



**TIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN
AISI316 KALİTE PASLANMAZ ÇELİĞİN
DAYANIMI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Ayberk ERDEM

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ**

**TIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN AISI316 KALİTE
PASLANMAZ ÇELİĞİN DAYANIMI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

Ayberk ERDEM

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Mart 2023

Ayberk ERDEM tarafından hazırlanan “TIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN AISI316 KALİTE PASLANMAZ ÇELİĞİN DAYANIMI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 03/03/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Yusuf Aytaç ONUR (BEÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Ayberk ERDEM

ÖZET

TIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN AISI316 KALİTE PASLANMAZ ÇELİĞİN DAYANIMI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Ayberk ERDEM

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ

Mart 2023, 52 sayfa

Çelik ve çelik türevi malzemeler günümüz teknolojisinde ve endüstrisinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çeliklerin birçok çeşidi mevcut olup bunlardan bir tanesi de paslanmaz çeliklerdir. Paslanmaz çelikler martenzitik, östenitik, ferritik, dubleks ve çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler olarak beş ana başlıkta yer almaktadır. Paslanmaz çeliklerin başlıca özelliği diğer çelik türlerine kıyasla korozyon dirençlerinin yüksek olmasıdır. Paslanmaz çeliklerin kullanım alanları, mutfak araç gereçleri, gıda sektörü, kimya sektörü, buhar kazanı ve fırınlar, petrol tesisleri, aks, mil, hidroelektrik santralleri, otomotiv sektörü, kesici takım imalatı ve pompalardır.

Paslanmaz çeliklerin kullanıldığı uygulamalarda birleştirme yöntemi olarak kaynak uygulaması seçilmesi durumunda çevresel şartlar büyük önem arz etmektedir. Bu birleştirme uygulaması sırasında yanlış yöntem ya da parametreler kullanıldığında hatalar meydana gelebilmekte ya da istenen kaynak kalitesi ve dayanımı sağlanamamaktadır. Yapılan bu çalışmada ana malzeme olarak AISI 316 kalite

paslanmaz çelik kullanılmış olup TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemi uygulanmıştır. Bu kaynak yöntemi üç farklı kaynak akım değeri (85, 90 ve 100 amper), üç farklı koruyucu gaz basınç değeri (12, 13 ve 14 bar) ve üç farklı kalitede ilave tel (AISI 308, AISI 309 ve AISI 316 kalite) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. TIG kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen kaynak işlemi sonucunda her numune çekme-akma testine tabi tutulmuş olup mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Yapılan mikrosertlik ölçümlerinin sonuçlarına bakıldığında, ana malzemeden kaynak bölgesine doğru ilerledikçe (ilerleme sırası ana malzeme, ITAB bölgesi ve kaynak bölgesi) mikro sertlik sonuçlarında azalma olduğu ve çekme-akma testleri sonucunda TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin kaynak bölgelerinden koptuğu belirlenmiştir. Kaynak akım değeri ve kaynak koruyucu gaz değeri arttıkça malzemelerin çekme ve akma dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. İlave teller ve kaynakların sağlamlığı ilişkisi incelendiğinde ise AISI 309L kalite ilave tel kullanılarak yapılan kaynağın çekme ve akma dayanımları en yüksek, AISI 308L kalite ilave tel kullanılarak yapılan kaynağın çekme ve akma dayanımları ise en düşük olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Paslanmaz çelikler, AISI 316, östenit, TIG kaynağı

Bilim Kodu : 91419

ABSTRACT

A STUDY ON THE STRENGTH OF AISI316 QUALITY STAINLESS STEEL COMBINED WITH TIG WELDING METHOD

Ayberk ERDEM

**Karabuk University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis advisor:

Assoc. Prof. Dr. Recep DEMİRSÖZ

March 2023, 52 page

Steel types are widely used in today's technology and industry. There are many types of these steels and one of them is stainless steels. Stainless steels are classified under five main headings as martensitic, austenitic, ferritic, duplex and precipitation hardening stainless steels. The main feature of stainless steels is their high corrosion resistance compared to other types of steel. Usage areas of stainless steels are kitchen tools, food industry, chemical industry, steam boilers and ovens, petroleum facilities, axles, shafts, hydroelectric power plants, automotive industry, cutting tool manufacturing and pumps. Environmental conditions are of great importance if welding is chosen as the joining method in applications where stainless steels are used. If wrong methods or parameters are used during this joining application, errors may occur or the desired weld quality and strength cannot be achieved. In this study, AISI 316 quality stainless steel was used as the main material and TIG (Tungsten Inert Gas) welding method was applied. This welding method was carried out using three different welding current values (85, 90 and 100 amps), three different shielding gas pressure values (12, 13 and 14 bar) and three different quality

additional wires (AISI 308, AISI 309 and AISI 316 quality). As a result of the welding process using TIG welding method, each specimen was subjected to tensile-flow test and microhardness values were measured. Looking at the results of the microhardness measurements, it was determined that the microhardness results decreased as it progressed from the base material to the weld zone (advance order of the base material, the ITAB zone and the weld zone), and as a result of the tensile tests, the materials joined by TIG welding broke off from the weld zones. It has been determined that the tensile and yield strengths of the materials decrease as the welding current value and the welding shielding gas value increase. When the relationship between the additional wires and the strength of the welds is examined, the tensile and yield strengths of the weld made using AISI 309L quality additional wire were found to be the highest, and the tensile and yield strengths of the welding made using AISI 308L quality additional wire were the lowest.

Key word : Stainless steels, AISI 316, austenite, TIG welding.

Science Code : 91419

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deney ve testlerin yapılmasında emeği geçen Kardemir A.Ő. Kalite Mühendisi Arkin ARGUN'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
BÖLÜM 3	6
PASLANMAZ ÇELİKLER.....	6
3.1. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN PASLANMAZ ÇELİKLE İLİŞKİSİ.....	6
3.1.1. Krom (Cr)	7
3.1.2. Nikel (Ni).....	7
3.1.3. Bakır (Cu)	7
3.1.4. Karbon (C).....	8
3.1.5. Mangan (Mn).....	8
3.1.6. Silisyum (Si).....	9
3.1.7. Azot (N).....	9
3.1.8. Titanyum (Ti).....	10
3.1.9. Kükürt (S).....	10
3.1.10. Fosfor (P).....	11
3.2. STANDARTLARA GÖRE PASLANMAZ ÇELİKLERİN İSİMLERİ.....	12
3.3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN GRUPLANDIRILMASI	12

	<u>Sayfa</u>
3.3.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	14
3.3.1.1. AISI 316 Kalitesindeki Paslanmaz Çelik.....	14
3.3.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler	14
3.3.4 Östenitik+Ferritik Paslanmaz Çelikler (Dubleks)	16
3.3.5. Çökeltme Sertleşmesi Uyunabilen Paslanmaz Çelikler.....	17
3.4. PASLANMAZ ÇELİKLERE UYGULANABİLEN KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	18
 BÖLÜM 4	 20
METAL BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ.....	20
4.1. LEHİMLEME	20
4.2. KAYNAK.....	21
4.2.1. Kaynak Birleştirme Yöntemleri.....	22
4.2.1.1. Alın Kaynağı.....	22
4.2.2. Kaynak Çeşitleri	23
4.2.2.1. Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı.....	23
4.2.2.2. Örtülü Telle Ark Kaynağı	24
4.2.2.3. Gaz Altı Kaynağı (MIG-MAG Kaynağı).....	24
4.2.2.4. TIG Kaynak Yöntemi	25
4.2.2.5. Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi (SAW).....	27
4.2.2.6. Saplama Kaynak Yöntemi (SW).....	28
 BÖLÜM 5	 29
MATERYAL METOT.....	29
5.1. ÇEKME-AKMA TESTİ.....	34
5.2. MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ	35
 BÖLÜM 6	 37
DENEY SONUÇLARI	37
6.1. ÇEKME-AKMA TEST SONUÇLARI	37
6.2. MİKROSERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	43
 BÖLÜM 7	 46
SONUÇ VE ÖNERİLER	46

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Krom elementi	7
Şekil 3.2. Nikel elementi	7
Şekil 3.3. Bakır elementi	8
Şekil 3.4. Karbon elementi	8
Şekil 3.5. Mangan elementi	9
Şekil 3.6. Silisyum elementi	9
Şekil 3.7. Azot elementi	10
Şekil 3.8. Titanyum elementi.....	10
Şekil 3.9. Kükürt elementi.....	11
Şekil 3.10. Fosfor elementi.....	11
Şekil 3.11. Shaeffler Diyagramı	13
Şekil 3.12. Paslanmaz çelik türlerinin mikro yapıları.....	13
Şekil 3.13. Ferritik paslanmaz çeliklerin şeması	15
Şekil 3.14. Martenzitik paslanmaz çeliklerin şeması.....	16
Şekil 3.15. Östenitik+ferritik paslanmaz çelikler (Dubleks) şeması	17
Şekil 3.16. Çökeltme sertleşmesi uyunabilen paslanmaz çelikler şeması	18
Şekil 4.1. Lehimleme işlem adımları a) lehimin altlık malzeme üzerine yayılması b) altlık malzemenin ergimiş lehim içinde çözünmesi c) altlık malzeme ve lehimin reaksiyona girerek intermetalik bileşik tabakası oluşturması 21	
Şekil 4.2. Kaynak birleştirme yöntemleri.....	22
Şekil 4.3. Alın kaynak birleştirme yönteminde kaynak ağızları şematik görseli	23
Şekil 4.4. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağına ait şematik görsel.....	24
Şekil 4.5. MIG-MAG kaynak yöntemi ekipmanları.....	25
Şekil 4.6. TIG kaynağı yönetim şeması gösterimi.....	26
Şekil 4.7. TIG kaynak ekipmanlarına ait görsel	27
Şekil 4.8. Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi Şematik Gösterimi.....	27
Şekil 4.9. Saplama kaynak yönteminin şematik gösterimi	28
Şekil 5.1. AISI 316 kalite paslanmaz çelik numunelerin hazırlanması.	30
Şekil 5.2. Kaynağı yapılacak plakaların kaynak ağızı açma.....	31
Şekil 5.3. TIG kaynağında kullanılan ilave teller.	31

Sayfa

Şekil 5.4. Kaynak makinesi ve kaynak işlemine ait bir görsel (Kardemir AŞ).	33
Şekil 5.5. Deneye hazır numunelere ait görsel.	34
Şekil 5.6. Çekme test cihazına ait görsel.	34
Şekil 5.7. Numunenin kopma anına ait görsel.	35
Şekil 5.8. Mikrosertlik ölçüm cihazına ait bir görsel.	36
Şekil 6.1. Çekme testi anında numune kopma anı.	37
Şekil 6.2. Çekme testi sonucunda kopan parçalara ait görsel.	38
Şekil 6.3. AISI 316 malzemeye ait çekme testi grafiği.	41
Şekil 6.4. AISI308 kalite ilave tel, 14 bar koruyucu gaz basıncı, 100A kaynak akımı parametreyle birleştirilen numunenin çekme testi grafiği.	42
Şekil 6.5. AISI309 kalite ilave tel, 12 bar koruyucu gaz basıncı, 85A kaynak akımı parametreyle birleştirilen numunenin çekme testi grafiği.	43
Şekil 6.6. Sertlik deneyi sonuçları grafiği.	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Çelik oluşumunda demir ve alaşım gösterimi.....	6
Çizelge 3.2. Paslanmaz çelik kalite standartları.....	12
Çizelge 5.1. AISI 316 kalite paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri	29
Çizelge 5.2. AISI 316 kalite paslanmaz çelik numuneye ait kimyasal kompozisyon.....	30
Çizelge 5.3. Deney parametreleri.....	32
Çizelge 5.4. Kullanılan parametre değerleri.	32
Çizelge 5.5. İlave kaynak tellerine ait kimyasal kompozisyonlar.....	33
Çizelge 5.6. İlave kaynak tellerine ait çekme-akma değerleri	33
Çizelge 6.1. Çekme testi sonuçları ve standart sapmaları.....	38
Çizelge 6.2. Çekme testi sonuçları ve standart sapmaları.....	39
Çizelge 6.3. Çekme testi sonuçları ve standart sapmaları.....	40
Çizelge 6.4. AISI 316 malzemeye ait çekme-akma testi sonuçları.....	40
Çizelge 6.5. Sertlik testi yapılan numuneye ait değerleri.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: Amper
AR	: Argon
C	: Karbon
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
H ₂	: Hidrojen
kg	: Kilogram
kN	: Kilonewton
m ³	: Metre küp
mm/dk	: Milimetre/dakika
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Mpa	: Megapaska
N	: Azot
Ni	: Nikel
N/Mm ²	: Newton/Milimetre kare
P	: Fosfor
Rm	: Çekme Mukavemeti
Rp0.2	: Akma Mukavemeti
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum

% : Yüzde
°C : Derece
± : Yaklaşık Değer
 γ : ivme değeri
%ağ : Ağırlık

KISALTMALAR

AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
B	: Sertlik, Rockwell
Bar	: Basınç Birimi
CNC	: Computer Numeric Control
DC	: Direct Current
GMAW	: MIG-MAG Kaynak Yöntemi
HV	: Vickers Sertlik Testi
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
MAG	: Metal Active Gas
MIG	: Metal Inert Gas
SAW	: Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi
SMAW	: Örütlü Elektrod Ark Kaynak Yöntemi
SW	: Saplama Kaynak Yöntemi
TIG	: Tunsten İner Gaz

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bu çalışmada TIG kaynak yönteminde farklı parametreler kullanılarak birleştirilmiş AISI316 kalite paslanmaz çelik malzemenin dayanımı incelenmiştir. Ana malzeme olarak seçilen AISI316 paslanmaz çeliği piyasada çok kullanılan AISI303, AISI304 ve AISI304L gibi paslanmaz çeliklere göre daha yüksek korozyon direncine sahiptir. Bu yüksek korozyon direnci kimyasal kompozisyon içerisinde bulunan molibden elementinden kaynaklanmaktadır. AISI316 çelikleri yüksek sıcaklık dayanımına da sahip olmakla beraber alt sınıf olarak östenitik paslanmaz çelik sınıfında yer alırlar ve içeriğinde az miktarda karbon olduğundan dolayı hem kaynak edilebilirlik konusunda hem de şekillendirme konusunda oldukça iyi performans gösterirler.

TIG kaynak yöntemi estetik görüntü ve kaliteli birleştirme sağlayan ve paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi için kullanımı uygun modern bir kaynak yöntemidir. AISI316 kalite paslanmaz çelikte en çok tercih edilen kaynak yöntemleri TIG ve MIG yöntemleridir.

Bu çalışmada AISI316 kalitesindeki paslanmaz çelik malzeme üzerinde TIG kaynak yöntemi ile farklı kalitelere teller, farklı kaynak akımı ve farklı gaz basıncı değerlerinde uygulanmıştır. Kullanılacak kaynak akım değerleri, 85, 90 ve 100 amper, koruyucu gaz basınç değerleri 12, 13 ve 14 bar olup kullanılan tel kaliteleri, AISI308, AISI309 ve AISI316'dır. Birleştirilen parçalar çekme testine tabi tutulmuş olup elde edilen sonuçlar birbirleri ile mukayese edilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı yöntemi ile gerçekleştirilen çalışmaları incelendiğinde farklı parametre değerleri kullanılarak birçok farklı çalışmanın mevcut olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada, AISI 304 kalite paslanmaz çeliği üzerinde yapılan deneyler sonucunda çeşitli veriler elde edilmiştir. Bu veriler; çekme testi sonuçları, vickers mikrosertlik sonuçları ve mikro yapı görüntüleme sonuçlarıdır. Bu sonuçlar incelendiğinde sertlik değerinin en yüksek olduğu bölgenin kaynak bölgesi, ikinci en sert bölgenin ITAB bölgesi ve sertlik değeri en az olan bölgenin ise kaynaktan etkilenmeyen bölge olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çekme testi incelendiğinde kaynak yapılan bölgede kopma gerçekleşmiştir. Bunun sebebi ise kaynak bölgesinin çekme dayanımının ana malzemenin çekme dayanımına göre daha düşük olması ile açıklanmıştır. Mikro yapı görselleri incelendiğinde ise amper ve debi miktarı arttıkça meydana gelen kaynak ve ITAB alan büyüklüğü artmaktadır [1].

Bu çalışma sonucunda, AISI 304L kalite paslanmaz çeliğe MIG kaynağı yöntemi ve TIG kaynağı yöntemi uygulanmıştır. Bu kaynaklar uygulanırken üç farklı kaynak akım değeri (85,100 ve 130 amper) ve üç farklı ilerleme hız değeri (1100, 1300 ve 1500 mm/d) kullanılmıştır. Kaynak uygulaması tamamlandıktan sonra çekme testi uygulanmıştır ve TIG kaynak yöntemi uygulanan numune için çekme dayanımı en yüksek olan numunenin 130 amper ve 1500 mm/d değerlerinde gerçekleştirilen kaynak olduğu gözlemlenmiştir. Mikro yapı görüntüleri incelendiğinde kaynak alanı büyüklüğünün, akım ve ilerleme hızı ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. MIG kaynağı uygulanan numuneler incelendiğinde ise maruz kalınan akım miktarı arttıkça meydana gelen kaynak dikiş alan büyüklüğü azalmaktadır. Kaynak uygulaması

yapılırken ilave tel olarak ER316LSİ ve ER316LSİ kullanılmış ve numunelerin çekme dayanımında artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek çekme dayanımına sahip test sonucu ER309LSİ ilave teli kullanılarak 100 amper akım ve 1500 mm/d ilerleme hızı şartlarında gerçekleştirilen MIG kaynak yöntemi olduğu gözlemlenmiştir. ER309LSİ ilave telinin ER316LSİ ilave telinden daha yüksek dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir. Kaynak bölgelerinin sertlik değerleri incelendiğinde ise ER316LSİ ilave edilen bölgenin ER309LSİ ilave edilen bölgeden daha sert olduğu görülmüştür [2].

AISI 316L ve AISI 2205 kalite paslanmaz çeliklerin kaynaklanması ilave tel ve elektrod kullanılarak EAK ve GMAK kaynak yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak uygulaması gerçekleştirilen numunelere çekme, akma ve mikrosertlik ölçümü uygulanmıştır. Test sonuçları incelendiğinde çekme ve akma dayanımı, uzama miktarı ve sertlik değeri en yüksek olan numune AISI 316L olarak belirlenmiştir. AISI 316L kalite paslanmaz çelik için uygulanan testlere göre numune üzerindeki en düşük akma dayanım değeri ITAB bölgesinde tespit edilmiştir. EAK ve GMAK kaynak yöntemleri kıyaslandığında yapılan testler sonucunda GMAK kaynak yöntemi uygulanmış numunelerin çekme ve akma dayanımı, sertlik değeri EAK kaynak yöntemi uygulanmış numunelere daha yüksek olduğu belirlenmiştir. EAK kaynak yöntemi ile birleştirilen numune incelendiğinde kaynak etkisi ile meydana gelen en büyük alanın ITAB bölgesi olduğu görülmüştür [3].

AISI 316L kalite paslanmaz çelik, TIG kaynak yöntemi ile üç farklı kaynak hız değeri uygulanarak gerçekleştirilmiş olup bu ilerleme hız değerlerinin kaynak üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda kaynak hızının mikroyapı üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Kaynak ilerleme hızında artış oldukça hızlı soğuma meydana geldiğinden dolayı ferrit yapı meydana geldiği görülmüştür. Çekme testi sonuçları incelendiğinde kaynak uygulanan bölgenin ana malzemeye kıyasla daha yüksek bir çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Kaynak ilerleme hızı ile çekme dayanımı arasında doğru orantı, ITAB bölge büyüklüğü ile ters orantı olduğu görülmüştür. Kaynak ilerleme hızı ile sertlik değeri arasında ilişki olmadığı test sonucundan anlaşılmıştır [4].

Özellikleri birbirinden farklı P355GH ve AISI316L kalite çelikler TIG kaynak yöntemi ile belirlenen parametrelerle birleştirilerek bir çalışma gerçekleştirilmiş olup mikroyapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Her iki malzeme de göz önünde bulundurulduğunda P355GH malzemenin çekme ve akma dayanımı AISI 316L malzemeye göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. TIG kaynak yöntemi uygulanırken ilave tel olarak ER309L kullanılmıştır. Çekme testi sonucunda kopan malzemenin AISI 316L olduğu görülmüştür. Uzama miktarları incelendiğinde AISI 316L malzeme daha fazla uzama miktarı meydana geldiğinden dolayı daha sünek bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Testler sonucunda AISI 316L malzemenin daha tok bir yapıda olduğu belirlenmiştir. ER309L ilave telinin her iki çelik türüne de uygun olduğu gözlenmiştir [5].

AISI 304 paslanmaz çeliğin TIG kaynağı yöntemi ile birleştirilmesinde koruyucu gaz olarak kullanılan argon gazına farklı oranlarda hidrojen gazı ilave edilmiştir. Farklı oranlarda ilave edilen hidrojen gazının malzeme üzerindeki mekanik ve mikroyapısal etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada AISI 304 malzemenin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde üç çeşit argon-oksijen gaz karışımı kullanılmıştır. Bunlar; saf argon, AR+%1,5H₂ ve AR+%5H₂ argon-oksijen gaz karışımlarıdır. Numunelerin çekme, eğme, sertlik ve yorulma testleri gerçekleştirilmiş olup sertlik testi sonuçlarına göre sırasıyla en yüksek kaynak bölgesi, ITAB bölgesi ve ana malzeme olduğu tespit edilmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre en yüksek çekme dayanımının AR+%1,5H₂ argon-hidrojen gaz karışımı kullanılarak yapılan TIG kaynağı sonucunda meydana geldiği belirlenmiştir. Saf argon gazı kullanılarak yapılan TIG kaynağı ile birleştirilen numunede ise en düşük çekme dayanımı olduğu tespit edilmiştir. AR+%5H₂ argon-hidrojen gaz karışımı kullanılarak gerçekleştirilen kaynak sonucunda elde edilen numunede en düşük uzama miktarı elde edilmiştir. TIG kaynağı uygulamasında argon gazına ilave edilmiş olan hidrojen gazının yorulma dayanımını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir [6].

Bakır (Cu) ve AISI 304 paslanmaz çelik farklı kombinasyonlarda TIG kaynak yöntemi uygulanarak birleştirilmiş olup mekanik ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. TIG kaynağında ilave tel olarak AISI308L, AISI309L ve bakır teli kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümü sonucunda AISI 304 paslanmaz çeliğin bakırdan

daha sert bir yapıda olduğu anlaşılmıştır. Tek paso kaynak yapılan numunelerin çekme dayanımları çift paso kaynak yapılan numunelerin çekme dayanımına göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bakır ve AISI 304 birleşim kombinasyonları incelendiğinde çekme dayanımlarının büyüklüğü sırasıyla AISI 304-AISI 304 birleşimi, AISI 304-Cu birleşimi ve Cu-Cu birleşimi şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, ilave tel olarak kullanılan AISI308L ve AISI309L kıyaslandığında 309L ile daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir [7].

BÖLÜM 3

PASLANMAZ ÇELİKLER

1821 yılında Pierre Berthier kişi tarafından demir ve krom alaşımının paslanmaya karşı direnci ilk fark eden kişidir. Fakat o yıllarda demir ve kromu birleştirip paslanmaz çeliği teknoloji yetersizliğinden üretilmemiştir. 1890'lı yıllarda alimunatermit yöntemi sayesinde paslanmaz çelikler hakkında birçok araştırma yapılmıştır [1].

Paslanmaz çelikler uygun koşullarda bulunmaması halinde korozyon oluşturabilirler. Korozyona karşı direnç sağlayabilmek için paslanmaz çeliklerde en az %12 krom bulundurulmalı ve ortam oksijenli olmalıdır. (Aydın 2002). Direnci yükseltmek için krom oranının ve pasivasyon oranını yüksek tutmak çeliğin korozyona ve pas direncini artırır [9].

3.1. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN PASLANMAZ ÇELİKLE İLİŞKİSİ

Paslanmaz çelik kalitelerinin belirlenmesinde alaşımların oldukça büyük etkisi vardır. Alaşımların paslanmaz çeliklere olan etkisi Tablo 3.1'de verilmiştir [1].

Çizelge 3.1. Çelik oluşumunda demir ve alaşım gösterimi [1].

Fe	+	>	%5 Alaşım Elemenleri	=	Yüksek Alaşımli Çelik
Fe	+	<	%5 Alaşım Elemenleri	=	Düşük Alaşımli Çelik
Fe	+	≤	%2,06 Karbon	=	Çelik

Paslanmaz çelik de her bir alalım elementi farklı farklı etki eder ve her birinin farklı özellikleri vardır. Bu özellikleri ve etkileri aşağıda açıklanmaktadır [2].

3.1.1. Krom (Cr)

Çeliğe paslanmaz özeliğini verenlerden en önemli bir elementtir. Çelikte krom oranı artıkça paslanmaya ve korozyona karşı direnci güçlendirir. Koruyucu bir özelliği vardır. Belirli bir yüzdeye gelince parlama özelliği verir [10].



Şekil 3.1. Krom elementi [10].

3.1.2. Nikel (Ni)

Çeliğin tokluk oranını artırıp kırılabilirliği azaltarak mukavemeti artırma özeliğine sahiptir. Çeliğin östenitik yapı haline gelmesini sağlar ve asitli bir çevreye dayanıklı olmasını sağlar [12].



Şekil 3.2. Nikel elementi [10].

3.1.3. Bakır (Cu)

Paslanmaz çeliği paslanmaya karşı direncini artırır. Asitli ortamlara dayanımı artar. Çelik üretiminde maksimum %0,5 bakır kabul edilir [6].



Şekil 3.3. Bakır elementi [10].

3.1.4. Karbon (C)

Paslanmaz çeliğin akma ve çekme mukavemetini doğru orantıda artırır. Fakat çeliğin fazla oranda karbon içermesi dövülebilme, şekil almayı olumsuz etkiler [14].



Şekil 3.4. Karbon elementi [10].

3.1.5. Mangan (Mn)

Çeliğin dövülebilme, şekil alma, esneme özeliğini artırır. Nikel gibi östenitik yapı haline gelmesini sağlar bu sebepten dolayı nikelin yerine kullanılabilir. Önemli özelliklerinden biri Fe-S oluşumuna engel olup yüksek sıcaklıkta kırılma olmasını engeller fakat kükürtle beraber Mn-S oluşturur [1].



Şekil 3.5. Mangan elementi [10].

3.1.6. Silisyum (Si)

Çeliğin korozyon direncini artırırken yüksek miktarda olması (%14-15) gibi çeliği gevrekleştirerek dövülemez şekle getirir. Isı dayanımını yüksek tutar ve çelik üretiminde akıcılık sağlamak için kullanılır. Yüzey kalitesinde çeliği kötü etkiler [10].



Şekil 3.6. Silisyum elementi [10].

3.1.7. Azot (N)

Çeliğin korozyonu ve mekanik dayanımı artırır fakat tokluğu azaltır [1].



Şekil 3.7. Azot elementi [10].

3.1.8. Titanyum (Ti)

Çeliğin sertliğini artırır. Üretimde oksijen giderici olarak da kullanılır [15].



Şekil 3.8. Titanyum elementi [15].

3.1.9. Kükürt (S)

Demir ile birleşim yaparak (Fe-S) şeklinde çeliğin gevrekleşmemesini korur [10].



Şekil 3.9. Kükürt elementi [10].

3.1.10. Fosfor (P)

Çeliğin darbe dayanımını azaltır. Malzemeyi gevrek yapan bir elementtir [10].



Şekil 3.10. Fosfor elementi [10].

3.2. STANDARTLARA GÖRE PASLANMAZ ÇELİKLERİN İSİMLERİ

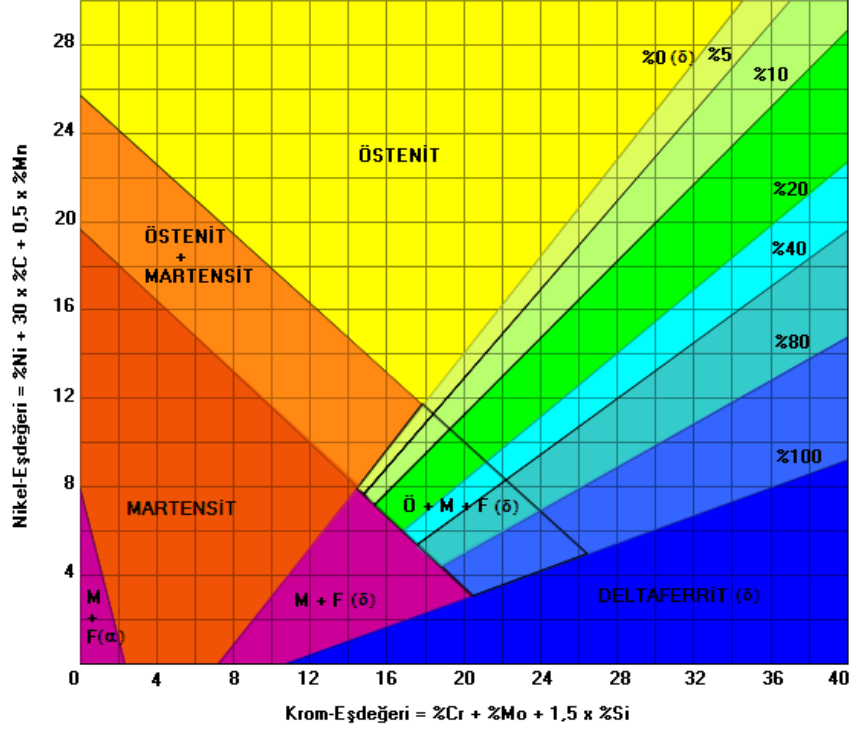
Çizelge 3.2. Paslanmaz çelik kalite standartları [16].

En Standardı Çelik No.	En Standardı Çelik İsmi	Sae	Uns
1.4109	X65CrMo14	440A	S44002
1.4112	X90CrMoV18	440B	S44003
1.4125	X105CrMo17	440C	S44004
1.4016	X6Cr17	430	S43000
1.4408	G-X 6 CrNiMo 18-10	316	S31600
1.4512	X6CrTi12	409	S40900
1.4310	X10CrNi18-8	301	S30100
1.4318	X2CrNiN18-7	301LN	
1.4307	X2CrNi18-9	304L	S30403
1.4311	X2CrNiN18-10	304LN	S30453
1.4301	X5CrNi18-10	304	S30400
1.4948	X6CrNi18-11	304H	S30409
1.4303	X5CrNi18-12	305	S30500
1.4841	X22CrNi2520	310	S31000
1.4845	X 5 CrNi 2520	310S	S31008
1.4541	X6CrNiTi18-10	321	S32100
1.4878	X12CrNiTi18-9	321H	S32109
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	316L	S31603
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	316	S31600
1.4406	X2CrNiMoN17-12-2	316LN	S31653
1.4432	X2CrNiMo17-12-3	316L	S31603
1.4435	X2CrNiMo18-14-3	316L	S31603
1.4436	X3CrNiMo17-13-3	316	S31600
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	316Ti	S31635
1.4429	X2CrNiMoN17-13-3	316LN	S31653
1.4438	X2CrNiMo18-15-4	317L	S31703
1.4362	X2CrNi23-4	2304	S32304
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	2205	S31803 / S32205
1.4501	X2CrNiMoCuWN25-7-4	J405	S32760
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	904L	N08904
1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7		N08926
1.4547	X1CrNiMoCuN20-18-7	254SMO	S31254

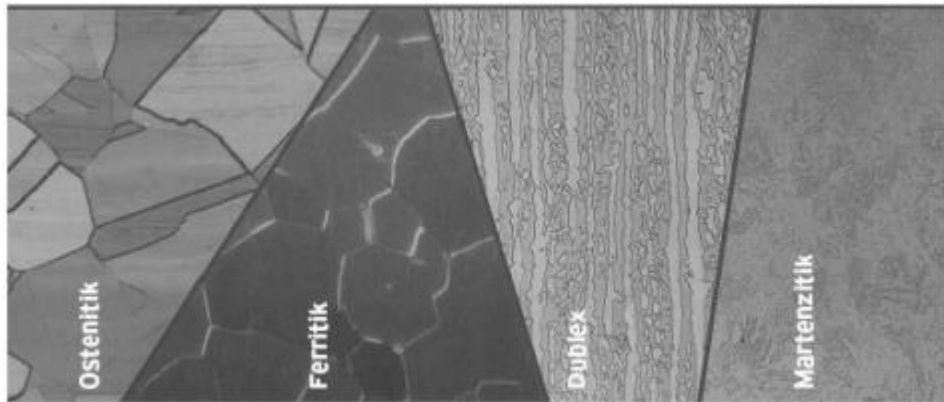
3.3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN GRUPLANDIRILMASI

Paslanmaz çelikler element içeriklerine ve miktar oralarına 200-250 arası çeşitlilik oluşturmaktadır. Bu çeşitlikleri 5 grup içerisinde toplamaktayız [17].

- Östenitik paslanmaz çelikler
- Ferritik paslanmaz çelikler
- Östenitik+ferritik paslanmaz çelikler (Dubleks)
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Çökelme sertleştirmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler [17].



Şekil 3.11. Shaeffler Diyagramı [40].



Şekil 3.12. Paslanmaz çelik türlerinin mikro yapıları [37].

3.3.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Alaşım bolluğu en çok zengin olan gruptur. Temelinde ise Mangan ve Nikel elementlerinde oluşmaktadır. Sıcaklığa oldukça dayanıklı olup bu sebepten dolayı çelik sertleşmez. Östenitik paslanmaz çelikler soğukta daha iyi şekil almakta ve mukavemeti yüksek olmaktadır [37].

Bu çelikler dünyada en yaygın kullanılan çelik türü olup birçok olanda kullanılmaktadır. Bunlar; eczacılık, tank yapımlarında, mutfak malzemeleri, kağıt vb. en yaygın olan çelik ismi AISI 304'tür [36].

3.3.1.1. AISI 316 Kalitesindeki Paslanmaz Çelik

Bu çalışma da kullandığım ana malzeme AISI 316 kalitesindeki östenitik paslanmaz çeliktir. AISI 316 kalitesindeki paslanmaz çelikler %16-20 krom %8-10 kadarda nikel bulundurmaktadır. İçerisinde küçük bir miktarda olsa molibden barındırmaktadır. Barındırdığı molibden dolayı en önemli özelliği diğer paslanmaz çelikler göre korozyon oranının daha yüksek olmasıdır. Sıcaklık dayanımı da yüksektir [3].

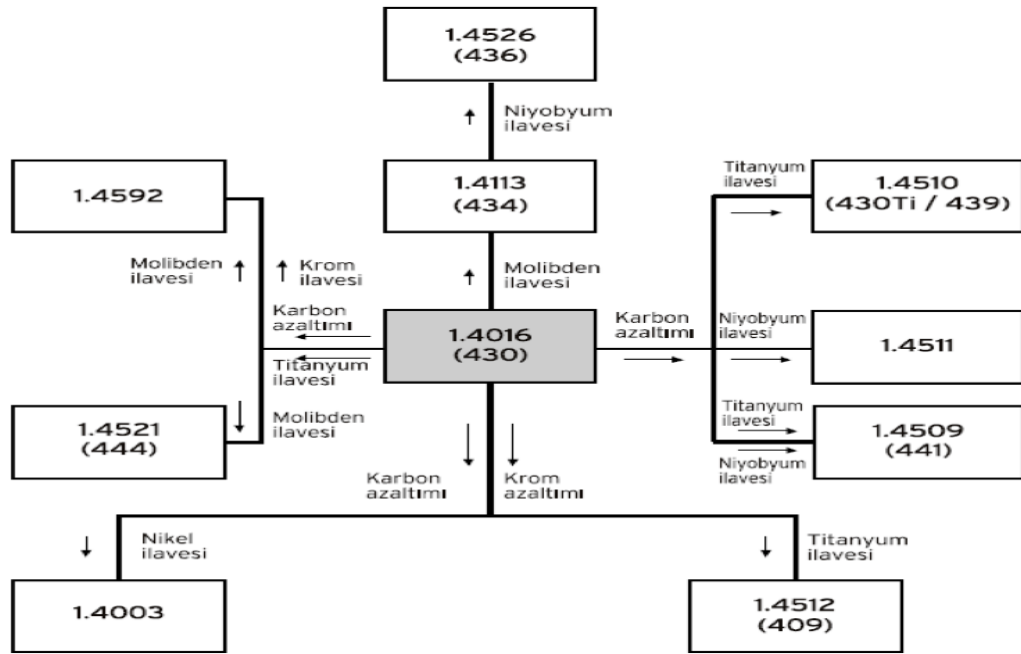
AISI 316 kalitesindeki paslanmaz çeliklerin diğer bir önemli özelliği ise karbon(C) oranı düşüktür. Kaynak tutma kapasitesi yüksek olduğu için kolaylık kazandırmaktadır. Bu çelik türü kopma dayanımı yüksek olma kapasitesinden dolayı asitli ortamlarda, kağıt ve sentetik boya gibi alanlarda kullanılmaktadır. Korozyon direnci yüksek olmasından dolayı ise deniz suyu gibi tuzlu asidik yerlerde tercih edilen bir çelik türüdür [3].

3.3.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerde dönüşüm (faz) göstermediği için sertleşmeyen çelikler olup sünekli olması nedeni ile tercih edilen çeliktir. Krom oranı %11 ile %31 arası olup karbon ise ortalama%0.2 bulunur [18].

Ferritik paslanmaz çeliklerde krom oranı yükseldikçe korozyon direnci güçlenmektedir. Martenzitik çeliklerle karşılaştırdığımızda korozyon direnci daha yüksektir [39].

Östenitik paslanmaz çeliklerle karşılaştırdığımız da ise şekillenme özellikleri daha azdır. Dayanımını artırmak için ısıl işlem görmesi yeterli olmaktadır. Manyetik özelliğine sahiplerdir [39].

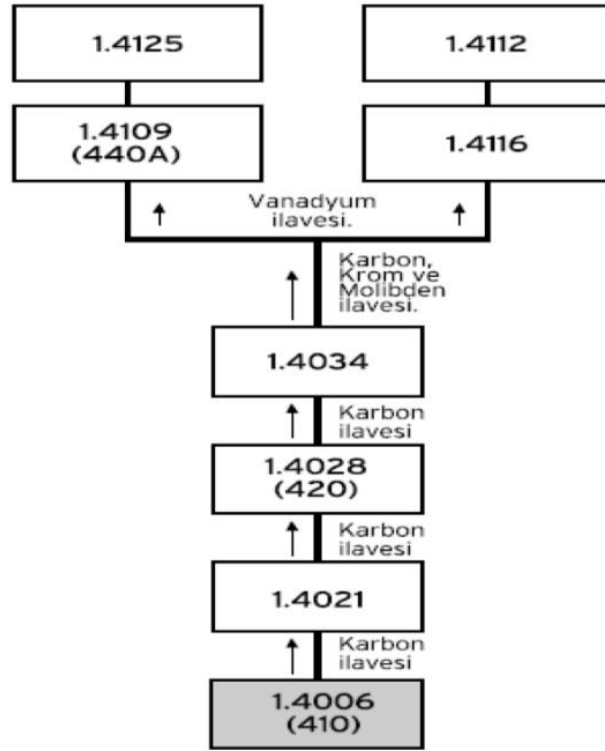


Şekil 3.13. Ferritik paslanmaz çeliklerin şeması [39].

3.3.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Benzerlik gösterdiği çelik grubu ferritik çelik gurubudur fakat bu gruba göre daha yüksek karbon oranı vardır nikel oranı ise daha düşüktür. Korozyon direnci ise ilk iki grup ile karşılaştırdığımız da ikisinden de düşüktür. Bu çelik türü soğuk şekillendirebilme ve basit işlenebilir [37].

Östenitik paslanmaz çeliklere 950-1100 sıcaklıkları arası su verilirse martenzitik çeliklerin içyapısı oluşur. Manyetiklik özelliğine sahip olup kaynak tutma seviyeleri düşük olmaktadır [38].

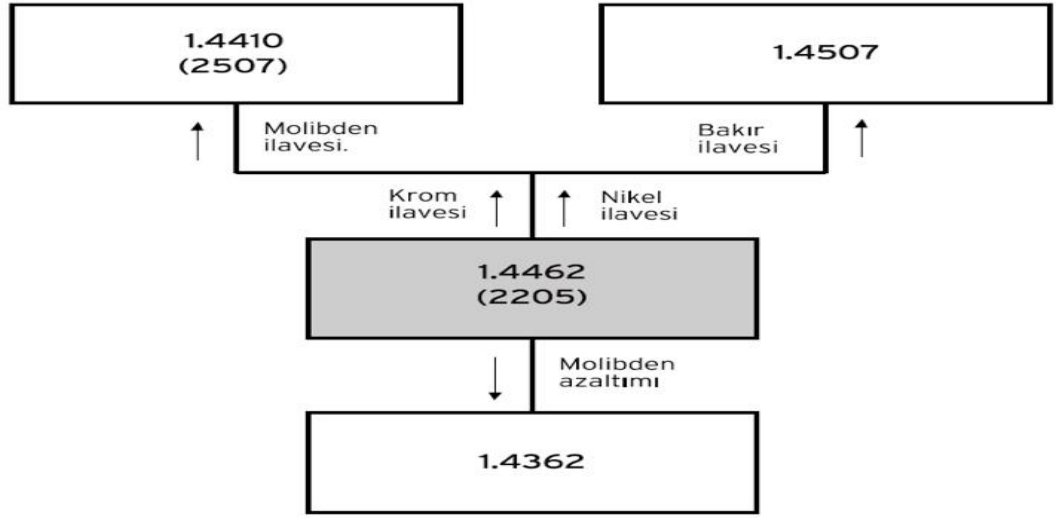


Şekil 3.14. Martenzitik paslanmaz çeliklerin şeması [38].

3.3.4 Östenitik+Ferritik Paslanmaz Çelikler (Dubleks)

İki farklı grup çeliklerinin birleştirmesiyle gelişmiş bir türdür.%7 oranla nikel ve %30 oranla ise krom içermektedir.(Singh 2011). Ferritik gerilme ve dayanım korozyon direncini sağlarken östenit ise korozyonu ve tokluğu sağlamaktadır [38].

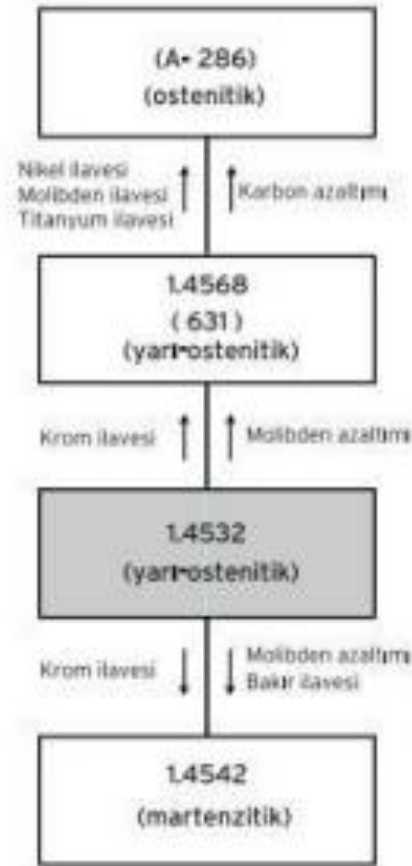
Mekanik sağlamlığı ve korozyonu yüksek olma sebebi ise içerisinde bulunun azot sayesinde. Çeliğin sertliğini düşürebilmek için oksijen verilmesi yeterlidir. Genellikle aside, sıcak suya, tuzlu suya maruz kalan yerlerde kullanılmaktadır [1].



Şekil 3.15. Östenitik+ferritik paslanmaz çelikler (Dubleks) şeması [38].

3.3.5. Çökme Sertleşmesi Uyunabilen Paslanmaz Çelikler

Bu çelik türleri yüksek sıcaklığa çıkacak sorunları yok etmektedir. Yüksek süneklik ve dayanım göstermektedir. İçerisinde bakır, titanyum ve alüminyum gibi elementler içermektedir. Bu elementlerden dolayı en maliyetli çelik türü olmaktadır. Çökme türü uzay ve savunma sanayilerinde kullanılmaktadır. Yüksek korozyon istenilen bölgelerde kullanılmaktadır [19].



Şekil 3.16. Çökeltme sertleşmesi uyunabilen paslanmaz çelikler şeması [1].

3.4. PASLANMAZ ÇELİKLERE UYGULANABİLEN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Birçok çeşit çelik türü olduğu için paslanmaz grubunda farklı kaynak yöntemleri uygulanmaktadır. Bunun genel sebebi ise yırtılma riski olan çeliklerde kopma dayanımı düşük olmasından dolayı farklı malzemeler kullanılarak kaynak yapılmaktadır. Paslanmaz çeliklerde hangi kaynak yöntemi kullanılacağı çeliğin cinsinden belirlenmesinden yanı sıra malzemenin kullanım amacı ve et kalınlığı boyutudur [1].

Paslanmaz çeliklere uygulanabilen kaynak yöntemleri aşağıda verilmiştir [1]. Bunlar:

- TIG kaynak yöntemi
- MIG-MAG kaynak yöntemi (GMAW)

- Örütlü elektrod ark kaynak yöntemi (SMAW)
- Tozaltı ark kaynak yöntemi (SAW)
- Saplama kaynak yöntemi

BÖLÜM 4

METAL BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ

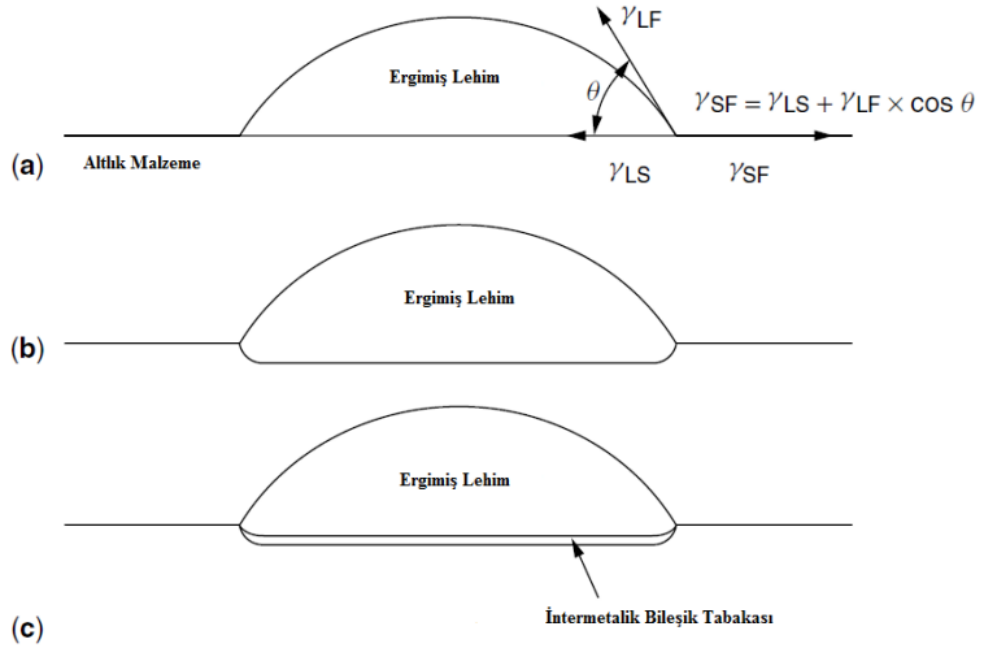
Endüstride montaj sonucu birleştirilmesi istenen malzemeler için birden fazla birleştirme yöntemi mevcuttur. Bunlar; kuvvet bağlı, şekil bağlı ve malzeme bağlı birleştirme yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. Bu ana başlıklara örnek verilecek olursa; kuvvet ve şekil bağlı birleştirme yöntemlerine sıkı geçme, cıvatalama ve içine dökme, malzeme bağlı birleştirme yöntemlerine ise kaynaklı, lehimli ve yapıştırırmalı bağlantılar örnek gösterilebilmektedir [28].

4.1. LEHİMLEME

Malzeme bağlı bir birleştirme yöntemi olan lehimleme, birleştirilmek istenen metalik yapıda yer alan iki adet parça ve bu malzemelere kıyasla daha düşük bir ergime sıcaklığına sahip olan bir malzeme yardımı ile birbirlerine bağlanmasıdır. Lehimleme işleminin uygun bir şekilde gerçekleşebilmesi için gerekli şartlar var. Bunlar; lehimlenecek malzemenin lehim yüzeyini tamamen kaplayacak flaks, uygun lehim alaşımı, lehim malzemesinin ergimesi için uygun ısı gereklidir. Lehimlenecek malzeme ve lehim malzemesi arasındaki reaksiyon bu işlemin uygun bir şekilde gerçekleşebilmesi için oldukça önemli bir faktördür [2].

Lehimleme işlemi uygulama sıralaması şu şekildedir; ön temizleme ve flaks uygulanması, ön ısıtma, ön ıslatma ve lehimleme olarak tanımlanabilmektedir. Ön temizleme işleminin uygulanma amacı yüzeyde meydana gelmiş olabilecek oksit tabakası, leke ve kirlerin yok edilmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu temizlik işlemi zımpara ve fırçalar yardımıyla mekanik olarak gerçekleştirilmektedir. Kimyasal temizlik olarak flaks uygulaması gerçekleştirilmektedir. Lehim

malzemesinin ergime sıcaklığının 20-30°C altında ön ısıtma gerçekleştirilmektedir. Bir sonraki işlem önıslatmadır. Bunun sebebi ise daha temiz ve daha iyi ıslanabilirlik sağlamak amaçlanmaktadır. Son olarak ise lehimleme işlemi uygulanmaktadır. Şekil 4.1'de lehimleme işlemine ait aşamaların şematik görseli verilmiştir. Lehimleme işlemi iki farklı türde yer almaktadır. Bu türler, lehimleme malzemesinin ergime sıcaklığına göre adlandırılmaktadır. Lehimleme malzemesinin ergime sıcaklığı 450°C'nin altında ise lehimleme, lehim malzemesinin ergime sıcaklığı 450°C'nin üzerinde ise sert lehimleme olarak adlandırılmaktadır [29].



Şekil 4.1. Lehimleme işlem adımları a) lehimin altlık malzeme üzerine yayılması b) altlık malzemenin ergimiş lehim içinde çözünmesi c) altlık malzeme ve lehimin reaksiyona girerek intermetalik bileşik tabakası oluşturması [29].

4.2. KAYNAK

Birbirinden bağımsız en az iki parçayı ilave bir malzeme kullanarak birbirine sabitlemek amacıyla ısı veya basınç uygulayarak malzemelerin birleştirilmesine kaynak adı verilmektedir [30]. Malzemelerin kaynak ile birleştirmek istendiğinde güvenilir ve sağlam bir birleştirme olması için öncelikle malzemeler hazır konuma

getirilir. Bu ön çalışmada malzemeler temizlenir (taşlanır) ve gerekli durumlarda malzeme tavllanır.

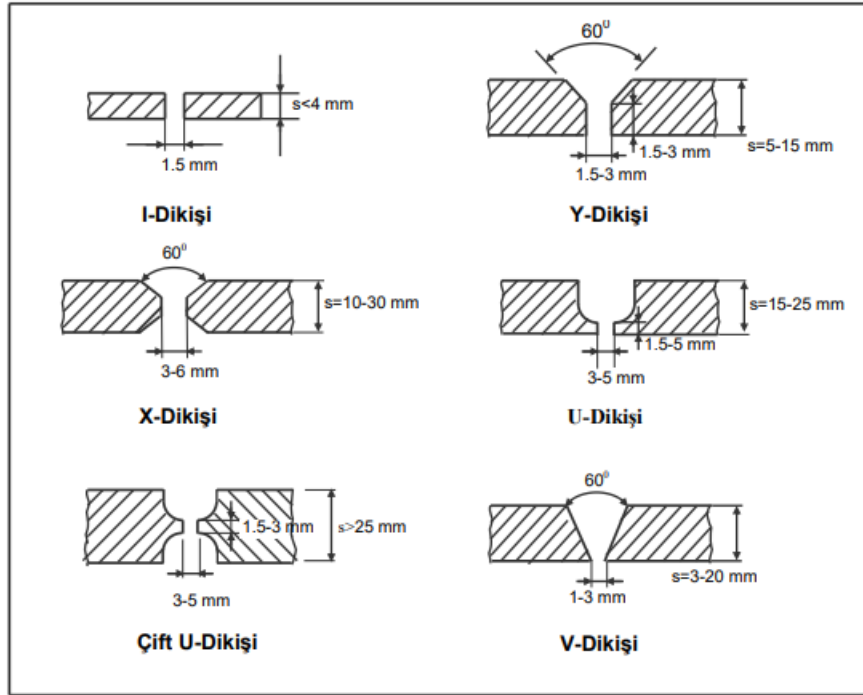
4.2.1. Kaynak Birleştirme Yöntemleri

4.2.1.1. Alın Kaynağı

Bu birleştirme yöntemi en çok kullanılan yöntem olup 3mm üzeri kalınlıktaki parçalara öncelikle kaynak ağzı açılır. Açılan kaynak ağzı ve dikişi şekil 4.2de verildiği gibi olup parçanın durumuna göre seçilir [43].

Parça Konumu (Dikiş Şekli)	Sembol	Örnek
Alın kaynağı		
Bindirme kaynağı		
Köşe (kenar) kaynağı		
Kıvrıma dikiş kaynağı (uç kaynağı)		
Alın köşe, yan köşe kaynağı		
T-kaynağı (Boğaz kaynağı)		
Çapraz Kaynak		
Çok Katlı Kaynak		

Şekil 4.2. Kaynak birleştirme yöntemleri [43].

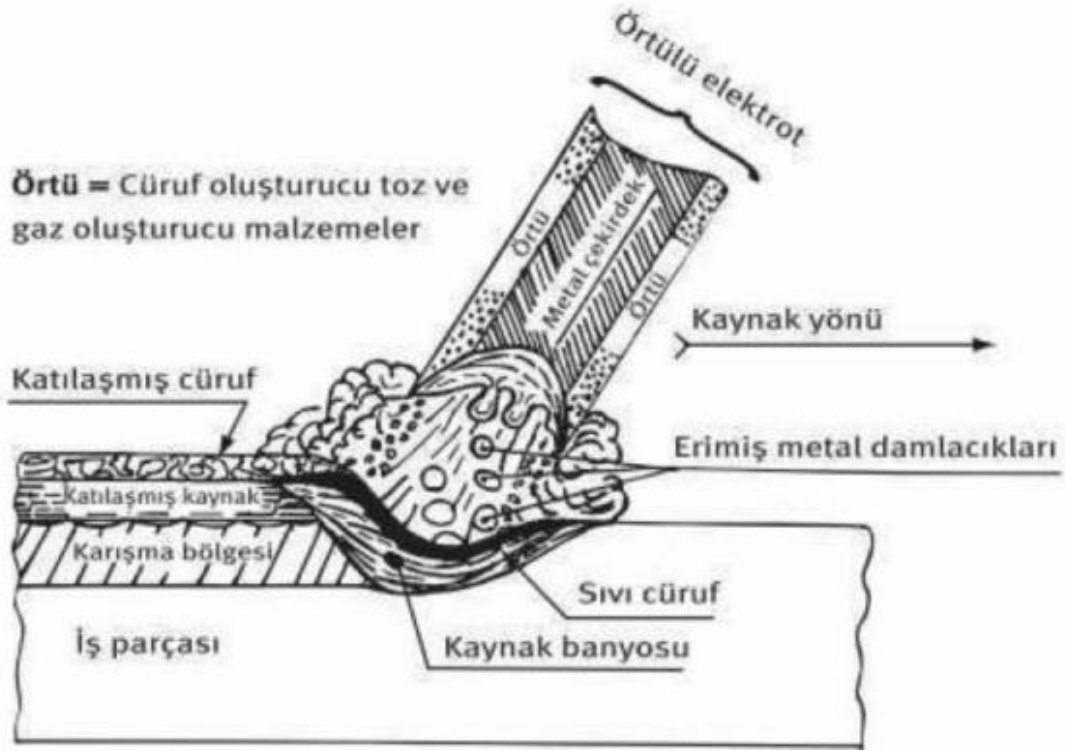


Şekil 4.3. Alın kaynak birleştirme yönteminde kaynak ağızları şematik görseli [43].

4.2.2. Kaynak Çeşitleri

4.2.2.1. Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı

Örtülü elektrot ile kaynaklanacak malzeme arasındaki ark aracılığı ile istenilen sıcaklıklara ulaşılması sonucu malzemelerin birleştirilmesine örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı adı verilmektedir. Oldukça yaygın bir kullanıma sahip olup, üretim ve tamir işlerinde kullanılmaktadır [31]. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağına ait şematik görsel Şekil 4.2’de verilmiştir.



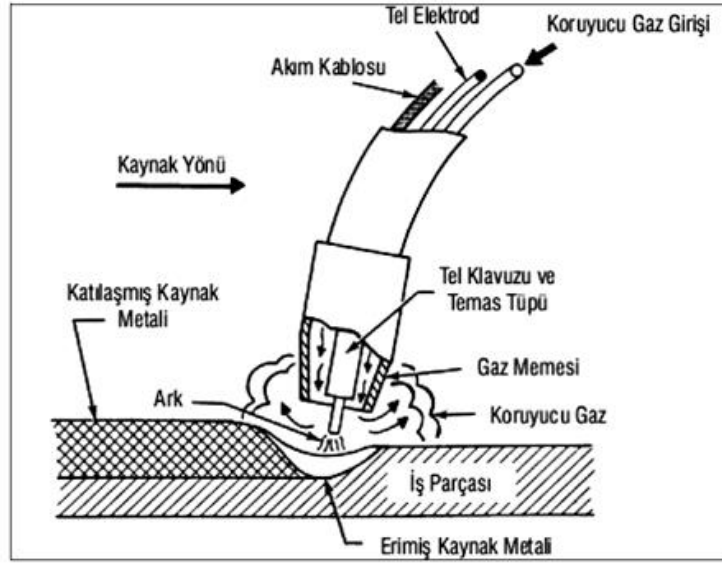
Şekil 4.4. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağına ait şematik görsel [36].

4.2.2.2. Örtülü Telle Ark Kaynağı

Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı ile oldukça benzer noktalara sahip olan bu kaynak yönteminde de elektrot kullanılmaktadır. Bu kaynak uygulamasında iki iş parçası arasında bir elektrotun ergimesi sonucu kaynak gerçekleşmektedir. Farklı olarak ise elektrot içerisinde yer alan tellerin uygulama esnasında sıcaklık sebebiyle ayrışıp ve bunun sonucunda ortaya gaz çıkmasından dolayı kaynak sağlamlığı elde edilmektedir [32].

4.2.2.3. Gaz Altı Kaynağı (MIG-MAG Kaynağı)

Bu kaynak yönteminde MIG ve MAG olarak farklı adlandırmaların tek farkı kullanılan koruyucu gazın farkıdır. MIG (Metal Inert Gas) koruyucu gaz olarak argon kullanılır. MAG (Metal Active Gas) koruyucu gazı karbondioksit (CO_2) kullanılır [20].



Şekil 4.5. MIG-MAG kaynak yöntemi ekipmanları [20].

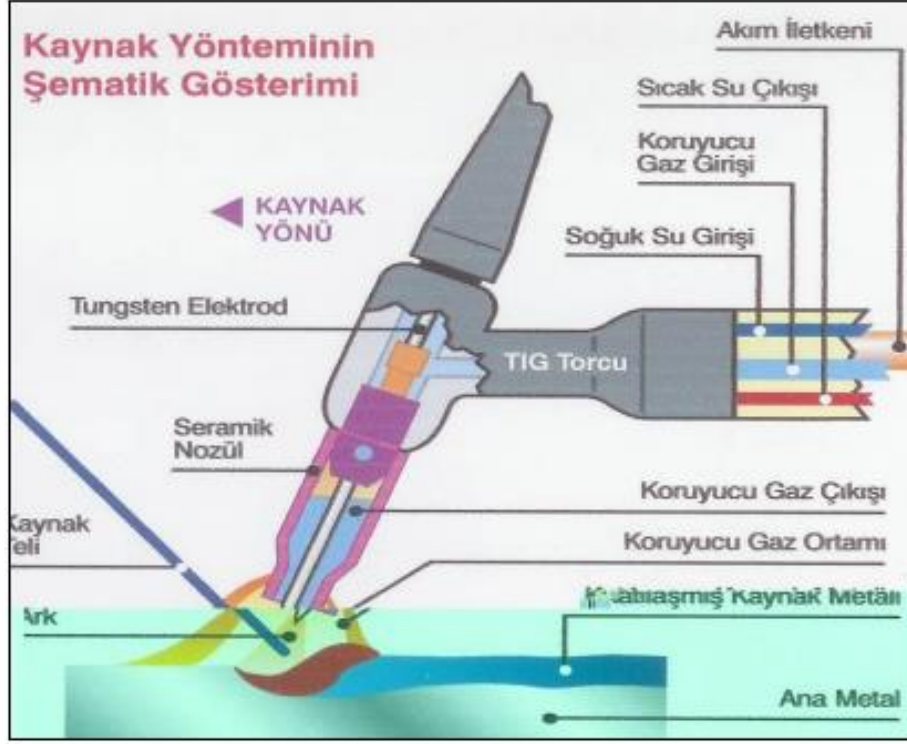
TIG kaynağına benzerlik gösterir fakat bu kaynak yönteminden farklılık olarak daha az cüruf bırakır ve ilave teli otomatik makine verir. MIG-MAG kaynak yöntemi her eksende kaynak yapılabilendi için toz altı kaynak yöntemiyle de farklılık gösterir. Elektrik ark kaynak yöntemine göre de hızlı ve sağlamdır ve pahalıdır [20].

4.2.2.4. TIG Kaynak Yöntemi

Bu kaynak türünün ismini veren gaz Tungsten İner Gaz'dan gelmektedir. TIG kaynağı en yaygın ve birçok alanda kullanılabilen kaynak yöntemidir. Paslanmaz çeliklerde hafif tür metallerde uygulanır. Elektrik ark kaynağına benzerlik gösterir. Uygulama şekli oksî-gaz kaynağına benzer fakat yanıcı bir gaz yoktur. Koruyucu gazı ise helyum ve argondur. TIG kaynağı diğer kaynak türlerine göre daha etkin ve sağlamdır [11].

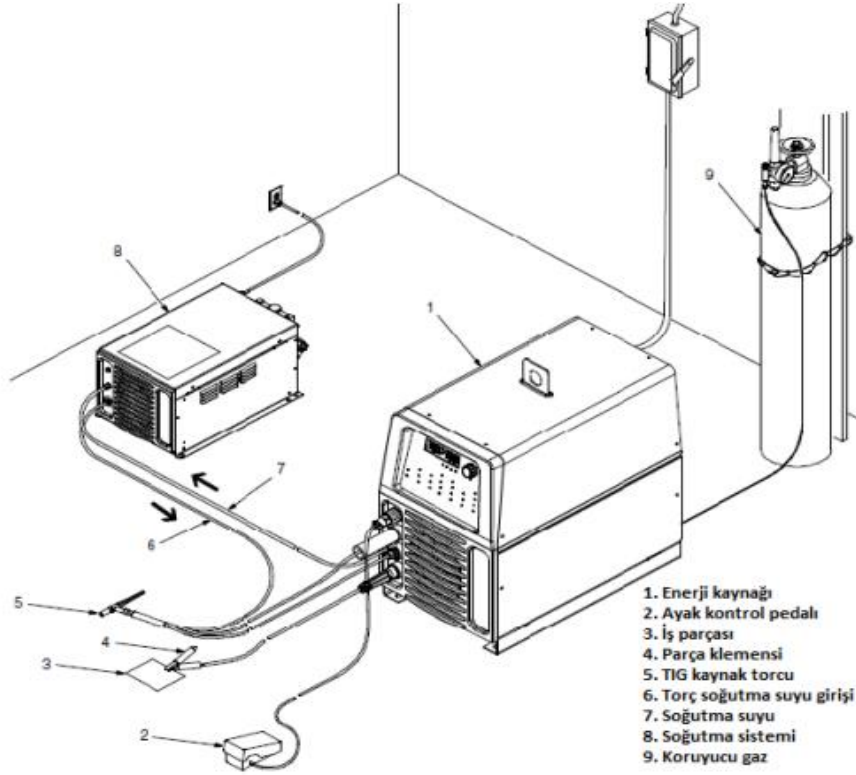
TIG kaynağında koruyucu gazların kullanım amacı tungsten elektrotu (erimeyen) ve kaynak banyosunu hava etkilerinden korumak içindir. Kalın malzemedeki argon gazına göre hafif bir gaz türü olduğu için helyum kullanılır. İnce malzemedeki ise argon gazı kullanılır [42].

Argon gazının özgül ağırlığı $1,784 \text{ kg/m}^3$ olup asal gaz türüdür. Helyum ise $0,179 \text{ kg/m}^3$ havadan hafif bir gazdır ve renksiz, kokusuz ve maliyetli bir gaz türüdür [13].



Şekil 4.6. TIG kaynağı yönetim şeması gösterimi [42].

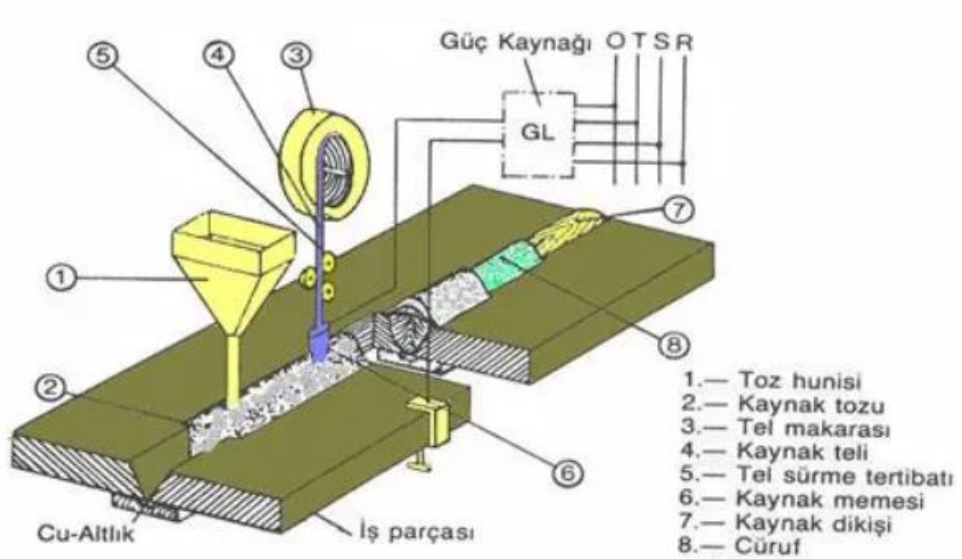
TIG kaynağında gaz akış debisi, ark uzunluğu, ilerleme hızı, amper değişimi, tel (elektrot) değişimi parametreleri kullanılmaktadır [2]. TIG kaynağında gerekli ekipman Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.7. TIG kaynak ekipmanlarına ait görsel [2].

4.2.2.5. Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi (SAW)

Bu kaynak yönteminde korucu bir gaz olmayıp bir tozdur. En çok tercih edilen mekanize bir kaynak yöntemidir [2].

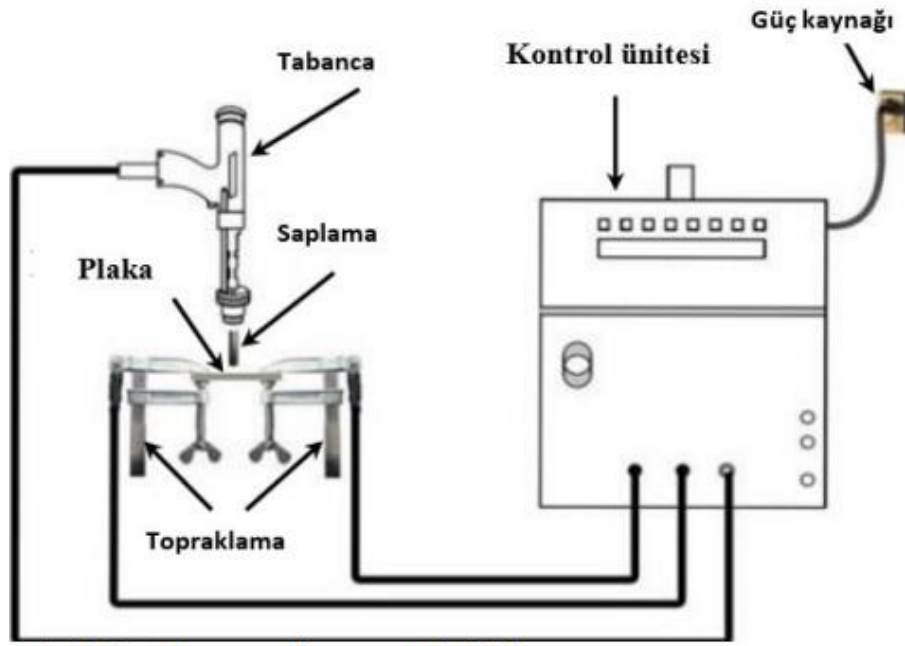


Şekil 4.8. Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi Şematik Gösterimi [33].

Tozaltı ark kaynak yöntemi otomatik kaynak olup bir anda birden çok elektrod makineye takılabilir. Açık ve kapalı alanda yapılabilen ve hatasız kaynak dikişi yapabilen bir kaynak yöntemidir. Sadece yatay pozisyon da uygulanır. Kaynak yapılacak malzemenin nüfuziyeti 5mmden kalın olması gerek yoksa bu durumda malzemenin yanmasına sebep olur [33].

4.2.2.6. Saplama Kaynak Yöntemi (SW)

Bu kaynak yönteminde çubuk şeklindeki bazı metal veya alaşımların ekstra bir malzeme kullanmadan yapılan kaynağa saplama kaynak denir. Ark ile ısı oluşturarak kaynak tamamlanır [22].



Şekil 4.9. Saplama kaynak yönteminin şematik gösterimi [22].

Şekil 4.7’de gösterildiği gibi saplama kaynağında kullanılacak parça tabanca sayesinde kaynak yapılacak parça ile ark oluşturarak parçaya basınç uygulaması sonucu kaynak işlemi gerçekleşmektedir. Her pozisyonda uygulanabilen bir kaynak yöntemidir [1].

BÖLÜM 5

MATERYAL METOT

Bu çalışmada AISI316 kalitesindeki paslanmaz çelik plakasını 300×50×5mm ölçülerinde olacak şekilde CNC (Computer Numeric Control) lazer tezgahı ile parçalar hazırlanmıştır. Numuneleri birleştirmek için TIG kaynağı kullanılarak 85,90 ve 100 amper; 12, 13 ve 14 bar koruyucu gaz basınç değeri; AISI308L, AISI309L ve AISI316L(2,40mm) kalitesinde tel kullanılmış ve üç farklı parametre ile 27 çeşit numune TIG kaynak ustası tarafından kaynatılmıştır. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra numunelere Çekme Testi ve Vickers Mikrosertlik Ölçümü yapılmıştır. Çekme testleri Kardemir A.Ş Kalite Yönetim ve Laboratuvarlar Müdürlüğü bünyesinde bulunan Mekanik Fizik Test atölyesindeki Zwick Roell Z600 Cihazı kullanılarak yapılmıştır. Vickers Mikrosertlik ölçümleri Kardemir A.Ş Kalite Yönetim ve Laboratuvarlar Müdürlüğü bünyesinde bulunan Mekanik Fizik Test atölyesindeki Zwick Roell ZHU300 Cihazı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. AISI 316 kalite paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri [25].

Kalite AISI316 (1.4401)	Kopma mukavemeti (Mpa)	Akma mukavemeti (Mpa)%0.2	Sertlik, Rockwell (B)
X5CrNiMo17-12-2	515	205	95

Hazırlanacak numuneler için AISI316 kalite paslanmaz çelik plakalar 300×50×5 mm ölçülerinde TIG kaynağı yapımına hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan plakalardan bir numune alınıp Kardemir A.Ş Spektrel Analiz Laboratuvarlarında malzemelerin kimyasal kompozisyonu elde edilmiştir.

Çizelge 5.2. AISI 316 kalite paslanmaz çelik numuneye ait kimyasal kompozisyon.

Element	C	Mn	Si	S	P	N	Cr	Ni	Cu	Mo
[%ağ.].	0,006	1,299	0,416	0,005	0,024	11,2	18,297	8,887	0,127	0,0574



Şekil 5.1. AISI 316 kalite paslanmaz çelik numunelerin hazırlanması.

TIG kaynağı ile birleşecek plakalar 300×50×5 mm ölçülerinde üçer takım şeklimde hazırlanmıştır (Şekil 5.1). Kaynak işlemine başlamadan önce parçalar alın kaynağı yapılacak şekilde kaynak ağızları oluşturulmuştur (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Kaynağı yapılacak plakaların kaynak ağızı açma.



Şekil 5.3. TIG kaynağında kullanılan ilave teller.

Bu çalışmada seçilen üç farklı parametreler kullanılarak 27 çeşit üçer numune olarak kaynak yapılmıştır (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Deney parametreleri.

Deney	Parametreler
1	308/12/85
2	308/12/90
3	308/12/100
4	309/12/85
5	309/12/90
6	309/12/100
7	316/12/85
8	316/12/90
9	316/12/100
10	308/13/85
11	308/13/90
12	308/13/100
13	309/13/85
14	309/13/90
15	309/13/100
16	316/13/85
17	316/13/90
18	316/13/100
19	308/14/85
20	308/14/90
21	308/14/100
22	309/14/85
23	309/14/90
24	309/14/100
25	316/14/85
26	316/14/90
27	316/14/100

Çizelge 5.4. Kullanılan parametre değerleri.

İlave Tel	AISI308L	AISI309L	AISI316L
Korucu Gaz Basıncı (Bar)	12	13	14
Amper (A)	85	90	100

Plakaları birleştirmek için yapılan TIG kaynağı Lincoln Electric Invertec 220TPX markalı kaynak makinesiyle yapılmıştır. Bu kaynak makinesi yüksek performanslı ark özelliklerini kendinde toplayan TIG ve örtülü kaynak makinesidir. Makine inverteör tipi olup akım DC (Direct Current)'dir. Makine yapılan işlemlerden 12 adet işlemi hafızasına kaydedebilmektedir. Maksimum kaynak akımı 220A olup tek faz gerilim girişi 16 amperdir. Her yere kolayca taşına bilen bu makine dijital ekrana sahip olup kaynak akımının ayarlanabildiği gelişmiş bir makinedir (Şekil 5.4).

TIG kaynağı uygulanmasında kullanılan ilave tellere ait kimyasal kompozisyonlar ve bu ilave tellere ait çekme-akma değerleri Çizelge 5.5. ve Çizelge 5.6.'da verilmiştir.

Çizelge 5.5. İlave kaynak tellerine ait kimyasal kompozisyonlar [23-25].

Tel Cinsi	% C	% Mn	% Si	% S	% P	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo
AISI308L	0,0025	1,7	0,41	0,005	0,025	19,65	9,14	0,001	0,005
AISI309L	0,017	1,72	0,36	0,011	0,026	23,66	12,5	0,03	0,040
AISI316L	0,04	1,75	0,035	0,035	0,045	17,2	10,1	0,75	2,1

Çizelge 5.6. İlave kaynak tellerine ait çekme-akma değerleri [23-25].

Tel Cinsi	Çekme değeri (N/mm ²)	Akma değeri (N/mm ²)
AISI308L	620	460
AISI309L	670	550
AISI316L	630	520



Şekil 5.4. Kaynak makinesi ve kaynak işlemine ait bir görsel (Kardemir AŞ).

Kaynak işlemi her 27 numune için ikişer saat olmak üzere 3 günde tamamlanmıştır. Kaynağı tamamlanan numuneler tesviye işlemleri yapılarak çekme testine hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Deneye hazır numunelere ait görsel.

5.1. ÇEKME-AKMA TESTİ

Akma ve çekme dayanımı değerlerini tespit etmek amacı ile çekme testleri yapılmıştır. Deney Kardemir Demir Çelik Fabrikası Kalite Güvence Metalurji Laboratuvarlarına ait olan Zwick Roell Z600 markalı çekme cihazıyla yapılmıştır. (Şekil 5.7) Bu cihaz ile 100kN-600kN kuvvetleri arasında olan numuneleri test edilebilmektedir [26]. (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Çekme test cihazına ait görsel.



Şekil 5.7. Numunenin kopma anına ait görsel.

5.2. MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ

Numuneye bir elmas uç batırılarak oluşan izin derinliği ya da büyüklüğü (genişliği) ölçülerek malzemelerin sertlik değerleri bulunur. Bu işleme mikrosertlik ölçüm deneyi denir. Cihazdaki deney için batırılan elmas uçlar koni, küre ve piramit şeklinde olabilmektedir. Genelde en çok kullanılan üç yöntem vardır. Bunlar Vickers, Rockwell ve Brinell sertlik ölçüm yöntemleridir. Bu çalışmada elmas ucun piramit şeklinde olduğu Vickers (HV) yöntemini kullanarak test yapılmıştır. Kardemir A.Ş.'ye ait olan Zwick Roell ZHU3000 markalı cihaz ölçümler için için kullanılmıştır. Malzemenin üzerinden üç bölgeden ölçüm alınmış olup, ana metal üzerine bir bölge, Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB) üzerinde bir bölge ve kaynak metali üzerinde bir bölge olmak üzere sertlik ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan Zwick Roel ZHU3000top cihaz 3 kN ye kadar sertlik ölçümü yapmaktadır. Bu cihaz ile Rockwell, Vickers ve Brinell sertliği (IIT) ölçümleri yapılabilmektedir [27].



Şekil 5.8. Mikrosertlik ölçüm cihazına ait bir görsel.

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI

6.1. ÇEKME-AKMA TEST SONUÇLARI

Kaynakları tamamlanan dokuz farklı numunenin her birinden üçer adet olmak üzere 27 numunenin tamamına çekme testi uygulanmış olup hepsinin kaynak dikişi bölgesinden koptuğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.1). Test sonrasında elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması ve standart sapmaları hesaplanmıştır.



Şekil 6.1. Çekme testi anında numune kopma anı.



Şekil 6.2. Çekme testi sonucunda kopan parçalara ait görsel.

Çizelge 6.1. Çekme testi sonuçları ve standart sapmaları.

Parametreler	Rp0.2 N/mm ²	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Rm N/mm ²	Aritmetik ortalama	Standart Sapma
308/12/85	306	307,33	±4,16	388	387,33	±5,03
	312			392		
	304			382		
308/12/90	302	302,33	±5,51	360	360,00	±5,00
	297			355		
	308			365		
308/12/100	271	271,00	±3,00	350	350,67	±4,04
	274			355		
	268			347		
309/12/85	255	257,00	±2,00	375	377,33	±2,52
	257			377		
	259			380		
309/12/90	307	306,33	±5,03	330	330,33	±5,51
	301			325		
	311			336		
309/12/100	335	337,00	±2,65	409	411,67	±3,06
	336			411		
	340			415		
316/12/85	304	303,67	±5,51	365	365,33	±4,51
	298			361		
	309			370		
316/12/90	254	255,00	±14,53	372	373,00	±6,56
	241			367		
	270			380		
316/12/100	326	325,67	±4,51	400	399,00	±6,56
	321			392		
	330			405		

Çizelge 6.2. Çekme testi sonuçları ve standart sapmaları.

Parametreler	Rp0.2 N/mm²	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Rm N/mm²	Aritmetik ortalama	Standart Sapma
308/13/85	293	293,33	±3,51	355	355,67	±4,04
	297			360		
	290			352		
308/13/90	395	392,33	±2,52	330	326,33	±4,73
	390			321		
	392			328		
308/13/100	290	289,33	±2,08	423	422,00	±3,61
	287			418		
	291			425		
309/13/85	304	303,33	±4,04	342	340,67	±7,09
	307			347		
	299			333		
309/13/90	307	303,67	±3,06	319	314,67	±5,13
	303			316		
	301			309		
309/13/100	279	282,67	±4,04	420	423,67	±4,04
	287			428		
	282			423		
316/13/85	311	311,00	±2,00	402	402,33	±5,51
	309			397		
	313			408		
316/13/90	276	276,67	±3,06	339	338,67	±3,51
	280			342		
	274			335		
316/13/100	314	311,00	±7,94	449	450,33	±4,16
	317			455		
	302			447		

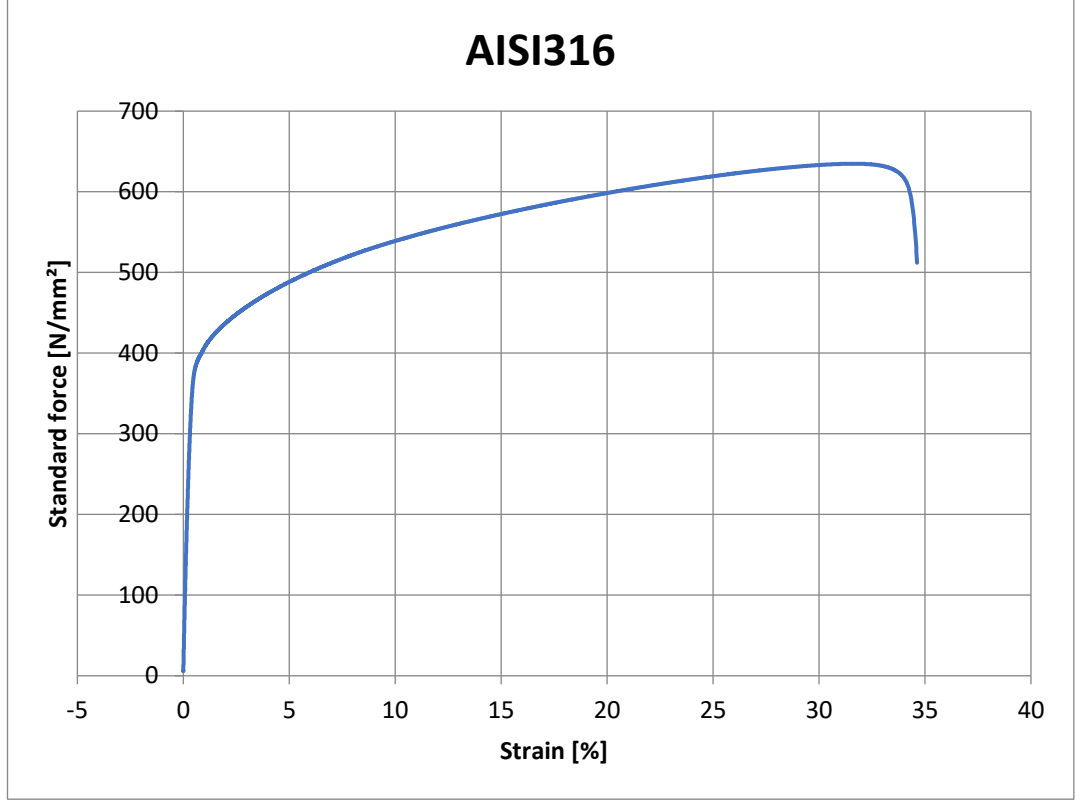
Çizelge 6.3. Çekme testi sonuçları ve standart sapmaları.

Parametreler	Rp0.2 N/mm ²	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Rm N/mm ²	Aritmetik ortalama	Standart Sapma
308/14/85	249	249,33	±2,52	316	314,67	±5,13
	252			319		
	247			309		
308/14/90	307	306,33	±3,06	327	325,33	±6,66
	303			318		
	309			331		
308/14/100	234	232,00	±9,17	305	304,00	±8,54
	222			295		
	240			312		
309/14/85	260	261,33	±5,13	396	396,67	±5,03
	267			402		
	257			392		
309/14/90	313	312,67	±4,51	361	361,00	±4,00
	308			357		
	317			365		
309/14/100	310	309,33	±3,06	406	405,33	±5,03
	306			400		
	312			410		
316/14/85	323	327,67	±5,03	351	355,67	±5,03
	327			355		
	333			361		
316/14/90	302	301,67	±3,51	432	432,33	±4,51
	298			428		
	305			437		
316/14/100	276	276,00	±4,00	379	379,33	±3,51
	272			376		
	280			383		

Çalışmada kullanılan ana malzeme AISI316 paslanmaz çeliğe de çekme testi yapıp kopma, akma ve yüzde uzaması incelenmiştir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.4. AISI 316 malzemeye ait çekme-akma testi sonuçları.

Malzeme İsmi	Akma mukavemeti Rp 0.2 N/mm ²	Çekme Mukavemeti Rm N/mm ²	Uzama Yüzdesi (%)
AISI316	368,75	634,80	34,62



Şekil 6.3. AISI 316 malzemeye ait çekme testi grafiği.

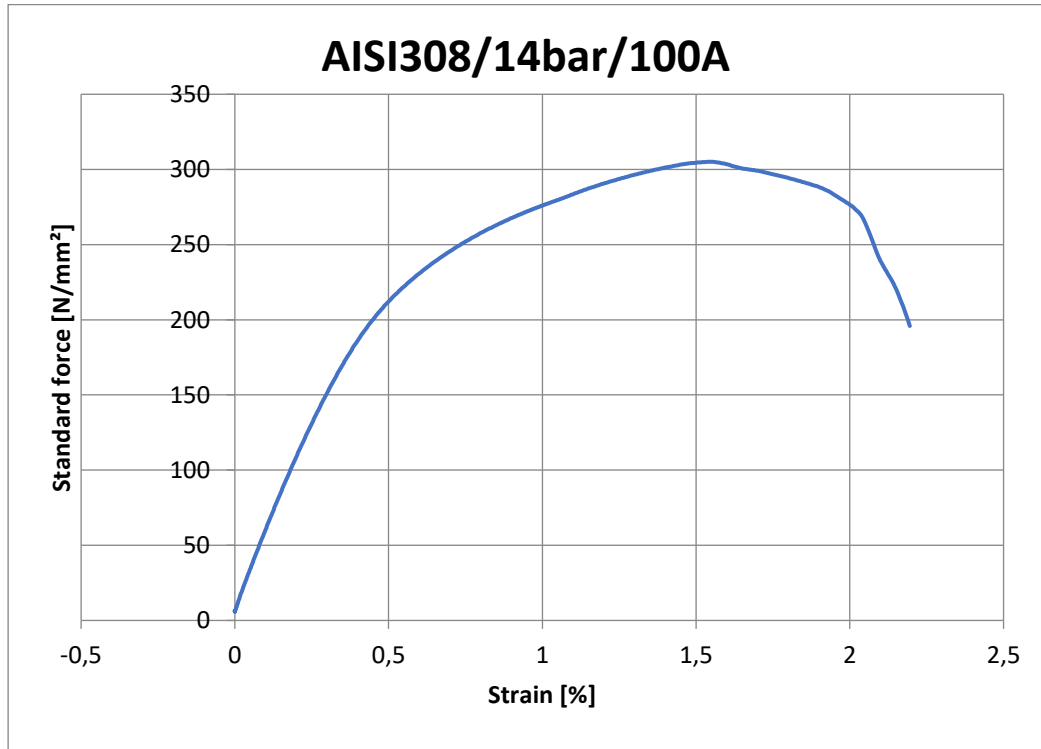
Kullanılan ana malzeme AISI316 çekme mukavemeti $634,80 \text{ N/mm}^2$ iken kaynaklı numunelerin çekme mukavemeti değerleri $216-437 \text{ N/mm}^2$ aralığında olmuştur.

Akma mukavemeti değerleri ise ana malzemedeki $368,75 \text{ N/mm}^2$ olurken kaynaklı malzemelerde $202-340 \text{ N/mm}^2$ arası sonuçlar ortaya çıkmıştır. Çekme ve akma mukavemeti ana malzemenin çekme ve akma kuvvetinden düşük olduğu gözlemlenmiştir.

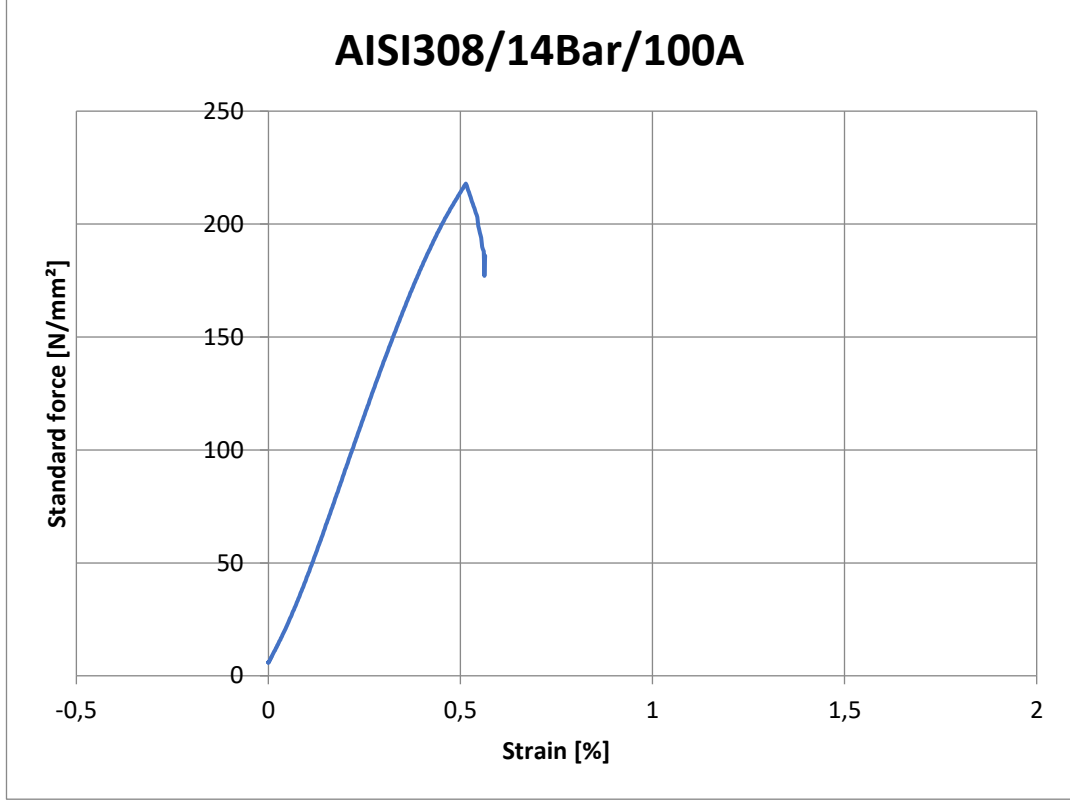
Testleri tamamlanan numunelerde en yüksek çekme mukavemeti AISI309 kalite ilave tel, 12 bar koruyucu gaz, 85A akım parametreleri ile birleştirilen 3 numuneden ortalama $432,33 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. (Çizelge 6.1) En düşük değerlerin ortaya çıktığı parametreler ise AISI308 kalite ilave tel, 14 bar koruyucu gaz, 100A kaynak akımı parametreleri ile birleştirilen numuneler için $219,33 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. (Çizelge 6.3) Aynı parametrelerle yapılan numunelerin çekme kuvvetinin standart sapmaları hesaplandığında en yüksek standart sapma değeri AISI308/14bar/85A değerlerinde ve $\pm 7,09$ olduğunu tespit edilmiştir (Çizelge 6.3).

En düşük standart sapma ise AISI309/13bar/85A değerlerinde ve $\pm 1,53$ olduğunu tespit edilmiştir (Çizelge 6.2).

Akma mukavemetine bakıldığı zaman ana malzemenin akma kuvveti ile TIG kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş numunelerin kuvveleri çekme mukavemetine göre birbirine yakındır. Fakat hiçbir numunede ana malzemenin mukavemetinden yüksek olmamıştır. En yüksek akma mukavemeti AISI309 kalite ilave tel, 12 bar koruyucu gaz basıncı ve 85A kaynak akımı parametreleriyle yapılan numunelerde ortalama $337,00 \text{ N/mm}^2$ olarak ölçülmüştür. (Çizelge 6.1). En düşük sonuç ise AISI308 kalite ilave tel, 14 bar koruyucu gaz basıncı ve 100A kaynak akımı ile yapılan numunelerde ortalama $206,67 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir (Çizelge 6.3). Standart sapması en düşük olan parametreler AISI308 kalite ilave tel, 14 bar basınç, 90 Amper kaynak akımı $\pm 1,53$ olarak hesaplanmıştır. (Çizelge 6.3). En yüksek standart sapma ise AISI308 kalite ilave tel, 13 bar ve 85A parametrelerinde birleştiren numunelerde $\pm 6,43$ değerinde diğer numunelere göre çok yüksek olarak hesaplanmış ve görülmüştür (Çizelge 6.2).



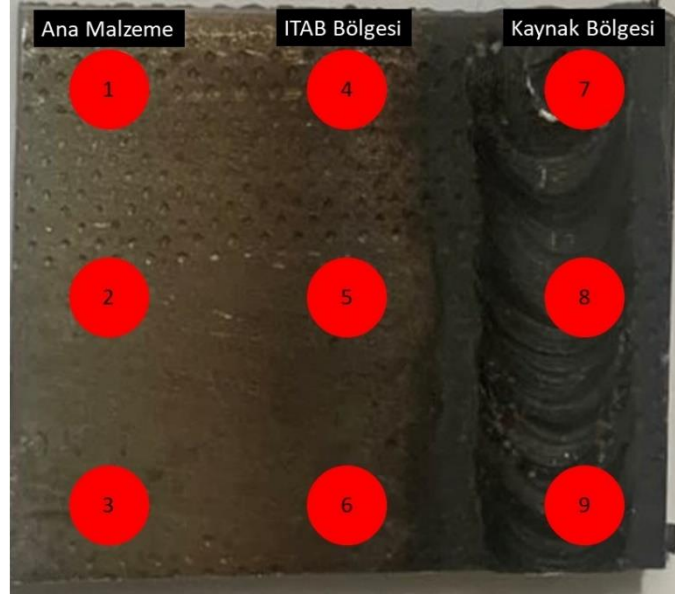
Şekil 6.4. AISI308 kalite ilave tel, 14 bar koruyucu gaz basıncı, 100A kaynak akımı parametreye birleştirilen numunenin çekme testi grafiği.



Şekil 6.5. AISI309 kalite ilave tel, 12 bar koruyucu gaz basıncı, 85A kaynak akımı parametreyle birleştirilen numunenin çekme testi grafiği.

6.2. MİKROSERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

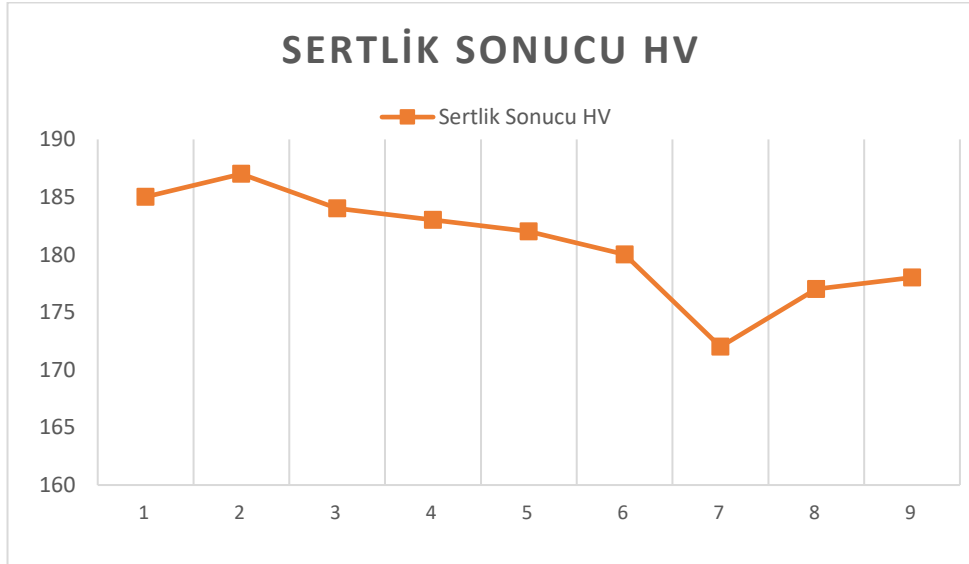
Çekme testleri sonucunda kopma ve akma mukavemet değerleri en düşük çıkan AISI308 kalite ilave tel, 14 bar ve 100A ile yapılan TIG kaynaklı numune şekil 6.6 de görüldüğü gibi malzemenin ana bölgesi, ITAB ve kaynak bölgelerinden işaretlenen yerlerinden vickers mikrosertlik testi yapılmıştır.



Şekil 6.6. Sertlik testi yapılan numuneye ait fotoğraf.

Çizelge 6.5. Sertlik testi yapılan numuneye ait değerleri.

Malzeme	Ana malzeme			ITAB bölgesi			Kaynak bölgesi		
Numara	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sertlik değeri (HV)	185	187	184	183	182	180	172	177	178



Şekil 6.6. Sertlik deneyi sonuçları grafiği.

En yüksek sertlik 187 HV değeri ile ana malzeme üzerinde ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri ise 172 HV olarak kaynak dikişi bölgesinde görülmüştür. Sağ, sol ve orta bölgelerden bakıldığında ise değerler birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

En yüksek sertlik değerinden en küçük sertlik değerine doğru bölgeler ana malzeme bölgesi, ITAB bölgesi ve kaynak bölgesi olarak sıralanmaktadır (Çizelge 6.5).

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada TIG kaynak yöntemi uygulaması kullanılarak kaynağı gerçekleştirilen AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Kullanılan bu paslanmaz çelik 300×50×5 ölçülerinde hazırlanmış olup üç farklı kaynak akım değeri, üç farklı koruyucu gaz basınç değeri ve üç farklı kalite ilave tel kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulanan bu kaynak işleminde 85, 90 ve 100 amper kaynak akım değerleri, 12, 13 ve 14 bar koruyucu gaz basınç değerleri ve AISI 308L, AISI 309L ve AISI316L ilave kaynak telleri kullanılmıştır. Her bir değer birbiri ile kombine olacak şekilde 27 farklı değerde TIG kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan kaynakların sonucunda numunelerin çekme-akma testleri ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Çekme-akma testleri sonucuna göre kaynak akımı ve kaynak koruyucu gaz basıncı ile malzemelerin çekme ve akma dayanımları arasında ters orantı mevcuttur. Akım ve gaz basıncı arttıkça numunelerin çekme ve akma dayanımları azalmaktadır.
- Kaynakları yapılan ve çekme-akma testine tabi tutulan numunelere ilave tellerin etkisi incelendiğinde ise dayanım bakımından en iyi olan ilave tel AISI 309L tel, daha sonra AISI 316L ilave tel ve son olarak AISI308L ilave tel olduğu sonucuna varılmıştır.
- Mikrosertlik ölçümleri incelendiğinde ise en sert yapıdaki bölgenin ana malzeme olduğu belirlenmiştir. Bölgelerin sertlik değerleri büyükten küçüğe sırasıyla; ana malzeme, ITAB bölgesi ve kaynak bölgesidir.

Bu çalışma AISI 316 östenitik paslanmaz çelik kalitesi üzerine yapılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda farklı yapılarıdaki paslanmaz çeliklerin söz konusu parametreler

ile nasıl sonuç verdiği üzerine çalışılabilir. Ayrıca parametreler değiştirilerek elde edilen sonuçlar bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile mukayese edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Baran, B., “AISI 304 Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinde Kaynak Parametre Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2019)
2. Altuntaş, M., “AISI 304L Paslanmaz Çeliğin MIG ve TIG Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2015)
3. Emre, E., H., “AISI 316L-AISI 2205 Farklı Paslanmaz Çelik Çiftinin Kaynak Kabiliyeti”, Yüksek Lisans Tezi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, (2016).
4. Köse, C., “Kaynak İlerleme Hızının AISI 316L Paslanmaz Çelik Lazer Kaynaklı Birleştirmelerinin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi*, Tokat, (2015).
5. Güzey, N., B., “Farklı özellikteki P355HG ve 316L çeliklerinin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinin mekanik ve mikroyapısal özellikler bakımından incelenmesi” *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2022).
6. Gözütok, E., “Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında argon-hidrojen gaz karışımının kaynaklı birleştirmenin mekanik ve mikroyapı özellikleri etkisi” *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2009).
7. Yaz, O.i S., “TIG kaynağı ile birleştirilen AISI304 paslanmaz çeliği ve safbakırın mekanik ve metalografik olarak incelenmesi” *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü*, Sakarya (2022).
8. Aydın, “Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Kullanılan Gazlar ve Etkileri” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2002).
9. İnternet:VikipediÖzgürAnsiklopedi, “PaslanmazÇelikleri”“PaslanmazÇelikler” https://tr.wikipedia.org/wiki/Paslanmaz_%C3%A7elik
10. İspirlioğlu, S., “Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkisi. Malzeme Bilimi.Net, Teknik Kütüphane <https://malzemebilimi.net/alasim-elementlerinin-celige-etkisi.html> (2017)

11. Murat, M, G., “Savunma Sanayinde Kullanılan 420 ve 304L Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı Sonrası Korozyon ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, ’*Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, (2018)
12. İnternet: Borusen Boru “Paslanmaz Çelikler Alaşım Elementleri”
<https://borsenboru.com/blog/paslanmaz-celiklerde-alasim-elementleri>
13. İkiz, E., “Alaşım Elementlerinin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Derin Öğrenme Metodu İle Kestirimi” *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli,(2022).
14. İnternet:TÜDÖKSAD “Çeliklerde Alaşım Elementlerinin Etkileri”
<https://dokumhane.net/kutuphane/celiklerde-alasim-elementlerinin-etkileri/>
15. İnternet: “Element Özellikleri Titanyum” <https://ogreniyo.com/titanyum/>
16. İnternet:Bircelik “Paslanmaz Çelik Standartları”
<https://bircelik.com/tr/kategori/paslanmaz-celik-standartlari>
17. Acar, N., A., “Investigation Of Physical And Mechanical Properties Of 316L And 410 Stainless Steels Manufactured By Powder Metallurgy Method” *Çukurova University Institute Of Natural And Applied Sciences*, Adana, (2019)
18. CAMPBELL, R.D. Ferritic Stainless Steels Welding Metalurgy, Ferrous Alloy Weldments, Englewood Colerada, USA, pp. 167-190, Anon., Metalurgy of Fusion Welding pt3: Stainless Steels, Welding&Metal Fabrication, October, pp. 376-378, 1992
19. Aktaş, R., G., “Plazma Nitrülenmiş 17-4 PH Paslanmaz Çeliğin Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2019).
20. Türkyılmazoğlu, A., “Dubleks, Martenzitik ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Sakarya,(2006)
21. Ayvaz, M., “Farklı Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynak Yöntemi ile Kaynatılması ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi- Welding Of Different Aluminimum Allyos By Tıg Welding Method And The Analysis Of Their Mechanical Characteristics”cilt7, sayı 1 ,2011
22. Ercan, İ., “Saplama Kaynak Metodu İle Birleştirilen Bakır Malzemelerin Birleştirme Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Ankara,(2011)
23. İnternet:Magmaweld“T1 308L Kompoziti” <https://www.magmaweld.com.tr/ti-308l-uo>

24. İnternet:Magmaweld“T1 309L Kompoziti” <https://www.magmaweld.com.tr/ti-309l-uo>
25. İnternet:Magmaweld“T1 316L Kompoziti” <https://www.magmaweld.com.tr/ti-316l-uo>
26. İnternet: “Zwick Roell” <https://www.zwickroell.com/tr/ueruenler/statik-malzeme-test-cihazlari/statik-uygulamalar-icin-ueniversal-malzeme-test-cihazlari/330-knden-bueyuek-test-kuvvetleri-icin-cekme-test-cihazlari/>
27. İnternet: “Zwick Roell” <https://www.zwickroell.com/tr/ueruenler/sertlik-test-cihazlari/ueniversal-sertlik-kontrol-cihazlari/zhu250cl/>
28. Ünal, İ., “Seramik – Metal Soğuk Birleştirmeler ve Performanslarının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2007).
29. Yavuz, G., “Ultrasonik Lehimleme Cihazı Tasarımı ve Ultrasonik Yöntemle Lehimleme Uygulamaları” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2015)
30. Altıntaş, İ., H., “Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Onarım Kaynağında Tungsten Elektrod ile Koruyucu Gazaltı Kaynağı ve Lazer Kaynak Parametreleri ve Etkileri” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2018)
31. Karahan, U., “Örtülü Elektrot Ark Kaynağında Akım Türünün Malzemenin Metalurjik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2020)
32. İnternet: Ümit, “Kaynak nedir?” <https://www.umatpaslanmaz.com/kaynak-nedir-kaynak-cesitleri-nelerdir/>
33. İnternet: Mühendis “Tozaltı Kaynağı Nedir? <https://muhendis.web.tr/tozalti-kaynagi-nedir/>
36. Güneş, A., “A1sı 304/Durostat 500 Çeliğinin T1g Çift Taraflı Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adıyaman, (2020)
37. Osmanoğlu, T., “AISI 304 Ve 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine Ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2012)
38. CLARK, C.A.; GUHA. P., “Welding Characteristic of Duplex Satainless Steels, Duplex Satainless Steels”, *Conference Proceedings American Society For Metals*, Ohio, pp. 632, 1982

39. İnterner: Teknik Metal, “Ferritik” <https://www.teknikmetal.com/tr/paslanmaz-celik/paslanmaz-celik-cesitleri/ferritik/>
40. İnternet: Magmaweld “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı” <https://www.magmaweld.com.tr/paslanmaz-celiklerin-kaynagi-i-235>
41. Applied Welding Engineering, Processes, Codes and Standarts, UK: Butterworth-Heinemann, Singh (2011)
42. İnternet: Metal teknolojisi, Kaynakçılık Eğitim Dökümanı, Tig Kaynağı, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2011
43. Olkun, O., “3041 Çeliklerin Alın Kaynağında Mekanik Özelliklerin Kaynak Parametrelerine Bağlı Olarak İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Çorum, (2019)

ÖZGEÇMİŞ

Ayberk Erdem, lisans eğitimini Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi %100 İngilizce Makine Mühendisliği alanında 2014-2020 yılları arasında tamamladı. Work and Travel programıyla ABD’de 6 ay bulundu. 2020 yılında HG İnşaat ve Makine A. Ş.de şantiye şefi olarak göreve başladı ve devam etmektedir.