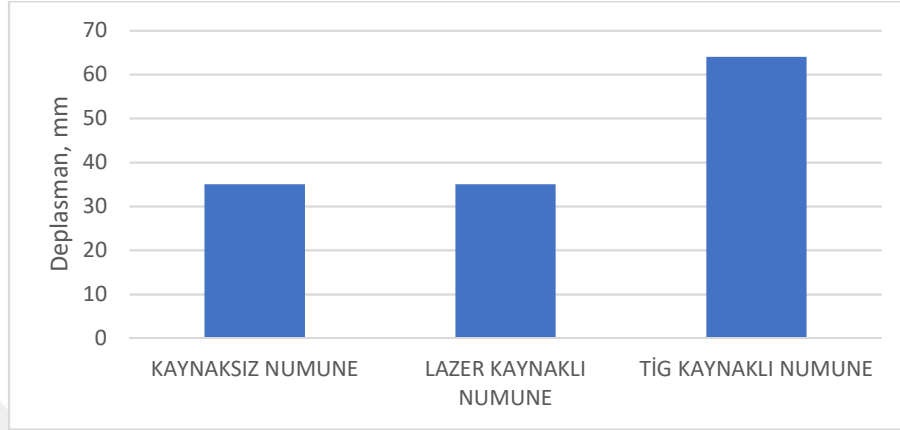
4.4. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Şekil 4.11’de kaynaklı ve kaynaksız numunelere ait max. eğme gerilmesi grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, max. eğme gerilmesinin TİG kaynağıyla birleştirilmiş numunede olduğu, kaynaksız ve lazer kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin ise bu değer %25 altında eğme mukavemetine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni kaynak bölgesinin mukavemet değerinin yüksek olması ve bu bölgenin TİG kaynağında geniş olmasıdır.



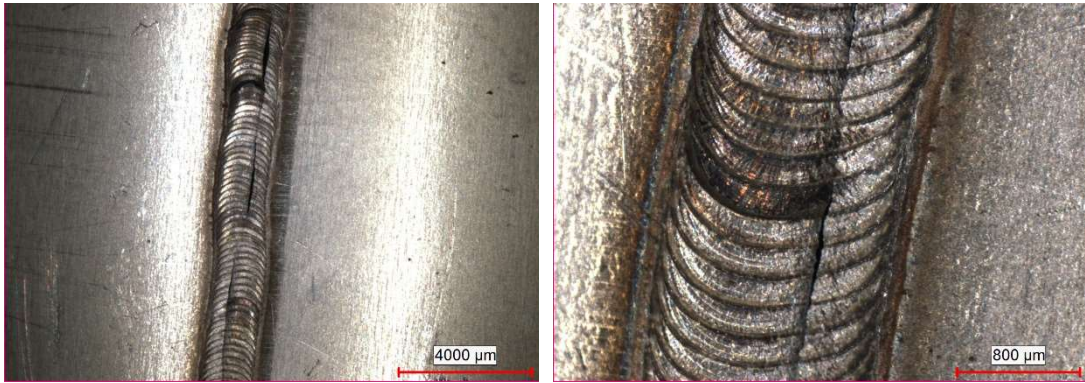
Şekil 4.11. Kaynakla Birleştirilmiş Ve Kaynaksız Numunelere Ait Max Eğme Gerilmesi Grafiği

Şekil 4.12’de kaynaklı ve kaynaklız numunelere ait deplasman grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, Şekil 4.11’e paralel sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Eğme gerilmesinin maksimum olduğu TİG kaynaklı numunelerin deplasmanı diğer numunelerin deplasmanlarından %45 daha fazla ölçülmüştür.



Şekil 4.12. Kaynakla Birleştirilmiş Ve Kaynaklız Numunelere Ait Deplasman Grafiği

Şekil 4.13’te lazer kaynağı ile birleştirilmiş ve ardından 3 nokta eğme testi uygulanmış numunenin makro fotoğrafı görülmektedir. Fotoğraflarda da görüldüğü üzere test ardından malzemenin kaynak metalinden çatlayarak ayrıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.13. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve Eğme Testi Uygulanmış Numunenin Kaynak Bölgesi Fotoğrafı

Şekil 4.14'te TİG kaynağı ile birleştirilmiş ve ardından 3 nokta eğme testi uygulanmış numunenin makro fotoğrafı görülmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde, kaynak bölgesinde en ufak bir hasar meydana gelmediği anlaşılmaktadır.



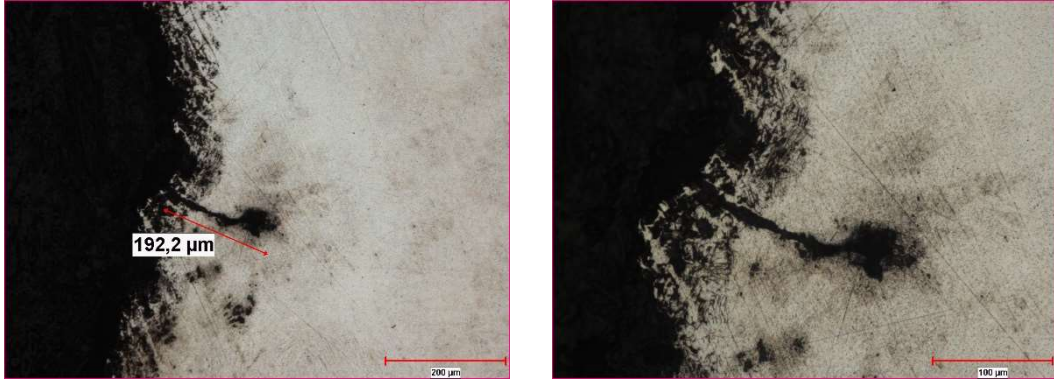
Şekil 4.14. TIG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve Eğme Testi Uygulanmış Numunenin Kaynak Bölgesi Fotoğrafı

4.5. Gerilmeli Korozyon Testi Sonuçları

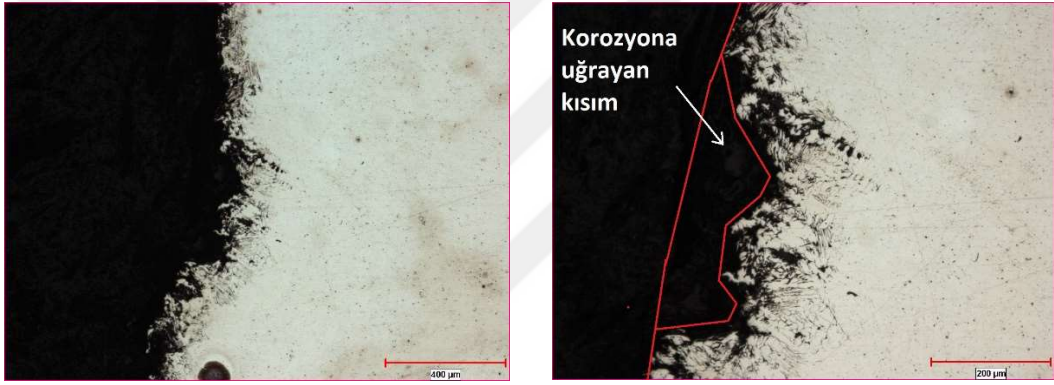
TİG kaynağı ile kaynaklanmış numunelerin gerilmeli korozyon davranışının tespiti için numunelerin içyapı incelemeleri yapılmış ve çözeltide bekleme sürelerine göre çatlak ilerlemesi belirlenmiştir. Şekil 4.15 ila Şekil 4.19 arasındaki şekillerde hassaslaştırma işlemi uygulanmamış, sırasıyla 168, 192, 360, 384 ve 408 saat çözeltide bekletilen numunelerin çatlak ölçümleri ve çatlak başlangıç noktaları görülmektedir.



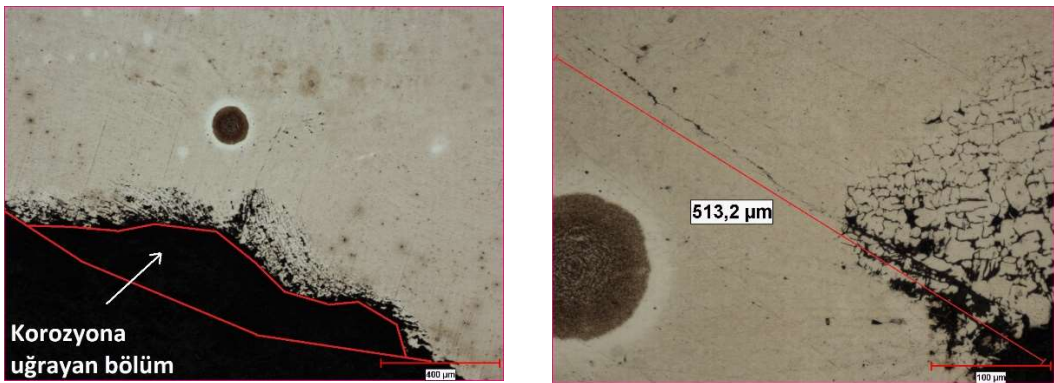
Şekil 4.15. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 168 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmamış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu



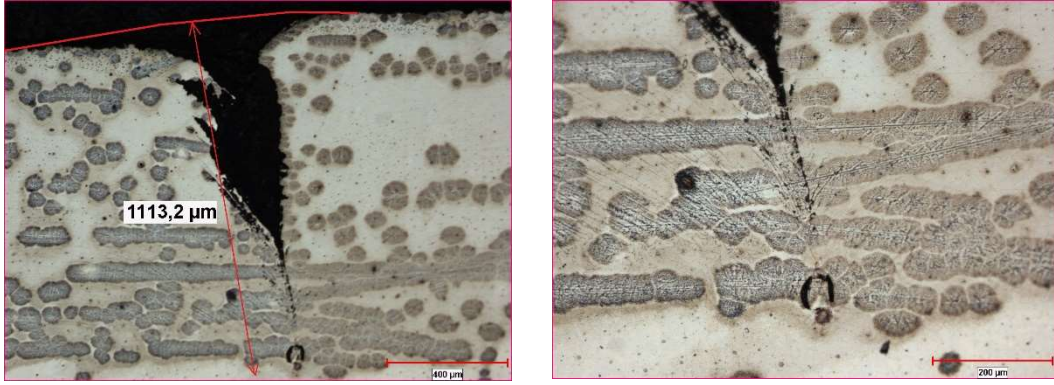
Şekil 4.16. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 192 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmamış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu



Şekil 4.17. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 360 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmamış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu



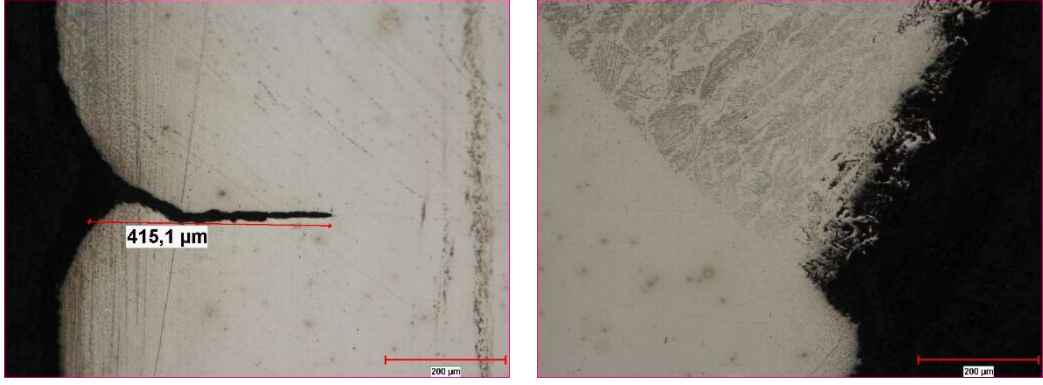
Şekil 4.18. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 384 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmamış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu



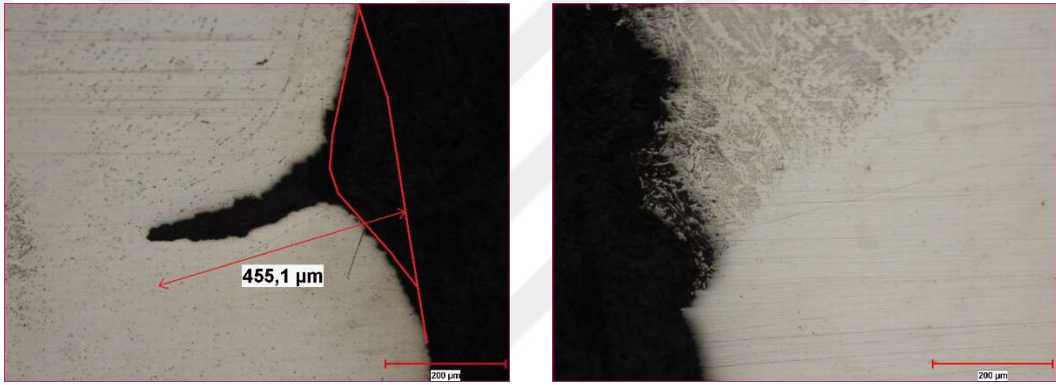
Şekil 4.19. TIG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 408 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmamış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu

Hassaslaştırma işlemi uygulanmamış tüm numunelerde çatlak oluşumunun meydana geldiği ve sürenin artması ile birlikte çatlağın 1mm'nin üzerine çıktığı görülmektedir. Büyük çatlağın kaynak metali ile ana metal arasından ilerlediği, fakat bunun yanında farklı çatlaklarında meydana geldiği gözlemlenmiştir.

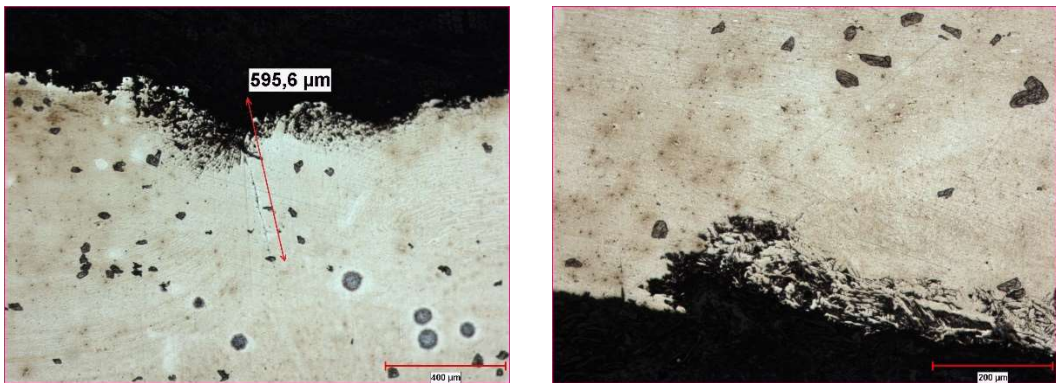
Şekil 4.20 ila Şekil 4.24 arasındaki şekillerde hassaslaştırma işlemi uygulanmış, sırasıyla 168, 192, 360, 384 ve 408 saat çözeltide bekletilen numunelerin çatlak ölçümleri ve çatlak başlangıç noktaları görülmektedir. Burada da çatlak boyutlarının süre ile doğru orantılı olarak artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda hassaslaştırılmamış numuneye kıyasla iç bükme işleminin iç tarafında da çatlak ilerlemesinin olduğu ve hızlı ilerlediği anlaşılmaktadır. İç kısımdaki çatlakların boyu özellikle 408 saat beklemiş numunede fazlasıyla ilerlemiş ve bükmenin dış tarafına yakın kaynak metaline ulaşmıştır.



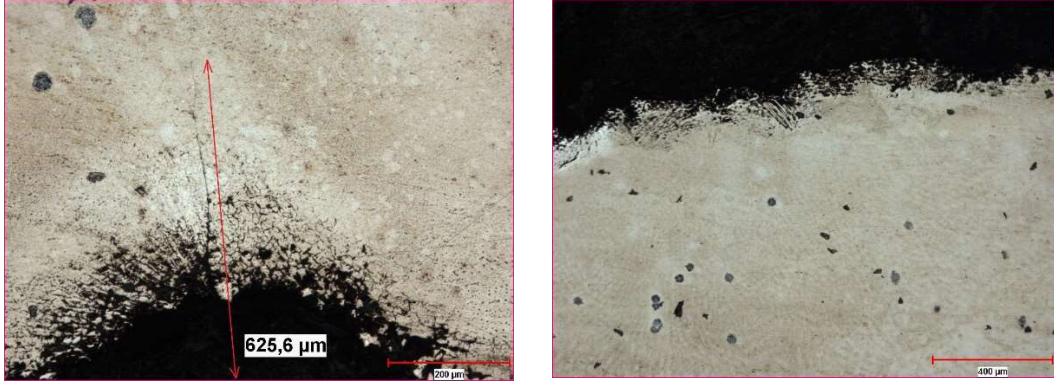
Şekil 4.20. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 168 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu



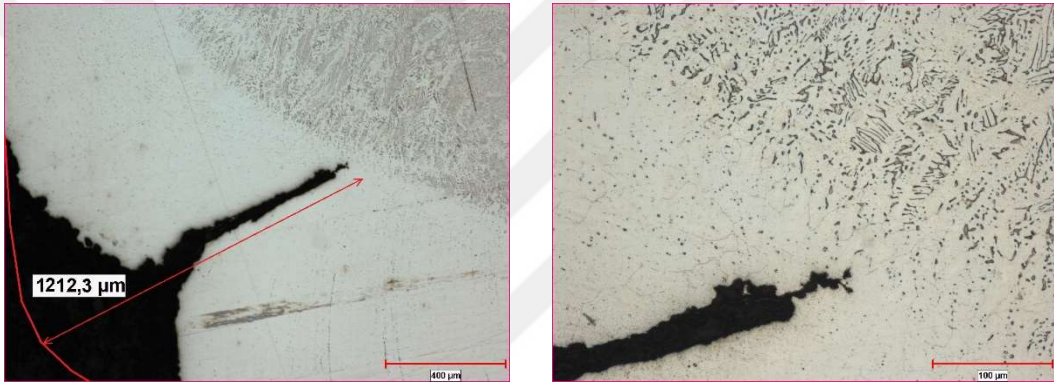
Şekil 4.21. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 192 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu



Şekil 4.22. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 360 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu



Şekil 4.23. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 384 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu



Şekil 4.24. TİG Kaynağı İle Birleştirilmiş Ve 408 Saat Süresince Çözeltide Bekletilmiş Hassaslaştırılmış Numuneye Ait Çatlak Oluşumu

Her iki tip gerilmeli korozyon davranışında da korozyonun taneler arasından meydana geldiği görülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Ergitmeli kaynak yöntemi olan TİG kaynağında kaynak bölgesi ve ısının tesiri altında kalan alan daha fazla olduğundan ana metale göre sertliği daha yüksek olan bölge daha geniştir.
2. En yüksek çekme gerilmesi değerine kaynaksız numune ile birlikte TİG kaynağı ile kaynaklanmış numunede karşılaşılmıştır.
3. En yüksek üç nokta eğme gerilmesi değerine TİG kaynağı ile kaynaklanmış numunede ulaşılmıştır. Burada sertlik değeri yüksek olan bölgenin daha geniş olmasının bu sonuca neden olduğu anlaşılmaktadır.
4. Gerilmeli korozyon davranışı incelenirken, hassaslaştırma işlemi yapılmamış numunelerin çözültide kalma süreleri arttıkça çatlakların giderek arttığı görülmüştür.
5. Hassaslaştırılmamış numunelerin sadece bükme yüzeylerinin dış kısımlarından çatlak ilerlemesine maruz kaldığı anlaşılmıştır.
6. Hassaslaştırılmış numunelerin sadece bükme dış yüzeylerinde değil iç yüzeylerinde de çatlak meydana geldiği tespit edilmiştir.
7. Hassaslaştırılmış numunelerde çatlak boyu 408 saat beklemenin sonunda 1,2mm'yi aşmıştır.
8. Hassaslaştırma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerde ağırlık kayıpları incelendiğinde hassaslaştırma işlemi uygulanmış numunelerde ağırlık kaybının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu da mikroyapı değerleriyle birbirini desteklemektedir.
9. Çalışma diğer paslanmaz çelik türleri için ve ayrıca AISI 304 paslanmaz çeliklerde ise farklı kaynak parametreleri denenerek de uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Seçkin, Edip. Kapalı Kesit Paslanmaz Çelik Çekme Elemanları Kaynaklı Uç Birleşimlerinin Davranış Ve Tasarımı. T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 5 s. (Doktora Tezi)
- [2] Paksoy, A. Kerem. Çelik Yapıların, Atmosferik Korozyona Karşı Korunmasında Epoksi Bazlı Boya Ve Kaplamaların Kullanımı Ve Performansı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 17 s. (Doktora Tezi)
- [3] Odabaş, C. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı. Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayınları, İstanbul, 2007, 59 s.
- [4] Nayır, H. Paslanmaz Çeliklerde Bölgesel Korozyon. Makine Mühendisleri Odası Yayınları. Ankara, 2017, 2165 s.
- [5] Kotecki, D. J., Siewert, T. A. WRC-1992 Constitution Diagram for Stainless Steel Weld Metals: A Modification of the WRC-1988 Diagram, Welding Research Supplement, 1992, 171-178 s.
- [6] Eryürek, İ. B. Gazaltı Ark Kaynağı, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayınları. İstanbul, 2007, 3 s.
- [7] Nadzam, J. MIG/MAG Welding Guide for Gas Metal Arc Welding. Lincoln Electric, Cleveland, Ohio, ABD, 2014, 12 s.
- [8] Külahlı, E. Kaynak Bilimi, Oerlikon Yayını, İstanbul, 1988, 2, 1-12 s.
- [9] Odabaş, C. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı. Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayınları, İstanbul, 2007, 53 s.
- [10] Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E. Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul, 1991, 21 s.
- [11] Tülbentçi, K. Özlü Tel Elektrod ile Kaynak, Gedik Holding Kaynak Dünyası, Haziran 1989, 1989/2, İstanbul, 5-9 s.
- [12] Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E. Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul, 1991, 87 s.
- [13] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Metal Teknolojisi Tig Kaynağı, Ankara, 2011, 4 s.
- [14] Cynthia, L. J., Annette, O., Welding Handbook, American Welding Society, Miami, 67 s.
- [15] Murugan, N., Gunaraj, V., Prediction and control of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding of pipes, Journal of Materials Processing Technology, 2005, 168, 478–487 s.
- [16] Odabaş, C. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı. Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayınları, İstanbul, 2007, 47 s.

- [17] Köse, Ceyhun. Medikal Alanda Kullanılan Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynak Kabiliyeti Ve Kaynaklı Bağlantıların Biyoaktivite Ve Biyokorozyon Davranışlarının Araştırılması, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2015, 27 s. (Doktora Tezi)
- [18] Karaaslan, A. Lazer ile Malzeme İşlemleri, Literatür Yayınları, İstanbul, 2009, 80 s.
- [19] Singh, C. S., Zeng, H., Guo, C., Cai, W., Lasers: Fundamentals, Types and Operations, Nanomaterials: Processing and Characterization with Lasers, First Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2012, 810 s.
- [20] Abdel-Monem El-Batahgy A, Effect of laser welding parameters on fusion zone shape and solidification structure of austenitic stainless steels, Materials Letters, 1997, 32, 155-163 s.
- [21] Köse, Ceyhun. Medikal Alanda Kullanılan Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynak Kabiliyeti Ve Kaynaklı Bağlantıların Biyoaktivite Ve Biyokorozyon Davranışlarının Araştırılması, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2015, 35 s. (Doktora Tezi)
- [22] Kaluç, E. Laser Işını İle Kaynak Ve Kesme Diğer Kaynak Yöntemleri, Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Kocaeli, 1993, 196 s.
- [23] Corrosion (Fundamentals, Testing and Protection), ASM Handbook, ASM Handbook Committee, 2003, Vol. 13, 14 s.
- [24] Corrosion (Fundamentals, Testing and Protection), ASM Handbook, ASM Handbook Committee, 2003, Vol. 13, 901 s.
- [25] Paksoy, A. Kerem., Çelik Yapıların, Atmosferik Korozyona Karşı Korunmasında Epoksi Bazlı Boya Ve Kaplamaların Kullanımı Ve Performansı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 7 s. (Doktora Tezi)
- [26] Eker, A., Paslanmaz Çelikler Ve Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Ders Notları, İstanbul, 2009, 13 s.
- [27] Aran, A., Temel M. A., Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller Üretimi Kullanımı ve Standartları, Sarıtaş Teknik Yayın No:1, İstanbul, 2004, 36 s.
- [28] Erdemir, Haluk. Plakalı Eşanjörlerde Gerilmeli Korozyon Çatlağının İncelenmesi Ve Bunun İçi Test Düzenineğinin Hazırlanması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2017, 37 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [29] William F. S., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (Kınıkoğlu, N. G. Çev.). İstanbul, Literatür Yayıncılık, 2001, 855 s.
- [30] Yalçın, H., Koç, T., Mühendisler için Korozyon, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 1990.
- [31] Çatar, Recep. Magnezyum Alaşımlarının Farklı Ortamlardaki Gerilmeli Korozyon Davranışının İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2013, 42 s. (Yüksek Lisans Tezi)

- [32] Saklakoğlu, N., İrizalp, S., Gökdemir, Z. E., Polat, S., AISI 304 Ve 316 Paslanmaz Çeliğinin Hcl Ve H₂SO₄ Çözeltilerindeki Gerilim Korozyon Çatlamağı Davranığı, Mühendislik Dergisi, 2016, 7(1), 139-150 s.
- [33] Almubarak, A., Abuhaimed, W., Almazrouee, A., Corrosion Behavior Of The Stressed Sensitized Austenitic Stainless Steels Of High Nitrogen Content İn Seawater, International Journal of Electrochemistry, 2013, 1-7 s.
- [34] Kaya, Y., AISI 304 ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrot Ark Kaynağıyla Birleştirilebilirliğinin Araştırılmağı, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2010, 25(3), 549-557 s.
- [35] Osmanoğlu, Tahir. AISI 304 ve 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 37 s.
- [36] Coruk, Emre. Advanced Identification Of Flow Curve Paramaters In Tension Test, Atılım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011, 7 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [37] Demircan, Gökhan. Al₂O₃ Nanopartikül Katkılı Aramid Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozitlerin Mekanik Özellikleri, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, şanlıurfa, 2018, 53 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [38] Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Bölümü, Eğme Testi Laboratuvar Notları, Manisa, 2018, 1 s.
- [39] Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Bölümü, Sertlik Deneyi Laboratuvar Notları, Manisa, 2018, 1 s.
- [40] Atıcı, U., Güllü, A., A Comparison Of The Effects Of Plasma And Underwater Plasma Arc Methods On Surface Roughness And Hardness Variations Of AISI 304 And AISI 1050 Stells, G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 2005, 18(4), 647-655 s.
- [41] Çelik, İ., Taşdemir, M., Makine Mühendisliği Deneyler Sertlik Deneyi Föyü, Gümüşhane Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, 2017, 3 s.

1 Bright-Field Microscopy

► When configured with the LV-JEPI

<p>1. Turn on the power.</p>	<p>1 Push in. Binocular eyepiece: 100% (P.29)</p> <p>6 Raise the levers. To fully open the field and aperture diaphragms. (p.31 and p.32)</p>
<p>2. Set the microscope for bright-field microscopy If accessories for DIC microscopy (*1 to *3) are in place, pull them out of the optical path.</p>	<p>2 Push in. BF (bright-field) (p.33)</p> <p>3 Select the 10x objective. On the LV150A, use the nosepiece rotation buttons. (p.35)</p> <p>4 Lower the stage as far as it will go. Coarse focus knob (p.27)</p> <p>5 Adjust the brightness. Brightness control knob (p.26)</p> <p>7 Push in the NCB11 filter. To compensate color temperature. (p.26)</p> <p>8 Adjust the brightness. ND filter (p.26)</p> <p>Power switch</p>
<p>3. Place the sample on the stage and focus on it. (p.27)</p> <p>4. Adjust the diopter. (p.30)</p> <p>5. Adjust the interpupillary distance. (p.30)</p> <p>6. Change the magnification and observe the sample. Hint: It may be difficult to focus on a sample with small contrast, such as a polished surface. In a case like this, stop down the field diaphragm so that its image can be seen in the viewfield, and try to focus on the rim of the diaphragm image. When the rim is in focus, the sample is in focus just as well.</p>	<p>4 Adjust to circumscribe the viewfield. Field diaphragm (p.31) Image of field diaphragm Viewfield</p> <p>5 Adjust to 70 to 80% of the objective's N.A. Aperture diaphragm (p.32) Objective's pupil Image of aperture diaphragm</p> <p>6 Adjust the brightness. ND filter (p.26)</p>
	<p>1 Select the 10x objective. On the LV150A, use the nosepiece rotation buttons. (p.35)</p> <p>2 Finely adjust the focus. Coarse/fine focus knob (p.27)</p> <p>3 Adjust the brightness. Brightness control knob (p.26)</p>



Endüstriyel Çözümler

Kaynak Yöntemi

- TIG AC Darbeli Akım (Yüksek Frekanslı)
- TIG DC Darbeli Akım (Yüksek Frekanslı)
- MMA (Örtülü Elektrot)

Malzeme Cinsi

- Alüminyum alaşımları
- Magnezyum alaşımları
- Karbonlu çelik
- Paslanmaz çelik
- Döküm demir
- Bakır ve Nikel alaşımları



GİRİŞ



ÇIKIŞ



Standart Set İçeriği

- TIG kaynak torcu (4m)
- Şase kablosu 35mm² (3m)
- Gaz regülatörü

Opsiyonel Ekipmanlar

- TIG kaynak torcu 8m
- Otomatik Kararan Baş Maskesi DIN5/8 - DIN9/13
- Soğutma ünitesi (Sadece su soğ. versiyon için)
- Taşıyıcı araba (Sadece su soğ. versiyon için)



ULTIMATE 315 AC/DC

Alüminyumun kaynağının kolay hali!

Ultimate 315 ACDC 3 fazlı TIG ACDC kaynak makinesi, darbeli akım özelliği ile tüm alüminyum kaynak uygulamalarına çözüm sunacak şekilde tasarlanmıştır.

Tek tuş ile TIG AC, TIG DC ve MMA kaynak yöntemleri arasında geçiş rahatlıkla yapılmaktadır.

Kaynak performansı son derece iyi ve profesyoneldir.

Darbeli akım malzemeye giren ısıyı azaltarak ince malzemelerin daha kolay kaynamasını sağlar ve kaynak dikişlerinin daha hızlı soğuyarak akma ihtimalini ortadan kaldırır.



Dijital akım göstergesi

Kullanıcı dostu kontrol paneli

Yüksek frekans [HF] ile mükemmel ark oluşturma

Yüksek oranlı su akış debisine sahip soğutma ünitesi

Akım ayarı için pedal kullanabilme imkanı

Yüksek devrede kalma ve yüksek performans

Modern tasarımı taşıyıcı araba



Teknik Özellikler

Model	Giriş Gücü	Devrede Kalma Oranı	Amper Aralığı	Voltaj Aralığı	Güç Tüketimi	Koruma Sınıfı	Ebat (taşıyıcı araba ile)	Ağırlık
Ultimate 315 ACDC	3 x 400V ± 15	320A %60 - 40°C	10 - 320A	10,4 - 22,6V	9kVA	IP 21S	610 x 1070 x 1100mm	98kg

Mobile Systems



Photo: LAWITEX GmbH, Langenfeld

ALM

Whether on the customer site or in your own workshop, the ALM offers you new, universal possibilities of use and greatest flexibility. Particularly large moulds, tools, casings and machine components of any size can be processed in an uncomplicated manner. It is possible to position the laser arm quickly and flexibly with millimetre accuracy. During the welding process, the arm can be steered per joystick, semi-automatically or by remote control. The turn-and-tilt processing head makes working possible at any point of the workpiece, even at deep lying spots. With the optional turn-and-tilt-optics the beam deflection can be set, infinitely variable, up to 40° from the vertical.



Mobile repair welding within the machine on a die-casting mould (Photo: Jutz Lasertechnik)



Repair welding (Photo: PML Lasertechnik, Nohra)

Technical data	ALM 200 DC	NEW: ALM 200	NEW: ALM 250
Laser			
Average power	200 W	200 W	250 W
Peak pulse power	9 kW	9 kW	9 kW
Pulse energy	90 J	90 J	90 J
Pulse duration	0.5 – 20 ms		
Pulse frequency	Single pulse up to 20 Hz	Single pulse up to 100 Hz	Single pulse up to 100 Hz
Welding spot diameter	0.2 – 2.0 mm		
Focusing optics	150 mm		
Pulse shaping	Adjustable power-shaping within a laser pulse		
Control	User-specific operation with up to 128 data records	User-specific operation with up to 39 data records	
Viewing system			
Leica binoculars with oculars suitable for wearers of glasses			
Working range			
Movement of the arm/processing head can be carried out manually or motor driven under joystick control			
Speed of motion (X, Y, Z)	0 – 2.5 mm/s	0 – 25 mm/s	0 – 25 mm/s
X, Y in mm	145 x 120		
Z in mm	1300		
Lowest working point in mm	450	510	
Highest working point in mm	1500	1560	
Arm travel in mm	1300	1300	
Mechanical dimensions			
LxWxH in mm	1400 x 672 x 1505	1410 x 730 x 1585	
Weight	290 kg	320 kg	320 kg
Electrical connection			
3 x 400 V / 50–60 Hz / 3 x 16 A			
Options			
<ul style="list-style-type: none"> > Turn-and-tilt optics > Tilttable turntable with chuck for horizontal to vertical rotation > Remote control > TV system for demonstrating and observing the welding process 			

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali Osman EMET

Doğum Yeri ve Yılı : Simav/KÜTAHYA, 1990

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : aoemet@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Simav Nurullah Koyuncuoğlu Anadolu Lisesi, 2008

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği
Bölümü, 2012

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı, Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı, Halen

Mesleki Deneyim

Binicioğlu Yapı Mühendislik – Proje Mühendisi	2014-2016
Türk Standardları Enstitüsü – Dış Uzman	2014-2017
Ali Osman Emet Mühendislik – İşyeri Sahibi	2015- Halen