

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AISI 304L PASLANMAZ ÇELİĞİN MIG VE TIG KAYNAK YÖNTEMLERİYLE  
BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**MURAT ALTUNTAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. SELAHATTİN YUMURTACI**

**İSTANBUL, 2015**

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 304L PASLANMAZ ÇELİĞİN MIG ve TIG KAYNAK YÖNTEMLERİYLE  
BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Murat ALTUNTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 27.11.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman**

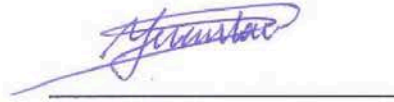
Dr. Tolga MERT

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN

Yıldız Teknik Üniversitesi



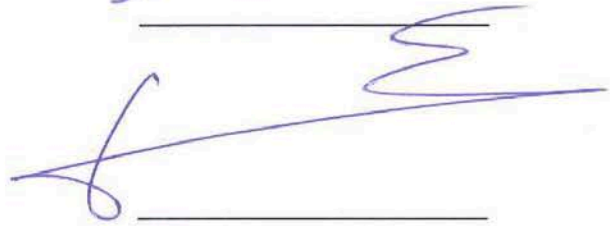
Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU

İstanbul Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Erdinç KALUÇ

Kocaeli Üniversitesi



Dr. Tolga MERT

Yıldız Teknik Üniversitesi



## ÖNSÖZ

---

Bu tezde kıymetli fikir ve önerileriyle katkıda bulunan değerli hocalarım, Prof.Dr. Selahattin YUMURTACI ve Dr. Tolga MERT'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve daima yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kasım, 2015

Murat ALTUNTAŞ

## İÇİNDEKİLER

---

|   | Sayfa |
|---|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....   | vii   |
| KISALTMA LİSTESİ .....  | ix    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | xi    |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....   | xv    |
| ÖZET.....   | xvi   |
| ABSTRACT .....  | xvii  |
| <b>BÖLÜM 1</b>  |       |
| GİRİŞ.....  | 1     |
| 1.1    Literatür Özeti .....  | 1     |
| 1.2    Tezin Amacı .....  | 1     |
| 1.3    Hipotez .....  | 2     |
| <b>BÖLÜM 2</b>  |       |
| PASLANMAZ ÇELİKLER .....  | 3     |
| 2.1    Paslanmaz Çeliğin Tanımı.....                                      | 3     |
| 2.2    Paslanmaz Çeliğin Dünyadaki Tüketim Miktarı.....                   | 4     |
| 2.3    Paslanmaz Çeliklerin Kullanım Alanları .....                       | 6     |
| 2.4    Paslanmaz Çeliklerin Üretim Yöntemleri .....                       | 10    |
| 2.5    Paslanmaz Çeliklerdeki Alaşım Elementleri .....                    | 16    |
| 2.6    Paslanmaz Çelik Türleri .....                                      | 21    |
| 2.6.1    Östenitik Paslanmaz Çelikler .....                               | 23    |
| 2.6.2    Ferritik Paslanmaz Çelikler .....                                | 29    |
| 2.6.3    Martenzitik Paslanmaz Çelikler .....                             | 31    |
| 2.6.4    Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler .....                              | 34    |
| 2.6.5    Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler (PH) ..... | 36    |

## BÖLÜM 3

|   |     |
|---|-----|
| PASLANMAZ ÇELİKLERDE KAYNAK.....  | 38  |
| 3.1 Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı.....   | 38  |
| 3.2 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....   | 39  |
| 3.2.1 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği.....                         | 39  |
| 3.2.2 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği.....                          | 46  |
| 3.2.3 Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği.....                       | 49  |
| 3.2.4 Çift Fazlı Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği.....                        | 50  |
| 3.2.5 Çökelme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği..... | 53  |
| 3.3 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak İşlem Sırası.....                                       | 54  |
| 3.3.1 Kaynak Öncesi Yüzey Hazırlama İşlemleri.....                                      | 54  |
| 3.3.2 Kaynak Ağzı Hazırlama.....  | 56  |
| 3.3.3 Kaynak Sonrası İşlemler.....  | 57  |
| 3.4 Paslanmaz Çeliklere Uygulanan Kaynak Yöntemleri.....                                | 61  |
| 3.4.1 Elektrik Ark Yöntemleri.....  | 61  |
| 3.4.1.1 Ergimeyen Elektrotla Kaynak Yöntemi.....  | 61  |
| TIG Kaynak Yöntemi (GTAW).....  | 61  |
| Plazma Ark Kaynağı (PAW).....   | 74  |
| 3.4.1.2 Ergiyen Elektrotla Kaynak Yöntemi.....  | 78  |
| MIG Kaynak Yöntemi (GMAW).....  | 78  |
| Özlu Tel ile Ark Kaynağı (FCAW).....  | 88  |
| Örtülü Elektrot Ark Kaynağı (SMAW).....   | 90  |
| Tozaltı Ark Kaynağı (SAW).....  | 92  |
| Saplama Kaynağı (SW).....   | 95  |
| 3.4.2 Direnç ve İndüksiyon Yöntemleri.....  | 97  |
| 3.4.2.1 Nokta Direnç Kaynağı (RSW).....   | 97  |
| 3.4.2.2 Direnç Dikiş Kaynağı (RSEW).....  | 99  |
| 3.4.2.3 Projeksiyon Kaynağı (PW).....   | 100 |
| 3.4.2.4 Elektrocüruf Kaynağı (ESW).....   | 101 |
| 3.4.2.5 Yakma Alın Kaynağı (FW).....  | 102 |
| 3.4.2.6 Yüksek Frekanslı İndüksiyon Kaynağı (HFIW).....                                 | 103 |
| 3.4.3 Radyasyon Enerji Yöntemleri.....  | 104 |
| 3.4.3.1 Lazer Işın Kaynağı (LBW).....   | 104 |
| 3.4.3.2 Elektron Işın Kaynağı (EBW).....  | 106 |

## BÖLÜM 4

|  |     |
|--|-----|
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....                               | 109 |
| 4.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....              | 109 |
| 4.1.1 TIG Kaynak Yönteminde Kullanılan Malzemeler..... | 109 |
| 4.1.2 MIG Kaynak Yönteminde Kullanılan Malzemeler..... | 109 |
| 4.2 Kaynak Yöntemlerinin Uygulanması.....              | 110 |
| 4.2.1 TIG Kaynak Uygulanması.....                      | 110 |

|                            |   |     |
|----------------------------|---|-----|
| 4.2.2                      | MIG Kaynak Uygulaması.....  | 114 |
| 4.3                        | Mekanik Deneyler.....   | 119 |
| 4.3.1                      | Çekme Deneyi.....   | 119 |
| 4.3.2                      | Vickers Mikrosertlik Deneyi.....                                  | 124 |
| 4.4                        | Makroyapı İncelemeleri.....                                       | 125 |
| 4.5                        | Mikroyapı İncelemeleri.....                                       | 127 |
| BÖLÜM 5                    |   |     |
| DENEYSEL SONUÇLAR..... 131 |   |     |
| 5.1                        | Mekanik Deney Sonuçları.....                                      | 131 |
| 5.1.1                      | Çekme Deneyi Sonuçları.....                                       | 131 |
| 5.1.1.1                    | TIG Kaynak Çalışmasına Ait Çekme Deneyi Sonuçları.....            | 131 |
| 5.1.1.2                    | MIG Kaynak Çalışmasına Ait Çekme Deneyi Sonuçları.....            | 132 |
| 5.1.2                      | Vickers Mikrosertlik Deneyi.....                                  | 137 |
| 5.1.2.1                    | MIG Kaynak Çalışmasına Ait Vickers Sertlik Deneyi Sonuçları... .. | 137 |
| 5.2                        | Makroyapı İncelemeleri.....                                       | 139 |
| 5.2.1                      | TIG Kaynak Çalışmasına Ait Makroyapı İncelemesi Sonuçları.....    | 139 |
| 5.2.2                      | MIG Kaynak Çalışmasına Ait Makroyapı İncelemesi Sonuçları.....    | 141 |
| 5.3                        | Mikroyapı İncelemeleri.....                                       | 142 |
| 5.3.1                      | TIG Kaynak Çalışmasına Ait Mikroyapı İncelemesi Sonuçları.....    | 142 |
| 5.3.2                      | MIG Kaynak Çalışmasına Ait Mikroyapı İncelemesi Sonuçları.....    | 144 |
| BÖLÜM 6                    |   |     |
| SONUÇLAR..... 147          |   |     |
| KAYNAKLAR..... 149         |   |     |
| ÖZGEÇMİŞ..... 153          |   |     |

## SİMGE LİSTESİ

---

|                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| $\gamma$ -Fe                   | Östenit           |
| $\alpha$ -Fe                   | Ferrit            |
| $\delta$ Fe                    | Delta ferrit      |
| $\sigma$                       | Sigma fazı        |
| A                              | Östenit           |
| Al                             | Alüminyum         |
| Ar                             | Argon             |
| C                              | Karbon            |
| Ca                             | Kalsiyum          |
| CaCl <sub>2</sub>              | Kalsiyum Klorür   |
| CaCO <sub>3</sub>              | Kalsiyum Karbonat |
| CaF <sub>2</sub>               | Kalsiyum Florür   |
| CaO                            | Kalsiyum Oksit    |
| Ce                             | Seryum            |
| Co                             | Kobalt            |
| CO <sub>2</sub>                | Karbondioksit     |
| Cu                             | Bakır             |
| Cr                             | Krom              |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Krom Oksit        |
| F                              | Ferrit            |
| Fe                             | Demir             |
| I                              | Akım              |
| L                              | Sıvı              |
| M                              | Martenzit         |
| MgO                            | Magnezyum Oksit   |
| Mn                             | Mangan            |
| Mo                             | Molibden          |
| N <sub>2</sub>                 | Azot              |
| Nb                             | Niobyum           |
| Ni                             | Nikel             |
| O <sub>2</sub>                 | Oksijen           |
| S                              | Kaynak hızı       |
| Si                             | Silisyum          |
| SiO <sub>2</sub>               | Silisyum Oksit    |
| Ti                             | Titanyum          |

|                  |                |
|------------------|----------------|
| TiO <sub>2</sub> | Titanyum Oksit |
| V                | Vanadyum       |
| Q                | Isı girdisi    |
| W                | Volfram        |



## KISALTMA LİSTESİ

---

|        |                                       |
|--------|---------------------------------------|
| AC     | Alternatif Akım                       |
| AISI   | Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü     |
| AOD    | Argon Oksijen Dekarbürizasyon         |
| CNC    | Bilgisayar Sayısal Kontrol            |
| DC     | Doğru Akım                            |
| DCEN   | Doğru Akım Negatif Elektrot           |
| DCEP   | Doğru Akım Pozitif Elektrot           |
| DCSP   | Doğru Akım Düz Kutuplama              |
| DCRP   | Doğru Akım Ters Kutuplama             |
| EAF    | Elektirik Ark Fırını                  |
| ESW    | Elektrocüruf Kaynağı                  |
| EBW    | Elektron Işın Kaynağı                 |
| eut    | Ötektik                               |
| FCAW   | Özlü Tel Ark Kaynağı                  |
| FW     | Yakma Alın Kaynağı                    |
| GMAW   | Gazaltı Kaynağı                       |
| ITAB   | Isı Tesiri Altındaki Bölge            |
| HFIW   | Yüksek Frekanslı İndüksiyon Kaynağı   |
| MAG    | Metal Aktif Gaz                       |
| MIG    | Metal Soy Gaz                         |
| MMA    | Elle Metal Ark                        |
| Nd:YAG | Neodyum-İtriyum-Alüminyum Garnet      |
| SAE    | Otomotiv Mühendisleri Topluluğu       |
| SEM    | Elektron Tarama Mikroskobu            |
| SMAW   | Korumalı Metal Ark Kaynağı            |
| SW     | Saplama Kaynağı                       |
| TIG    | Tungsten Soy Gaz                      |
| RSEW   | Direnç dikiş Kaynağı                  |
| RSW    | Direnç Nokta Kaynağı                  |
| PAW    | Plazma Ark Kaynağı                    |
| PW     | Projeksiyon Kaynağı                   |
| UNS    | Birleştirilmiş Numaralandırma Sistemi |
| UTS    | Çekme Mukavemeti                      |
| VOD    | Vakum Oksijen Dekarbürizasyon         |

WRC Kaynak Araştırma Konseyi

## ŞEKİL LİSTESİ

|             | Sayfa   |
|-------------|---|
| Şekil 2. 1  | Paslanmaz çeliğin oluşumu ..... 4   |
| Şekil 2. 2  | 1980 ve 2010 yılları arasında sık kullanılan metallerin büyüme oranı (%/yıl)5   |
| Şekil 2. 3  | Uluslara göre paslanmaz çelik üretimi: 2005 (sol) 2010 (sağ) ..... 5  |
| Şekil 2. 4  | Gıda sektöründe paslanmaz çeliğin uygulaması ..... 7  |
| Şekil 2. 5  | Paslanmaz çelik ürünün temizlik işlemi ..... 7  |
| Şekil 2. 6  | Asidik depolama uygulaması..... 8   |
| Şekil 2. 7  | Gergi sistemi ..... 9   |
| Şekil 2. 8  | Zemin uygulaması ..... 10   |
| Şekil 2. 9  | Şematik AOD dönüştürücü..... 11   |
| Şekil 2. 10 | Vakum Oksijen Dekarbürizasyon (VOD) ünitesi..... 12   |
| Şekil 2. 11 | EAF/AOD-VOD işlem şeması ..... 12   |
| Şekil 2. 12 | Paslanmaz kütük elde edilmesi ..... 13  |
| Şekil 2. 13 | Çeşitli elementler ..... 20   |
| Şekil 2. 14 | Paslanmaz çelik alaşımlarının gerilme değerlerine etkileri..... 21  |
| Şekil 2. 15 | Shaeffler diyagramı ..... 22  |
| Şekil 2. 16 | Paslanmaz çelik için C-R ve Ni etkileri..... 23   |
| Şekil 2. 17 | Fe-Cr diyagramı ..... 24  |
| Şekil 2. 18 | Östenitik çeliğin kristal yapısı..... 25  |
| Şekil 2. 19 | 9 ay sonra U şeklinde bükülmüş örnek üzerinde pitting ve gerilmeli korozyonun sodyum klorür asit ortamında kuru-ıslak çevrimi ile meydana gelişi ..... 26 |
| Şekil 2. 20 | Çukurcuk korozyonunun oluşumu ..... 27  |
| Şekil 2. 21 | Gerilmeli korozyon oluşumu ..... 28   |
| Şekil 2. 22 | Östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı ..... 29   |
| Şekil 2. 23 | Feritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı ..... 31   |
| Şekil 2. 24 | Martenzitik çeliğin mikro yapısı ..... 33   |
| Şekil 2. 25 | Çift fazlı paslanmaz çeliğin mikro yapısı..... 34   |
| Şekil 2. 26 | Farklı paslanmaz çeliklerin tel çekme ile şekillendirilmesinde gerilme dayanımı ..... 35  |
| Şekil 3. 1  | Isı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) şematik görünümü..... 39   |
| Şekil 3. 2  | Taneler arası korozyonun görünümü..... 40   |
| Şekil 3. 3  | Östenitik paslanmaz çeliğin katılaşma ve katı hal geçiş olasılıkları..... 41  |
| Şekil 3. 4  | Östenitik kaynak bölgesindeki %8 ferritik yapı ..... 42   |
| Şekil 3. 5  | Östenitik çeliğin yapısal foksiyonu olarak çatlak oluşma olasılığı..... 42  |
| Şekil 3. 6  | Shaeffler diyagramı ..... 43  |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 3. 7  | Delong diyagramı .....  | 44 |
| Şekil 3. 8  | Fe-Cr-Ni üçlü diyagramında sıvı, ferrit katılaşması ve östenitik katılaşma<br>izdüşüm sınırları .....   | 45 |
| Şekil 3. 9  | Bileşimin fonksiyonu olarak çift fazlı paslanmaz çelikte meydana gelen<br>çatlama hassasiyeti .....   | 51 |
| Şekil 3. 10 | Çift fazlı paslanmaz çelik için ikili faz diyagramı.....  | 52 |
| Şekil 3. 11 | Çift fazlı paslanmaz çelikteki ısı tesiri altındaki bölge ve kaynak metalinin<br>mikro yapısı .....   | 52 |
| Şekil 3. 12 | Kaynak ağzı tasarımında kullanılan terimler .....   | 56 |
| Şekil 3. 13 | Kaynak ağzı tasarım örnekleri .....   | 57 |
| Şekil 3. 14 | Asit uygulaması ile aşındırma ve parlatma uygulaması karşılaştırılması .....  | 60 |
| Şekil 3. 15 | TIG kaynağının şematik görünümü .....   | 63 |
| Şekil 3. 16 | TIG kaynağında 3 farklı kutuplama yöntemi .....   | 65 |
| Şekil 3. 17 | (a) El ile kaynak metali ilavesi (b) otomatik kaynak teli ilavesi .....   | 67 |
| Şekil 3. 18 | Kaynak bölgesine el ile ilave tel beslemesi .....   | 67 |
| Şekil 3. 19 | TIG kaynak ekipmanları.....   | 68 |
| Şekil 3. 20 | Programlanabilen bir TIG kaynak makinesinde ayar parametrelerinin<br>zamanla değişimi.....  | 69 |
| Şekil 3. 21 | Ayak kontrol pedalı .....   | 70 |
| Şekil 3. 22 | Parça klemensinin iş parçasına veya tezgaha bağlanması.....   | 70 |
| Şekil 3. 23 | Su soğutmalı TIG kaynak torcu kesiti .....  | 71 |
| Şekil 3. 24 | Elektrot açısının nüfuziyete etkisi .....   | 72 |
| Şekil 3. 25 | Çeşitli faktörlere göre argon tüketim miktarı .....   | 73 |
| Şekil 3. 26 | Plazma ark kaynağı.....   | 74 |
| Şekil 3. 27 | AISI 304 paslanmaz çeliğin plazma ark kaynağı .....   | 75 |
| Şekil 3. 28 | Parça kalınlığına göre kaynak parametrelerinin değişimi .....   | 76 |
| Şekil 3. 29 | Plazma ark kaynağı ekipmanları.....   | 77 |
| Şekil 3. 30 | MIG kaynak yönteminin prosesi .....   | 79 |
| Şekil 3. 31 | Kısa ark prosesi .....  | 81 |
| Şekil 3. 32 | Damlasal transfer prosesi .....   | 81 |
| Şekil 3. 33 | Sprey ark transfer prosesi .....  | 82 |
| Şekil 3. 34 | Elektrot ucunun iş parçasına olan mesafesi(1) elektrot uzantısı(2) .....  | 85 |
| Şekil 3. 35 | MIG kaynak ekipmanları .....  | 85 |
| Şekil 3. 36 | Tel ilerletme tertibatı .....   | 86 |
| Şekil 3. 37 | MIG kaynak torcunun detayları; (1) taşıma borusu (2) nozul (3) switch (4)<br>tutucu kol (5) elektrot .....  | 87 |
| Şekil 3. 38 | Koruyucu gazın kaynak geometrisine etkisi: Argon – a; argon + oksijen – b;<br>CO <sub>2</sub> – c; argon + CO <sub>2</sub> – d; helyum – e; argon + helyum – f..... | 88 |
| Şekil 3. 39 | Özlü elektrot teli .....  | 89 |
| Şekil 3. 40 | (a) Koruyucu gaz uygulamalı özlü tel ile elektrot kaynağı (b) koruyucu gaz<br>kullanılmadan yapılan özlü tel ile elektrot kaynağı.....                              | 89 |
| Şekil 3. 41 | Özlü tel ile elektrot kaynağında kaynak parametreleri.....  | 90 |
| Şekil 3. 42 | Örtülü elektrot ark kaynağı prosesi .....   | 91 |
| Şekil 3. 43 | Örtülü elektrotla ark kaynağı ekipmanları .....   | 92 |
| Şekil 3. 44 | Tozaltı kaynak prosesi .....  | 93 |
| Şekil 3. 45 | Tozaltı kaynağı ekipmanları .....   | 94 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Şekil 3. 46 | (a) Ark saplama kaynağı (b) kapasitör deşarj saplama kaynağı.....   | 96  |
| Şekil 3. 47 | Saplama kaynağının şeması .....   | 97  |
| Şekil 3. 48 | Nokta direnç kaynağı prosesi.....   | 98  |
| Şekil 3. 49 | Direnç dikiş kaynağı prosesi.....   | 100 |
| Şekil 3. 50 | Projeksiyon kaynağının prosesi.....   | 100 |
| Şekil 3. 51 | Elektrocüruf kaynağı prosesi.....   | 101 |
| Şekil 3. 52 | Yakma alın kaynağı prosesi .....  | 103 |
| Şekil 3. 53 | Yüksek frekanslı indüksiyon kaynağı prosesi .....   | 104 |
| Şekil 3. 54 | Lazer ışın kaynağı prosesi.....   | 105 |
| Şekil 3. 55 | Lazer ışın kaynağı donanımı .....   | 106 |
| Şekil 3. 56 | Elektron ışın kaynağı prosesi.....  | 107 |
| Şekil 3. 57 | Elektron ışın kaynağı donanımı .....  | 108 |
| Şekil 4. 1  | TIG boy kaynak makinesi.....  | 111 |
| Şekil 4. 2  | Kaynak alt bölgesi azot gazı uygulaması .....   | 112 |
| Şekil 4. 3  | TIG kaynak numunesi.....  | 113 |
| Şekil 4. 4  | TIG kaynak numunesinin kesiti .....   | 113 |
| Şekil 4. 5  | MIG kaynak makinesi donanımı.....   | 115 |
| Şekil 4. 6  | Kaynak fikstüründe kullanılan seramik altlık uygulaması .....   | 115 |
| Şekil 4. 7  | Kaynak fikstürünün kesit görüntüsü .....  | 116 |
| Şekil 4. 8  | Kaynak fikstürüne iş malzemesinin bağlanması .....  | 116 |
| Şekil 4. 9  | Kaynak işleminden sonra seramik altlığın temizlenmesi .....   | 117 |
| Şekil 4. 10 | Torç taşıma aparatının 3 boyutlu CAD modeli.....  | 117 |
| Şekil 4. 11 | Torç hareket mekanizması .....  | 118 |
| Şekil 4. 12 | Kaynak işlemi uygulanmış numune.....  | 118 |
| Şekil 4. 13 | TIG kaynağı çekme numuneleri .....  | 120 |
| Şekil 4. 14 | MIG kaynak yöntemiyle ER309LSi ilave tel kullanılarak hazırlanmış kaynaklı çekme numuneleri .....                 | 120 |
| Şekil 4. 15 | MIG kaynak yöntemiyle ER316LSi ilave tel kullanılarak hazırlanmış kaynaklı çekme numuneleri .....                 | 121 |
| Şekil 4. 16 | CNC lazer kesim makinesi .....  | 121 |
| Şekil 4. 17 | Deney numunelerinin lazer kesim işlemi.....   | 122 |
| Şekil 4. 18 | Kaynak numunesinden alınan deney numuneleri .....   | 122 |
| Şekil 4. 19 | Çekme numunesi boyutları .....  | 123 |
| Şekil 4. 20 | Çekme testi cihazı .....  | 123 |
| Şekil 4. 21 | Mikro sertlik ölçme cihazı .....  | 124 |
| Şekil 4. 22 | TIG kaynak çalışmalarının, makro yapı görüntüleme numunesi .....  | 125 |
| Şekil 4. 23 | (a) ER316LSi ilave telli (b) ER309LSi ilave telli MIG kaynak çalışmalarının makro yapı görüntüleme numunesi ..... | 125 |
| Şekil 4. 24 | Kalling's 1 çözeltisi .....   | 126 |
| Şekil 4. 25 | Stereoskopik mikroskop.....   | 126 |
| Şekil 4. 26 | Mikroyapı/makroyapı görüntüleme numunesi .....  | 127 |
| Şekil 4. 27 | Ters metal mikroskobu .....   | 127 |
| Şekil 4. 28 | Sıcak bakalite alma presisi.....  | 128 |
| Şekil 4. 29 | Sıcak bakalite alınmış TIG kaynaklı numuneler.....  | 128 |
| Şekil 4. 30 | TIG kaynak çalışmalarının mikro yapı görüntüleme numunesi .....   | 129 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Şekil 4. 31 | (a) ER316LSi ilave telli (b) ER309LSi ilave telli MIG kaynak çalışmalarının mikro yapı görüntüleme numunesi .....  | 129 |
| Şekil 4. 32 | Zımparalama ve parlatma cihazı .....   | 130 |
| Şekil 5. 1  | Çekme testi sonrası TIG kaynaklı numuneler.....  | 132 |
| Şekil 5. 2  | Çekme testi sonrası MIG kaynaklı numuneler (a) ER316LSi ilave telli (b) ER309LSi ilave telli .....   | 134 |
| Şekil 5. 3  | ER316LSi ilave telli çekme numunesi sonuçları (a) 100 A 900 mm/dk (b) 100 A 750 mm/dk (c) 100 A 600 mm/dk .....  | 134 |
| Şekil 5. 4  | ER309LSi ilave telli çekme numunesi sonuçları (a) 100 A 900 mm/dk (b) 100 A 750 mm/dk (c) 100 A 600 mm/dk .....  | 136 |
| Şekil 5. 5  | Mikro sertlik sonuçları (a) ER316LSi ilave telli (b) ER309LSi ilave telli.....   | 138 |
| Şekil 5. 6  | TIG kaynaklı numuneler a) azot uygulaması yapılmamış b) azot uygulaması yapılmış .....   | 139 |
| Şekil 5. 7  | a) 85 A 1100 mm/dk azot uygulamasız b) 85 A 1100 mm/dk azot uygulamalı c) 100 A 1300 mm/dk azot uygulamasız d) 100 A 1300 mm/dk azot uygulamalı e) 130 A 1500 mm/dk azot uygulamasız f) 130 A 1500 mm/dk azot uygulamalı .....   | 140 |
| Şekil 5. 8  | Şekil 4.8 a) 100 A 900 mm/dk 316LSi ilave tel b) 100 A 750 mm/dk 316LSi ilave tel c) 100 A 600 mm/dk 316LSi ilave tel d) 100 A 900 mm/dk 309LSi ilave tel e) 100 A 750 mm/dk 309LSi ilave tel f) 100 A 600 mm/dk 309LSi ilave tel.....   | 141 |
| Şekil 5. 9  | a) 85 A 1100 mm/dk azot uygulamalı b) 85 A 1100 mm/dk azot uygulamasız c) 100 A 1300 mm/dk azot uygulamalı d) 100 A 1300 mm/dk azot uygulamasız e) 130 A 1500 mm/dk azot uygulamalı f) 130 A 1500 mm/dk azot uygulamasız.....  | 142 |
| Şekil 5. 10 | 100 A 900 mm/dk ER316LSi ilave telli numuneye ait (a) geçiş bölgesi (b) kaynak metali mikro yapısı, 100 A 750 mm/dk ER316LSi ilave telli numuneye ait (c) geçiş bölgesi (d) kaynak metali mikro yapısı, 100 A 600 mm/dk ER316LSi ilave telli numuneye ait (e) geçiş bölgesi (f) kaynak metali mikro yapısı ..... | 144 |
| Şekil 5. 11 | 100 A 900 mm/dk ER309LSi ilave telli numuneye ait (a) geçiş bölgesi (b) kaynak metali mikro yapısı, 100 A 750 mm/dk ER309LSi ilave telli numuneye ait (c) geçiş bölgesi (d) kaynak metali mikro yapısı, 100 A 600 mm/dk ER309LSi ilave telli numuneye ait (e) geçiş bölgesi (f) kaynak metali mikro yapısı ..... | 145 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

|              | Sayfa  |
|--------------|--|
| Çizelge 4. 1 | 0,8 mm AISI 304L malzemenin spektral analiz sonuçları ..... 109                                    |
| Çizelge 4. 2 | 2 mm AISI 304L malzemenin, ER316LSi ve ER309LSi ilave tellerin spektral analiz sonuçları ..... 110 |
| Çizelge 4. 3 | TIG kaynak parametreleri..... 113  |
| Çizelge 4. 4 | MIG kaynak parametreleri ..... 119   |
| Çizelge 5. 1 | TIG kaynak numunelerine ait çekme deneyi sonuçları ..... 132                                       |
| Çizelge 5. 2 | MIG kaynak numunelerine ait çekme deneyi sonuçları..... 133  |

**AISI 304L PASLANMAZ ÇELİĞİN MIG ve TIG KAYNAK YÖNTEMLERİYLE  
BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

Murat ALTUNTAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Eş Danışman: Dr. Tolga MERT

Paslanmaz çeliklerin yüksek korozyon dayanımları, farklı sıcaklık aralıklarında kullanıma uygun olmaları, kolay şekillendirilmeleri ve estetik bir görünüm sunmaları, bu malzemenin geniş kullanım alanlarının olmasını sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelerde yaygın olarak kullanılan, östenitik paslanmaz çelikler sınıfından AISI 304L malzeme seçilerek incelemeye tabi tutulmuştur. TIG ve MIG kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş olan AISI 304L paslanmaz çelik malzemelerden kaynaklı numuneler alınarak, mekanik ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Kaynaklı birleştirmeler farklı parametreler kullanılarak yapılmıştır. MIG kaynaklı numunelerde kaynak kesitinde, TIG kaynaklı numunelerde ise kaynak alt yüzeyi boyunca elektron mikroskobu ile yüzey morfolojisi incelenmiştir. Ayrıca MIG uygulamalarında, Vickers mikrosertlik ve çekme dayanımı, TIG uygulamalarında ise çekme deneyi gibi test yöntemleriyle kaynak bölgesinin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda, TIG ve MIG kaynaklı numunelerde, seçilen parametrelere bağlı olarak mekanik özelliklerde ve mikro yapılarda ortaya çıkan farklılıklar incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** TIG, MIG, AISI 304L, azot, ER309LSi, ER316LSi



**THE INVESTIGATE OF EFFECT WELDING PARAMETER AISI 304L TYPE  
STAINLESS STEEL WITH TIG AND MIG WELDING**

Murat ALTUNTAŞ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Co-Adviser: Dr. Tolga MERT

The stainless steels are widely used due to their corrosion resistance, being suitable for different temperatures, easy forming and aesthetics view. In this thesis study, the AISI 304L material from the category of austenitic stainless steels which is widely used in welding process is examined. Welding samples are taken from the AISI 304L materials which were welded by TIG and MIG welding types and are used for study of their mechanical and microstructural properties. The studies were done with different parameters. The surface morphology in MIG type welded samples and in TIG type welded samples, welding section and bottom surface of welding section is examined respectively with an electron microscope. Moreover, by the help of tests such as Vickers micro hardness and tensile strength on MIG samples and tensile strength test on TIG samples, mechanical properties of welded area samples are compared. In the end of studies, it has been found that mechanical properties and micro structures of TIG and MIG welded samples differs according to the parameters.

**Keywords:** TIG, MIG, AISI 304L, nitrogen, ER309LSi, ER316LSi

---

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

#### 1.1 Literatür Özeti

Tez çalışmasına konu olan AISI 304L östenitik paslanmaz çelikler, korozif ortamlarda mekanik ve fiziksel özelliklerinde değişim meydana gelmeden gösterdikleri korozyon direnci, yüksek kaynak kabiliyetleri ve kolay şekillendirilebilir olmaları nedeniyle günümüzde geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bu tür çeliklerin kaynak işlemlerinde, TIG ve MIG kaynak uygulamaları en çok tercih edilen kaynak yöntemleri arasındadır.

Çeşitli paslanmaz çelik malzemelerin farklı kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri esnasında, kaynak ilerleme hızı, akım değeri gibi kaynak parametrelerinin ve ilave tel çeşitlerinin numunenin mekanik özellikleri ile mikro ve makro yapısı üzerindeki etkilerini inceleyen çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Literatür çalışmalarında kaynak bölgesinde oluşturulan koruyucu atmosferin, numunenin fiziksel özellikleri üzerinde olumlu etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak ilerleme hızının azaltılarak veya akım değerinin arttırılmasıyla, numuneye olan ısı geçişinin artması sonucunda kaynak dikişi alanının, ısı tesiri altındaki bölgenin ve geçiş bölgesinin genişlediği görülmüştür. Ayrıca paslanmaz çeliklerde ER309LSi ilave tel kullanımının, ER316LSi kullanımına göre daha uygun mekanik sonuçlar verdiği görülmüştür.

#### 1.2 Tezin Amacı

Tezin deneysel çalışmalar bölümünde, TIG kaynak yöntemi kullanılarak kaynak dikişinin alt bölgesine azot gazı ile koruyucu atmosfer uygulamasının, kaynak akımı ve ilerleme

hız değerlerinin numunelerin mekanik, mikro ve makro yapı özelliklerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, ideal birleştirme parametrelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. MIG kaynak yönteminin kullanıldığı çalışmalarda ise ER309LSi ve ER316LSi ilave tel kullanılması ve farklı kaynak ilerleme hızlarının, numunelerin mekanik, mikro ve makro yapı özelliklere etkisi incelenmiştir. MIG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin mekanik test sonuçlarına bakılarak, ER309LSi ve ER316LSi ilave telin AISI 304L malzemede kullanımındaki uygunluğu analiz edilmiştir. Ayrıca kaynak ilerleme hızının mekanik, mikro ve makro yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu değerlendirmeler ışığında ideal birleştirme koşulları için ilave tel ve kaynak hızının belirlenmesi hedeflenmiştir.

### **1.3 Hipotez**

Tez sonuçları doğrultusunda, TIG kaynak yöntemiyle birleştirmelerde azot gazı ile kaynak dikişi alt bölgesine koruyucu atmosfer oluşturulması, fiziksel özellikleri olumlu yönde etkilemektedir. Bunun yanında iş parçasına ideal ısı geçişi ile birleştirilen numuneler kaynak bölgesi dışından kopma göstererek, güvenilir bağlantılar oluşturmaktadır. Kaynak numunelerine yeterli ısı geçişi olmaması durumunda, yetersiz nüfuziyet ile oluşmuş kaynak dikişleri elde edilmektedir. AISI 304L paslanmaz çeliğin MIG kaynaklı uygulamalarında ise ER309LSi ilave tel kullanımı, ER316LSi ilave tel kullanımına göre mekanik anlamda daha uygun sonuçlar vermiştir. Ayrıca numunelere, ideal değerin üzerindeki ısı geçişi durumlarında, mekanik özellikler olumsuz yönde etkilenmektedir. TIG ve MIG kaynak uygulamalarının her ikisinde de numunelere olan ısı geçişine paralel olarak, kaynak metalinin ve kaynak geçiş bölgesi alanının artış gösterdiği görülmüştür.

### PASLANMAZ ÇELİKLER

#### 2.1 Paslanmaz Çeliğin Tanımı

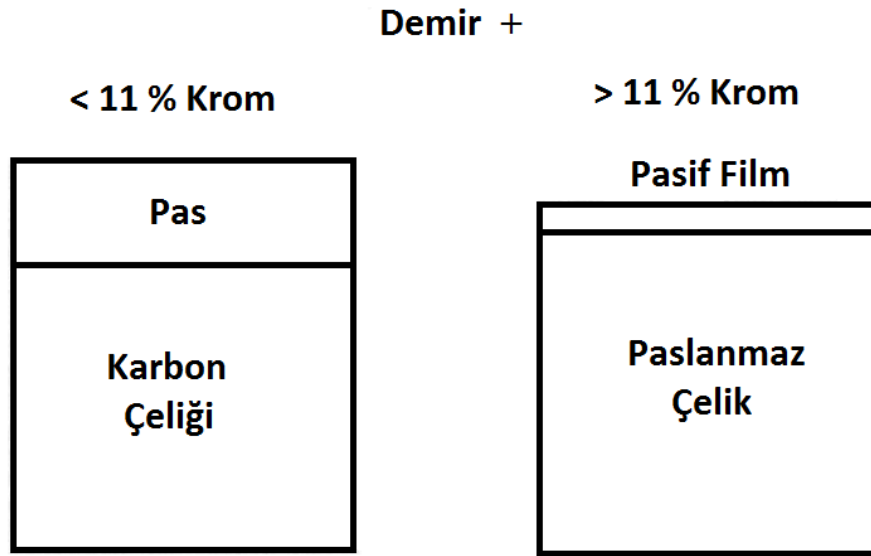
19. yy' da İngiltere, Almanya, Fransa ve Amerika Birleşik Devletleri' nde çalışan en az 25 bilim adamı demir alaşımları ve krom, nikel ve karbonun değişen miktarları hakkında çalışmalar yürütmüş ve yazılar yazmışlardır. Bu çalışmalardan daha fazla krom miktarıyla alaşımların, birçok çevre şartlarında karbon çeliğine göre daha fazla korozif direnç sağladığı belirtilmiştir [1].

Her birinin dört farklı şehirde olduğu bilinen yedi kişi, 1905 ile 1912 yılları arasında şu anda paslanmaz çelik olarak ifade ettiğimiz alaşımları kazara keşfetmişlerdir [1]. Paslanmaz çeliği kimin bulduğu konusunda tartışmalar bulunmaktadır. Paslanmaz çelikler basit bir su kovanından uzay aracı pervanesine kadar çok geniş bir kullanım alanı bulmuştur [2].

Demir, demir esaslı malzemeler ve çelik, korozyon açısından oldukça zayıf özellikler göstermektedir. Çünkü bu tür malzemeler hava, asit, sıvı ve çeşitli atmosferik ortamlarda paslanmaktadırlar. Bu tür demir esaslı malzemelerin yanında demir-nikel-krom alaşımı olarak bilinen paslanmaz çelikler, sıvı, asidik ortamlar gibi korozyon oluşturabilecek benzer ortamlarda korozyona karşı yüksek dayanım göstermektedir [16].

US Steel Co. el kitabına göre AISI olarak belirtilen bir paslanmaz çeliğin en az %4 oranında Cr içermesi gerekmektedir. Ancak birçok standarda göre bir malzemenin paslanmaz çelik olarak kabul edilebilmesi için %11.5' den fazla Cr içermesi gerekmektedir [4]. Bazı paslanmaz çelikler %30' dan fazla Cr ve %50' den az demir

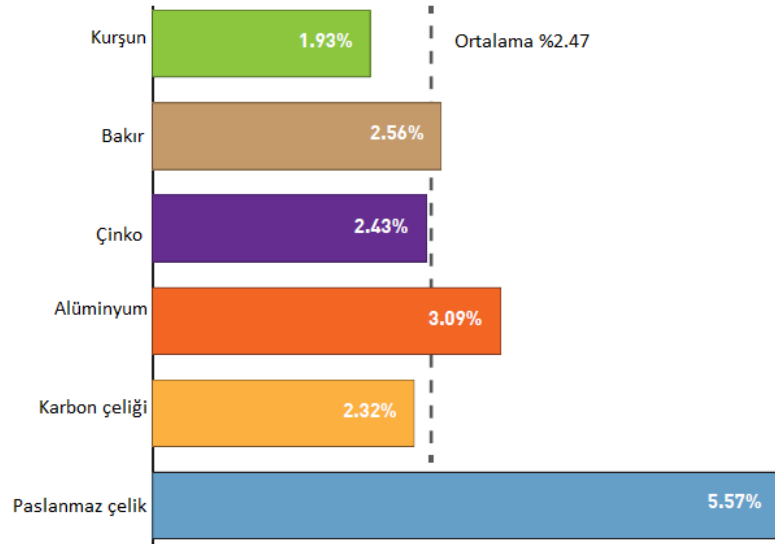
içermektedir [5]. Paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunan bu Cr, paslanmaz çeliklerin yüzeyinde ince, şeffaf, yüzeye yapışık halde bir krom oksit tabakası oluşturmaktadır. Bu tabaka sayesinde çeliğin korozyona uğraması engellenmekte veya minimuma indirgenmektedir. Paslanmaz çelikte bulunan Cr, en önemli elementi oluşturmaktadır. Çünkü Fe-Cr sistemine dayanılarak paslanmaz çeliklerin fiziksel metalürjisi de belirlenmektedir [4]. Artan Cr içeriğiyle beraber korozyon direnci de artış göstermektedir. Paslanmaz çelikler %0.03 ile %1 arasında C içermektedir [5].



Şekil 2.1 Paslanmaz çeliğin oluşumu

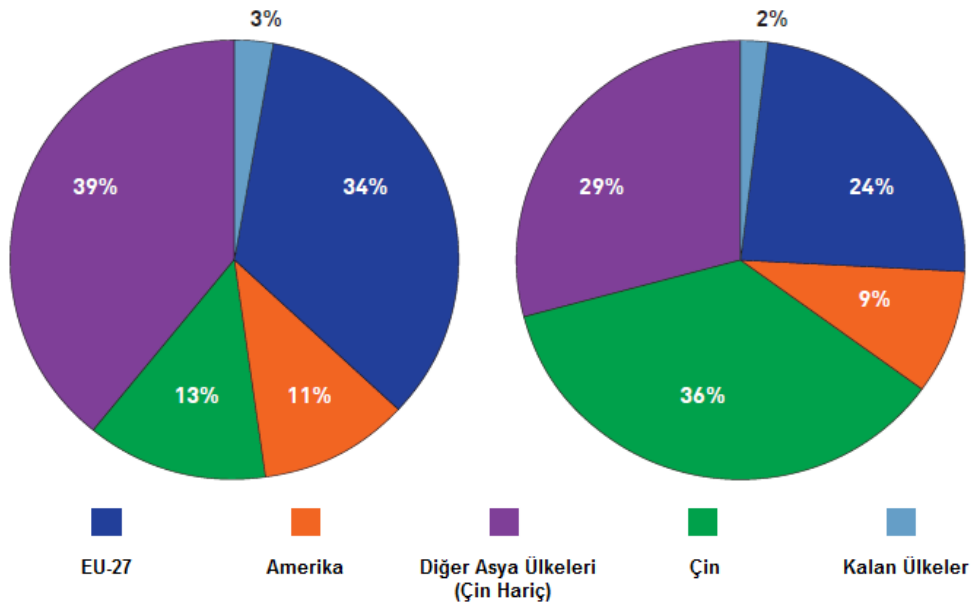
## 2.2 Paslanmaz Çeliğin Dünyadaki Tüketim Miktarı

Paslanmaz çelikler en çok tercih edilen malzemeler arasındadır. Bu durum paslanmaz çeliğin üretim miktarının hızlı artışını sağlamaktadır [6]. Dünyadaki yıllık çelik üretimi yaklaşık 400 milyon tondur ve bunun %2' sini paslanmaz çelikler oluşturmaktadır [16]. 1980 yılından sonra paslanmaz çeliğe olan talebin arttığı aşağıdaki grafikteki birleşik büyüme oranlarına bakılarak görülmektedir [6].



Şekil 2.2 1980 ve 2010 yılları arasında sık kullanılan metallerin büyüme oranı (%/yıl)[6]

Aşağıdaki grafikte Asya'nın hızlı bir genişleme göstererek, dünyada paslanmaz çelik üretiminin büyük bir kısmını oluşturduğu görülmektedir. Çin' de üretilen tonajın, dünyada paslanmaz çelik üretiminin lideri olan Japonya'nın önüne geçtiği görülmektedir. Çin' de 2006 yılındaki 4,6 kilogramlık kişi başı tüketim gerçekten büyük bir değeri simgelemektedir [2].



Şekil 2.3 Uluslara göre paslanmaz çelik üretimi: 2005 (sol) 2010 (sağ) [6]

Paslanmaz çelik üretim ve tüketiminin her geçen gün artmasına rağmen, karbon çelik üretiminin hala arkasında kaldığını söyleyebiliriz [6].

### 2.3 Paslanmaz Çeliklerin Kullanım Alanları

Paslanmaz çelikler dayanım sağlama, süneklik, geniş sıcaklık aralığında tokluk gibi mekanik özellikleri, korozyon direnci, ömür-maliyet karlılığı, %100 geri dönüştürülebilir olması, manyetik olmaması, herhangi bir kaplama veya yüzey koruma gerektirmemesi, estetik bir yüzey görüntüsü ve üretim karakteristikleri gibi birçok nedenden dolayı çok çeşitli kullanım alanları bulmaktadır [5, 7, 8]. Bunlar sırasıyla %34 kimya ve enerji mühendisliği, %28 ev aletleri, %18 gıda ve ambalajlama sektörü, %9 taşımacılık, %6 küçük elektrik ve elektronik uygulamalar ve %5 mimaridir [5].

Paslanmaz çeliğin en fazla kullanıldığı alan kimya ve enerji mühendisliği kısmıdır. 304 kalite paslanmaz çeliğin bu sektördeki en temel başarısı, ince kesitlerde seyreltilmiş nitrik asit depolama tankında kullanılabilir olması ve diğer malzemelere karşı daha fazla direnç göstermesidir. Farklı sıcaklık aralıklarında yüksek korozyon direnci sağlama için farklı paslanmaz çelik sınıfları geliştirilmiştir. Tuzdan arındırma tesisleri, kanalizasyon tesisleri, deniz petrol kuyuları, liman destekleri ve gemi pervaneleri gibi özel alanlarda bu çelik türleri kullanılmaktadır. Ayrıca paslanmaz çelikler, enerji üretim alanlarında yüksek sıcaklıklarda korozyona karşı direnç sağlama sebebiyle tercih edilmektedir. Özellikle Nikel alaşımları, yüksek sıcaklıklarda korozyon direnci ve fosil yakıtlı santraller, buhar ve gaz türbinlerinde oksidasyon direnci için tercih edilmektedir [9].

Paslanmaz çeliğin geniş kullanım alanlarından biride gıda üretim ve depolama sistemleridir [9]. Aşağıda sıralanmış olan avantajlarından dolayı paslanmaz çelikler gıda sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır.

1. Kimyasal, bakteriyolojik ve duyuşal tarafsızlık ile gıda ürünlerini muhafaza etmektedir. İnsanlar, tahmin ettiklerinden daha fazla gıdanın taşınmasından ve üretim malzemelerinden etkilenmektedirler. Yapılan bazı çalışmalar, paslanmaz çeliğin gıda alanında geniş bir kullanım alanı bulmasına rağmen, insan sağlığına ve hijyen koşullarına olumsuz etkisinin olmadığını göstermiştir [10].



Şekil 2.4 Gıda sektöründe paslanmaz çelik uygulaması

2. Hijyenik temizlenebilme yeteneği ile ürünün görünümü istenilen özelliكتir. Temizlik, malzemenin yüzeyinde bulunan görünen veya görünemeyen kirliliklerin engellenmesini içermektedir. Ancak temizlik, üründeki mikro organizmaların yok edilmesini de kapsamamaktadır. Tamamiyle bir bakteriyolojik temizlik, tamamen yüzeyin dezenfekte edilmesini içermektedir [10].



Şekil 2.5 Paslanmaz çelik ürünün temizlik işlemi



3. Korozyon ve yaşlanma direnci dahil olmak üzere yeterli dayanım değerleri elde edilmektedir. Paslanmaz çelik yüzeyinde bulunan pasif film malzemeyi korozyona karşı korumaktadır. Eğer malzemenin yüzeyi zarar görürse, kromun su ve oksijen ile oda sıcaklığında reaksiyonu sayesinde pasif film yeniden oluşmaktadır. Pasif filmin stabilitesi, paslanmaz çeliğin korozyona karşı faktörünün belirlenmesini sağlamaktadır. Paslanmaz çeliğin korozyon direnci temizlik ve dezenfektasyon işleminden sonra çok önemlidir. Paslanmaz çelik malzemeler temizlenirken, yüksek alkalın veya asidin kullanıldığı koşullarda mükemmel hijyenik şartlar sağlanmış olur [10].



Şekil 2.6 Asidik depolama uygulaması

Gıda sektöründe çoğunlukla 304 ve 316 sınıf paslanmaz çelikler tercih edilmektedir. Anti bakteriyel temizlemenin çeşitli temizleme proseslerine tabii tutulan sistemlerde 304 kalite paslanmaz çelik yerine 316 kalite paslanmaz çelik kullanılmaktadır [9].

Mimari ve inşaa sektörü; kaplama, çatı ve cephe sistemlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanılan bir alan haline gelmiştir [9]. Paslanmaz çelikler 70 yılı aşkın süredir Britanya ve Avrupa tarafından başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [11]. Düşük bakım giderleri, yüksek korozyon direnci, herhangi bir koruma gerektirmemesi ve yüksek servis ömrü sebebiyle, paslanmaz çelik sokak mobilyalarında ve yapılarda sıkça kullanılmaya başlanmaktadır [9, 11]. Paslanmaz çelikler, konstrüksiyonlarda sıkça tercih edilmektedir. Betonarme yapılar ilk kullanıldığında karbon çeliğinin, kireçtaşı elde edilen alkalın ile pas yapmayacağı düşünöldü. Ancak köprülerde tuzlu kumun

kullanılması pH oranını değiştirerek paslanmaya sebep olarak betonda çatlaklara ve deformasyonlara sebep olmaktadır. Paslanmaz elik inşaat demiri, başlangıçta pahalı olmasına rağmen ömür kıyaslamasında iyi bir maliyet sonucuna ulaşılmaktadır [9]. Paslanmaz elik kullanımıyla yapının ömrü boyunca herhangi bir iyileştirici operasyon veya yenileme önlemi alma gereksinimi oluşmamaktadır [11].

Paslanmaz eliklerin yapılarda kullanılmasına dair birçok örnek verilebilir. Gergi sistemi bunlardan biridir. Gergi sistemi konstrüksiyon ve binalarda yapısal eleman olarak aratarak kullanılmaktadır. Gergi sistemleri, bir noktada çubukların birleştirilmesi mantığıyla basit durumdan karmaşık sistemlere kadar birçok Şekilde kullanılmaktadır [11].



Şekil 2.7 Gergi sistemi [11]

Paslanmaz eliğin yapılarda kullanımına bir diğer örnekte, zemin plakası ve kafes yapılarıdır. Bu rnler korozif ortamın olduğu, hijyenin önem kazandığı ve dayanıklılığın gerektiği durumlarda kullanılmaktadır. Kimyasal ortamlarda, deniz mühendisliğinde, ilaç sanayi ve gıda sektöründe bu tarz zeminlere ihtiyaç duyulmaktadır [11].



Şekil 2.8 Zemin uygulaması [11]

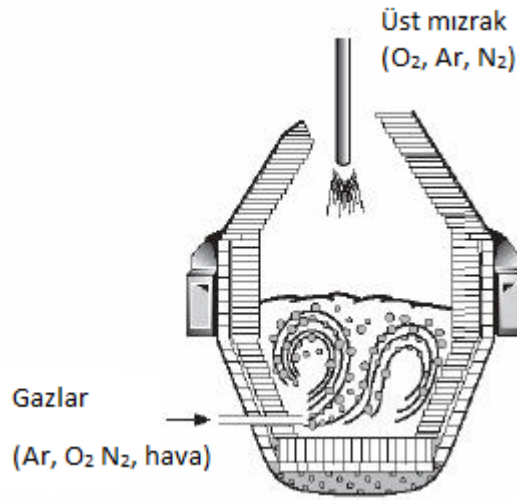
Otomotiv sektörü de paslanmaz çeliğin aratarak kullanıldığı diğer bir endüstri dalıdır. Öncelikle eksoz sistemlerinde 409 kalite olmak üzere, katalitik konverterlerde ve yapısal donanım olarak kullanılmaktadır. En önemli avantajları olan bakım gerektirmeden ve maliyet ömür çevrimindeki faydası, paslanmaz çeliği otomotiv sektöründe ön plana çıkarmaktadır [9].

#### **2.4 Paslanmaz Çeliğin Üretim Yöntemleri**

Paslanmaz çelik üretimi büyük yatırım ve uzmanlık gerektiren bir teknolojidir. Bu çeliklerin ergitme ve arıtma işlemleri genellikle "Elektrik ark ocağı/Argon oksijen karbon giderme" yöntemleriyle yapılır. 1970' li yıllarda geliştirilen ve dünyada paslanmaz çelik üretiminin %80' inin gerçekleştirildiği yöntem sayesinde, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve kalitenin yükseltilmesi mümkün olmuştur [12]. Paslanmaz çeliklerin üretiminde döküm yöntemi toz metalürjisi ve dövme yöntemleri kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik üretiminde, hurda eritme (EAF) ve elektrik ark ocaklarında ferroalaşım ilavesini (AOD) takip eden, argon oksijen dekarbürizasyon işlemi ile karbon içeriğini ayarlama ve kirlilikten arındırmayı amaçlayan iki aşama bulunmaktadır. EAF/AOD yönteminin en büyük avantajlarından biri boyutudur. EAF 22.5 ton toz üretebilmektedir. EAF/AOD yönteminin temel avantajlarından biri de dekarbürizasyondur. AOD işlemi krom üzerindeki karbonun tercihli oksidasyonuna izin verir [13]. Eritme ve rafine adımları, alternatif olarak vakum indüksiyon eritme, vakum ark eritme, elektro eritme ve elektron demeti eritme aşamalarını içermektedir [5].

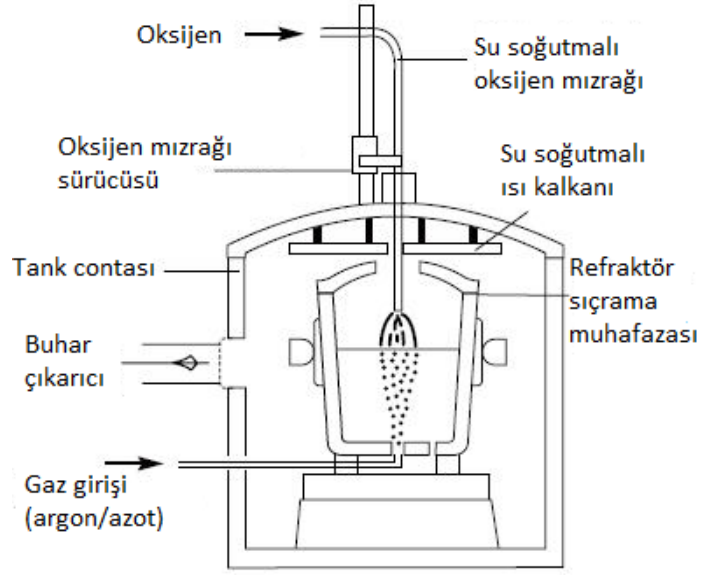
## Ergitme/Aritma

Ergitme işleminin yapılacağı bazık astarlı elektrik ark ocağına uygun paslanmaz çelik hurdası, karbon çelik hurdası, ferrokrom alaşımları ve gerektiğinde nikel ve molibden gibi alaşım elementleri yüklenir. Dikkatlice tartılan ve özel kasalarda çelikhaneye taşınan malzemeler, ergitme ocağına konmadan önce belirli bir süre kurutma fırınında tutulur. Ardından malzemeler alaşımlanmanın yapıldığı elektrik ark ocağında ergitilir. Bu üretimde en önemli adım “Argon Oksijen Karbür Gidericisi”nde yapılan işlemdir (AOD) [12].



Şekil 2.9 Şematik AOD dönüştürücü [15]

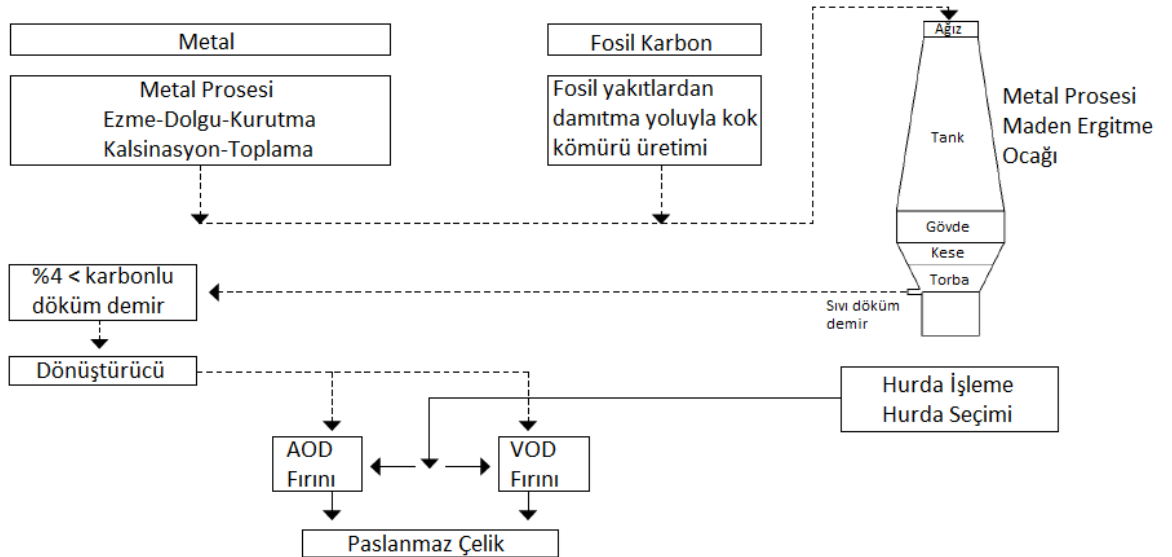
Bu aşamada demir malzeme içerisine krom ilavesiyle malzeme kromlu metale dönüştürülür. Bu durumda malzeme tam anlamıyla kimyasal olarak paslanmaz çeliğe dönüştürülmektedir [14]. Önce oksijen ve argon gazları eriyiğe yan memelerden ve üstten üflenir [12]. Bu sayede sıvı eriyik AOD yöntemiyle rafine edilmektedir (hızlı ve paslanmaz çeliklerde sıklıkla kullanılan ucuz bir prosestir) [14]. Bu aşamada alaşımın bileşimindeki karbon yakılarak %0.01 ile %0.04 arasında karbon değerleri elde edilir [12, 15]. Krom oksitlenmeye hassas olduğundan, bu sırada bileşimdeki kromun bir kısmı da cürufa geçer. Bu nedenle alaşıma kromun katılması büyük oranda karbür gidermenin tamamlanmasından sonra yapılır [12]. AOD yöntemine alternatif olarak VOD yöntemi de kullanılabilir [13].



Şekil 2.10 Vakum Oksijen Dekarbürizasyon (VOD) ünitesi [15]

Bu yöntem sadece paslanmaz çelik üretiminde değil diğer alaşımlarda da kullanılabilir. AOD + VOD kombinasyonunun kullanılmasıyla karbon seviyesini %0.005' e düşürmek mümkündür [14]. Üçüncü aşamada ise alaşımdaki kükürt oranı düşürülür [12].

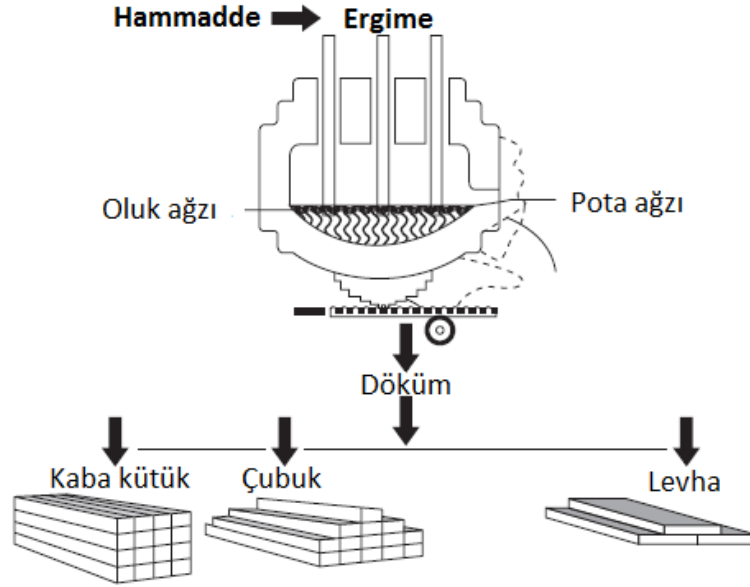
Bileşim ve sıcaklık istenilen seviyeye ulaştığında, eriyik döküm potasına aktarılır ve son ayarlamalar yapılır. Bu aşamada da alaşıma bazı elementler ilave edilir ve eriyiğin homojenleştirilmesi argon gazı üflenerek sağlanır [12].



Şekil 2.11 EAF/AOD-VOD işlem şeması [14]

## Sürekli Döküm

Hazırlanan alaşım potadan bir tava aracılığıyla katılaştırmanın başladığı su soğutmalı bir bakır kalıp içine dökülür. Katılaştıran yassı kütük, bükme ve düzeltme merdanelerinin bulunduğu kısma aktarılır ve bu işlem sonunda malzeme alev ile istenen boya kesilir. Bu teknoloji ile çeliğin kütük halinde kesintisiz olarak dökülmesi mümkündür [12].



Şekil 2.12 Paslanmaz kütük elde edilmesi [16]

## Taşlama

Döküm sırasında kütük yüzeylerinde çeşitli kusurlar ortaya çıkabilir. Bekletilerek soğutulan yassı kütüklerin yüzey kusurları değişik ebatlardaki taşlama tezgahlarında yerel olarak veya yüzey tamamen taşlanarak giderilir [12].

## Sıcak Haddeme

Paslanmaz çelikler, ekstrüzyon, haddeme ve dövme gibi sıcak şekillendirme yöntemleriyle kolayca şekillendirilerek yarı mamul olarak elde edilebilmektedir. Martenzitik ve ferritik çelikler için dövme ve haddeme sıcaklığı 900 ve 1100 °C arasında olmalıdır. Parçalar 750-700 °C sıcaklığında olduğu zaman ferritlerin sıcak işlemlerinin tamamlanması tavsiye edilir. Martenzitikler için sıcaklık 900 °C' nin altında olmamalıdır, bu sıcaklığın üstünde malzeme, çatlakları önlemek için yavaşça soğutulmalıdır [14].

Östenitik çelikler martenzitik ve ferritik çeliklerden daha düşük ısı iletkenliğe sahiptir. Östenitiğin sertleşmesi ve çatlakların önlenmesi için daha uzun tekrar ısıtma süreleri ve 900 °C' nin altında bitirilmemesi tavsiye edilir [14].

Sıcak haddeleme öncesinde ilk işlem yassı kütüklerin konveyörlü fırında ve koruyucu atmosferde 1250 °C sıcaklığa ısıtılmasıdır. Kaba haddeleme ile malzeme kalınlığı yaklaşık 25 mm' ye indirilir. Bu işlem sonrası malzemenin sıcaklığı 1100 °C civarındadır. Kaba haddeleme sonucunda uzunluğu artan yassı ürün, bobin halinde sarılır ve ileri-geri haddeleme işlemleri ile malzeme kademeli olarak inceltir. Rulo sarıcılar 950 °C sıcaklıkta bulunan özel fırınlar içine yerleştirilmişlerdir. Dörtlü ve altılı merdane grupları yardımıyla yapılan bu haddelemede kalınlık hassas olarak kontrol edilir. Malzemenin istenilen kalınlığa ulaştığı son pasodan sonra sıcak sac bir soğutucu içinden geçirilerek rulo sarıcıya beslenir. Paslanmaz çeliklerin sıcak haddeleme sonrasında pazarlandıkları enderdir, dolayısıyla sıcak haddelenmiş bu yarı mamul genellikle bir sonraki işlemler dizisi için soğuk haddeleme ünitesine aktarılır [12].

Ekstrüzyon genellikle haddeleme ile elde edilemeyecek karmaşık şekiller için kullanılan bir yöntemdir. Malzemenin kalıp içine akıtılmasıyla gerçekleştirilir. Paslanmaz çeliklere uygulanan basınç aynı boyuttaki diğer karbon veya çeliklere uygulanan basınçtan daha büyük olmalıdır [14].

### **Tavlama ve Asit Banyosu**

Bu aşamada tavlama ısı işlemi ile çeliğin yumuşatılması ve iç yapısının homojenleştirilmesi, asit banyosu ile yüzeylerin temizlenmesi işlemleri gerçekleştirilir. Soğuk haddeleme öncesinde yapılan en son işlem, sıcak haddeleme ve diğer işlemlerden kalma yüzey kusurlarının taşlama hattında giderilmesidir [12].

### **Soğuk Haddeleme**

Soğuk haddeleme sürecinde paslanmaz çelik sac, ileri-geri hareket özelliğine sahip hadde tezgahında birbiri ardına uygulanan pasolar ile inceltirerek, kalınlıkta %80' e varan azalmalar sağlanabilir. Haddelenmeye devam etmek, yani parçayı daha fazla inceltmek gerekiyorsa, bir ara tav yapılması, yüzeyin tekrar asit banyosunda temizlenmesi ve ancak daha sonra yeniden haddelemeye devam edilmesi gerekir [12].

## **Bitirme**

Yüzey bitirme işlemleri paslanmaz çelikler için önemli bir durumdur. Aşağıdaki bir veya birkaç nedenden dolayı yüzey işlemlerinin malzemeye uygulanması gerekmektedir.

1-Görünüm

2-Süreci kolaylaştırması

3-Korozyon direnci

4-Pürüzlü yüzeyler için yağlamayı kolaylaştırması

5-Üretim adımlarından sonraki yüzey şartlarını iyileştirmek [16]

Zımparalama veya kuşlama, sert paslanmaz çelik parçacıklar veya durgun ve küçük taneler kullanılarak yapılır. Kuşlama östenitik paslanmaz çeliklerde sert bir yüzey tabakası elde etmek için kullanılmaktadır.

Taşlama, aşındırıcı kullanılarak metal üzerindeki ince tabakayı aşındırma şeklinde uygulanmaktadır. Aşındırmanın temel fonksiyonu, oksit gibi zararlı maddeleri kaldırmak veya kaynak gibi durumlarda oluşmuş aşırı pürüzlülüğü yok etmek için kullanılmaktadır.

Parlatma, yüzeylere estetik ve dekoratif görünüm vermek amacıyla yapılmaktadır. Genelde uygun tane yapısıyla zımparalama pürüzsüz yüzey elde edilmesini sağlar. Son bitirme işlemi için 320/400 tane boyutlu uygulama tavsiye edilmektedir. Sıcak haddelenmiş paslanmaz çelik için ise bu değer 36/40 olarak belirtilmektedir.

Fırçalama, diğer aşındırma ile arındırma yöntemidir fakat taşlama ve zımparalamadan daha hassas bir yöntemdir. Krom yüzeyinin kalktığı kaynak dikişi gibi yüzeylere uygulanmaktadır. Mikrofiber kayışlar, tamponlar ve saclarla uygulanabilmektedir.

Polisaj, malzeme kaldırmaya yönelik değildir fakat parlak ve pürüzsüz yüzeyler elde edilmek amaçlanmıştır. Polisaj, pamuk veya keçe mop kullanılarak yapılmaktadır [14].



## 2.5 Paslanmaz Çeliklerdeki Alaşım Elementleri

Her bir alaşım elementi paslanmaz çeliğin özellikleri üzerinde özel etkilere sahiptir. Hepsinin etkileri belirli derecelerde kombine edilerek, belli bir paslanmaz sınıfının özellikleri tayin edilir. Neden farklı paslanmaz sınıflarının olduğunu anlamak için farklı alaşım elementlerinin bileşimlerine sahip olduğunu, onların yapı ve özellikler üzerindeki etkilerinin incelenmesi yardımcı olacaktır [3]. Aşağıda paslanmaz çeliklerde bulunan alaşım elementleri özellikleri ve paslanmaz çeliğe olan etkileriyle beraber incelenmiştir.

### **Krom (Cr)**

Krom paslanmaz çelikteki en önemli alaşım elementlerinden biridir [3]. Krom oksijeni soğurarak, çelik yüzeyinde  $Cr_2O_3$  bileşiminden oluşan pasif bir tabaka oluşturur ve bu tabaka malzemeyi korozyona karşı korur [14, 16]. Malzeme içerisindeki Cr miktarı minimum %12 olduğu sürece pasivizasyon oluşur [17]. Krom, kübik merkezli ferritik bir yapı oluşumunu teşvik etmektedir [3, 16]. İstenilen östenitik fazı stabilize etmek için diğer alaşım elemanları ilave edilmelidir [16].

### **Nikel (Ni)**

Nikel ilavesinin temel amacı östenitik yapı oluşturmaktır [3]. Oluşturulan bu yapı sayesinde mükemmel süneklik, sıfırın altı sıcaklıklarda dahi yüksek tokluk, iyi termo mekanik dayanım, iyi derecede kaynak edilebilirlik ve asidik şartlarda iyi bir korozyon direnci elde edilir [3, 14]. Çökelme sertleşmesi gösteren çeliklerde, Nikel dayanımı arttıran intermetalik bileşikler oluşturmak için kullanılır [16]. Nikel, içeriği %4 olduğu zaman ısıtma esnasında faz geçişi olmaktadır. Bu durum martenzitik tavlama sırasında olmaktadır. Nikel içeriği %20' nin altında olduğu zaman martenzitik tavlama, hava soğutmayla mümkün olmaktadır. Nikel içeriği %30' un üstünde olduğunda ise gerilmeli korozyona karşı iyi bir dayanım elde edilir [14].

### **Molibden (Mo)**

Molibden, genel veya lokal olarak korozyon direncini önemli ölçüde artırır [3]. Molibden yüksek sürünme direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı sağlamak için de ilave edilmektedir [17]. Östenitlere ilave edildiğinde ortam sıcaklığında dahi kararlı

olmasını sağlar. %2-3 oranında östenitik AISI 304 çeliğe ilave edildiğinde yüksek klorürlü ortamlarda pasif filmin kararlılığının artmasını sağlar. Sülfirik asit, fosforik asit ve klorik asidin bulunduğu ortamlarda kullanılan östenitik çeliklerde molibden ilavesi %52' ye kadar olabilir [14]. Molibden, ferritik, ferritik-östenitik ve östenitik çeliklerde ikincil fazın oluşumunu teşvik eder. Martenzitik çeliklerde yüksek temperleme sıcaklıklarında karbür çökmesine rağmen sertliğin artmasını sağlar [3].

### **Bakır (Cu)**

Bakır artan oksitleyici ortamlarda paslanmaz çeliğin korozyon direncini arttırmak için kullanılır [17]. Çökme sertleşmesi gösteren çeliklerde, bakır dayanımın artmasını sağlayan intermetalik bileşiklerin oluşumu amacıyla da kullanılmaktadır [3].

### **Mangan (Mn)**

Normalde paslanmaz çeliklerde %2' yi aşmamaktadır ve mangan alaşım elemanı olarak düşünülmemektedir [14]. Sıcak sünekliği arttırmak için kullanılmaktadır. Östenit/ferrit üzerindeki etkisi sıcaklıkla değişmektedir. Düşük sıcaklıklarda mangan östenit dengeleyicidir. Fakat yüksek sıcaklıklarda ferrit dengeleyicidir [3].

### **Silisyum (Si)**

Silisyum, ısıya dayanıklı çeliklerde kullanılmaktadır (Cr>%20, Ni %20, Si %1 ve geleneksel paslanmaz çeliklerdeki karbon seviyesinden daha fazla karbon) [14]. Silisyum oksidasyon direncini, yüksek sıcaklıklarda ve düşük sıcaklıklarda güçlü oksitleyici durumlarda artırır [3]. Ferritik bir yapının oluşmasını teşvik eder. Yüksek sıcaklık çeliklerin karbürasyon direncini arttırmak için de kullanılır [17]. Silisyum, çukurcuk korozyonuna karşı direnci düşürür fakat molibden ile kombine edildiğinde arttırmaktadır [14].

### **Karbon (C)**

Karbon, güçlü bir östenit yapıcıdır [3]. Mekanik özelliklerin artmasını sağlamaktadır. Krom oranı %10' u aştığında, karbon çeşitli karbürler oluşturarak termo-mekanik direnç, genel korozyon direnci ve taneler arası korozyon direncinin artmasını sağlar [14]. Karbon, krom karbürlerin oluşumunu engellemek için düşük seviyelerde tutulmalıdır (316L' deki L düşük karbon oranını göstermektedir). Eğer yeterli karbon

varsa östenitik paslanmaz çelikler 415 °C ve 815 °C sıcaklık değerleri arasında tutulursa krom karbürler oluşur. Karbürler tercihen tane sınırları boyunca oluşmaktadır [16]. Ferritik paslanmaz çeliklerde karbon, tokluk ve korozyon direncini düşürmektedir. Martenzitik ve martenzitik-östenitik çeliklerde karbon sertliğin ve dayanımın artmasını sağlamaktadır [3].

### **Azot (N)**

Yüksek nikel oranı, tane büyümesini yüksek sıcaklıklarda minimize etmekte kullanılır [17]. Östenitik çeliklerde delta ferrit oluşumunu engelleyerek kararlı östenitler oluşturmaktadır. Gerilme dayanımı (R) ve akma gerilmesini ( $R_p$ ) arttırmaktadır [14]. Ayrıca ferritik paslanmaz çeliklerde tokluğu ve korozyon direncini düşürmektedir. Azot, molibdenle birlikte korozyon direncini arttırmaktadır. Martenzitik ve martenzitik-östenitik çeliklerde azot, sertlik ve dayanımı arttırmakta fakat tokluğu düşürmektedir [3].

### **Titanyum (Ti)**

Östenitik paslanmaz çeliklerde ısıtma işlemi ve kaynak esnasında 480-820 °C aralığında krom karbürlerin zararlı çökelmelerine karşı kullanılır [14, 17]. Östenitik çeliklerde taneler arası korozyona karşı direnci arttırmaktadır. Ferritik paslanmaz çeliklerde, tokluğu ve korozyon direncini iyileştirmek için kullanılır. Martenzitik çeliklerde titanyum, martenzit sertliğini düşürür ve tavlama direncini artırır [3].

### **Niyobyum (Nb)**

Niyobyum da titanyum gibi östenitik paslanmaz çeliklerde ısıtma işlemi ve kaynak esnasında 480-820 °C aralığında krom karbür çökmesini engellemektedir [17]. Östenitik çeliklerde taneler arası korozyon direncini arttırmak için kullanılır. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri iyileştirir. Martenzitik çeliklerde sertliği düşürür ve tavlama direncini artırır [3].

### **Alüminyum (Al)**

Alüminyum yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direncini artırır ve oksit oluşumunu azaltır. Nikel ile kombine edildiğinde çökelme sertleşmesi için olan intermetalik bileşik oluşturur [14].

### **Kobalt (Co)**

Kobalt sadece martenzitik çeliklerde kullanılmakta ve özellikle yüksek sıcaklıklarda tavlama direncini ve sertliği arttırmaktadır [3].

### **Vanadyum (V)**

Östenitik çeliklerde termo-mekanik özellikleri iyileştirmek için kullanılmaktadır [14]. Vanadyum, martenzitik çeliklerde sertliği ve tavlama direncini arttırmaktadır. Vanadyum ferriti kararlı hale getirmekte ve yapıdaki ferriti teşvik etmektedir. Sadece sertleştirilebilen çeliklerde kullanılmaktadır [3].

### **Kükürt (S)**

Kükürt belirli paslanmaz çeliklere ilave edilerek işlenebilirliği arttırmaktadır [3]. Bu çeliklere örnek olarak AISI 303 kalite çelik verilebilir. Takım ile talaş arasındaki sürtünmeyi düşürmektedir [14]. Belirli seviyelerde kükürt, korozyon direncini, sünekliği, kaynak edilebilirliği ve şekillendirebilme gibi fabrikasyon özelliklerini düşürmektedir [3].

### **Seryum (Ce)**

Seryum yeryüzünde nadir bulunan metallere dendir. Yüksek sıcaklık korozyonu ve oksidasyon direncini arttırmak için düşük miktarlarda ilave edilir [3].

### **Kalsiyum (Ca)**

Kalsiyum paslanmaz çeliklere işlenebilirliği kolaylaştırmak için ilave edilmektedir [14].

### **Manganez (Mn)**

Normalde manganez %2' den fazla olmamaktadır. Manganez bir alaşım elemanı olarak ele alınmamaktadır [14].

### Selenyum (Se)

Selenyum, kükürt yerine kullanılarak işleme esnasında talaş kırılmasına olanak sağlar. Yüzey temizliği ve sertlikte kükürt kadar zararlı değildir. Yüksek miktarda toksit oluşturması nedeniyle şu anda kullanılmamaktadır [14].

### Tungsten (W)

Belirli östenitik çeliklere ilave edilerek termo-mekaniksel özelliklerin artmasını sağlamaktadır [14].



Şekil 2.13 Çeşitli elementler [14]

Şekil 2.14’de paslanmaz çelik çeşitlerinde kullanılan alaşım elemanlarına bağlı olarak malzemelerin sahip oldukları gerilme değerleri gösterilmektedir.

| SAE/AISI                                  | % Miktar    |           |      |       |           |        | Diğer        | Kopma Dayanımı |
|---|-------------|-----------|------|-------|-----------|--------|--------------|----------------|
|   | Cr          | Ni        | Mn   | Mo    | C(mx)     | Si(Mx) |              |                |
| <b>Feritik</b>                            |             |           |      |       |           |        |              |                |
| 405                                       | 11.5 - 14.5 | -         | 1.0  | -     | .08       | 1.0    | .1 - .3 Al   | 413 MPa        |
| 409                                       | 10.5 - 11.7 | -         | 1.0  | -     | .08       | 1.0    | .48 - .75 Ti | 379 MPa        |
| 430                                       | 16.0 - 18.0 | -         | 1.25 | -     | .12       | 1.0    | .6 Mo        | 413 MPa        |
| <b>Östenitik</b>                          |             |           |      |       |           |        |              |                |
| 304                                       | 18 - 20     | 8 - 12    | 2    | -     | .08       | 1      |              | 586 MPa        |
| 304L                                      | 18 - 20     | 8 - 12    | 2    | -     | .03       | 1      |              | 551 MPa        |
| 316                                       | 16 - 18     | 10 - 14   | 2    | 2 - 3 | .08       | 1      |              | 586 MPa        |
| 316L                                      | 16 - 18     | 10 - 14   | 2    | 2 - 3 | .03       | 1      |              | 537 MPa        |
| 321                                       | 17 - 19     | 9 - 12    | 2    | 2     | .08       | 1      | .4Ti min     | 599 MPa        |
| <b>Martenzitik</b>                        |             |           |      |       |           |        |              |                |
| 410                                       | 11.5 - 13.5 | -         | 1.0  | -     | .15       | 1.0    |              | 689 MPa        |
| 420                                       | 12.0 - 14.0 | -         | 1.0  | -     | .15       | 1.0    |              | 1723 MPa       |
| 440C                                      | 16.0 - 18.0 | -         | 1.0  | .75   | .95 - 1.2 | 1.0    |              | 1930 MPa       |
| <b>Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilen</b> |             |           |      |       |           |        |              |                |
| 15-5 PH                                   | 14.0 - 15.5 | 3.5 - 5.5 | 1.0  | -     | .07       | 1.0    | Cu & Nb      | 1310 MPa       |
| 17-7 PH                                   | 16.0 - 18.0 | 6.5 - 7.5 | 1.0  | -     | .09       | 1.0    | .7 - 1.5Al   | 1447 MPa       |
| <b>Duplex</b>                             |             |           |      |       |           |        |              |                |
| 329                                       | 23.0 - 28.0 | 2.5 - 5   | 1.0  | 1 - 2 | .20       | .75    |              | 620 MPa        |

Şekil 2.14 Paslanmaz çelik alaşımlarının gerilme değerlerine etkileri [18]

## 2.6 Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir [12]. Paslanmaz çeliğin, özelliklerinin belirlenmesinde en önemli alaşım elemanı krom gibi görünse de molibden, nikel ve diğer alaşım elemanlarıyla çeliğin özellikleri geliştirilebilir [19]. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama ile değişik olumlu etkiler sağlanabilir [12].

200' den fazla paslanmaz çeşit sınıfı bulunmaktadır. Her bir paslanmaz çelik türü, farklı alaşım elemanlarının, farklı miktarlarda ilave edilmesiyle farklı korozyon direnci, ısı dayanım, mekanik özellik ve diğer özelliklerin oluşturulmasıyla elde edilmektedir. 5 temel paslanmaz çelik ailesi bulunmaktadır. Bunlar mikro yapılarına göre farklılık göstermekle beraber;

1-Östenitik paslanmaz çelikler

2-Ferritik paslanmaz çelikler

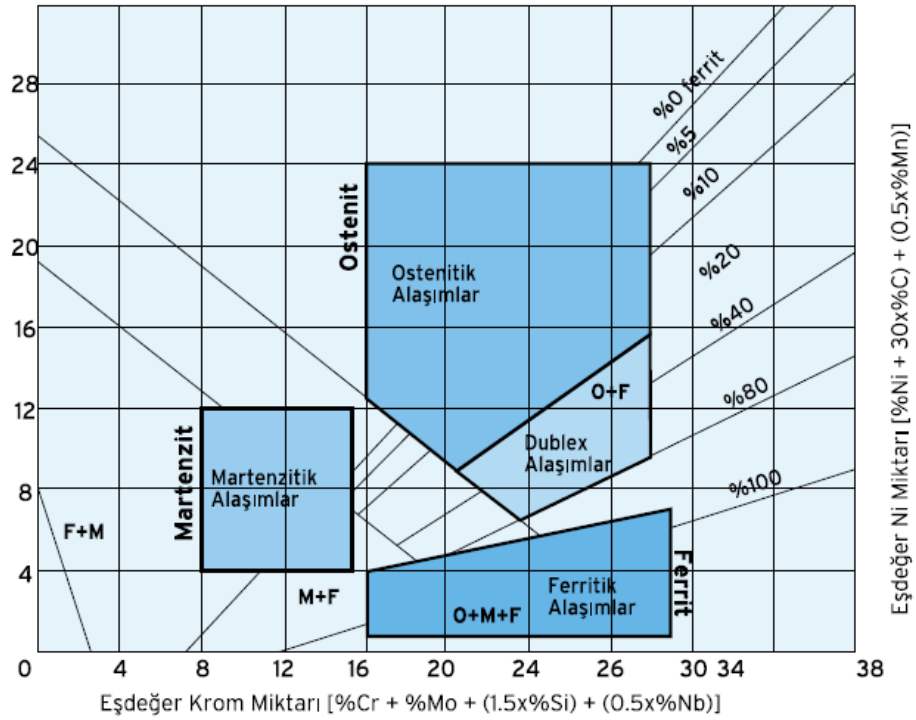
3-Martenzitik paslanmaz çelikler

4-Çift fazlı paslanmaz çelikler

5-Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler (PH) şeklinde sınıflandırılmaktadır [20].

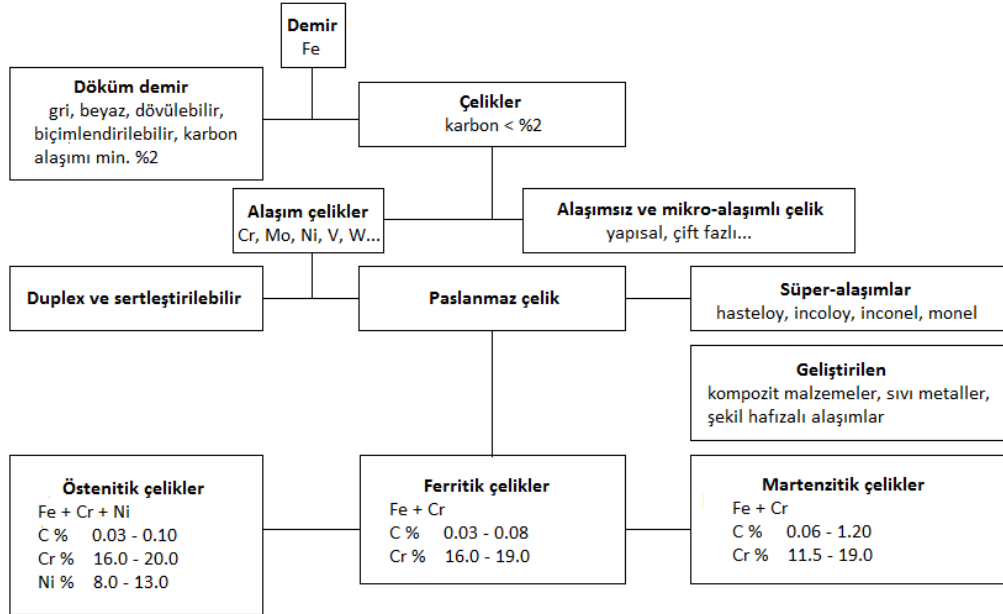
Sınıflandırmadaki östenitik, ferritik ve martenzitik ifadeleri baskın mikro yapıyı ifade etmektedir [3].

Paslanmaz çeliklerde iç yapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel iç yapının ferritik veya östenitik olmasını belirler. Schaeffler diyagramı çeşitli paslanmaz kalitelerinin bileşim açısından yerini gösterir. Ferrit stabilizatörleri; ferrit faz alanını genişleten silisyum, krom, molibden, vanadyum, niyobyum ve titanyum gibi karbür oluşturan metallere dir. Östenit stabilizatörleri ise; östenit faz alanını genişleten nikel, mangan, karbon ve azot gibi elementlerdir [12].



Şekil 2.15 Schaeffler diyagramı [12]

Daha önce de bahsedildiği gibi çeliğin ihtiva ettiği C-Cr ve Ni oranı paslanmaz çeliğin sınıflandırılmasında önem arz etmektedir. Aşağıdaki tabloda bu alaşım elemanlarının sınıflandırmadaki yerini görebiliriz.



Şekil 2.16 Paslanmaz çelik için C-R ve Ni etkileri [14]

### 2.6.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler alaşımları ve kullanım alanları bakımından en fazla tercih edilen çelik türü olmaktadır [5]. İçerisinde krom ve nikel barındıran östenitik çelikler, 300 serisi östenitik paslanmaz çeliklerdir. 200 serisi paslanmaz çelikler ise krom ve nikelin yanı sıra içerisinde manganez de barındırmaktadır [21].

200 serisi çelikler, soğuk şekillendirmeye 300 serisi çeliklere göre daha fazla dayanım gösterirler. Bu çeliklerle beraber birtakım harfler de anılmaktadır. Bu harfler malzemenin belirli özelliklerine işaret etmektedir. Bunlar:

H: Bu çelik türü 0.006 B ve 0.15 Nb içermektedir ve sürünme direnci özelliğine sahiptir.

Se: İçerisinde %0.15 Se içermektedir ve işlenebilme özelliği vardır.

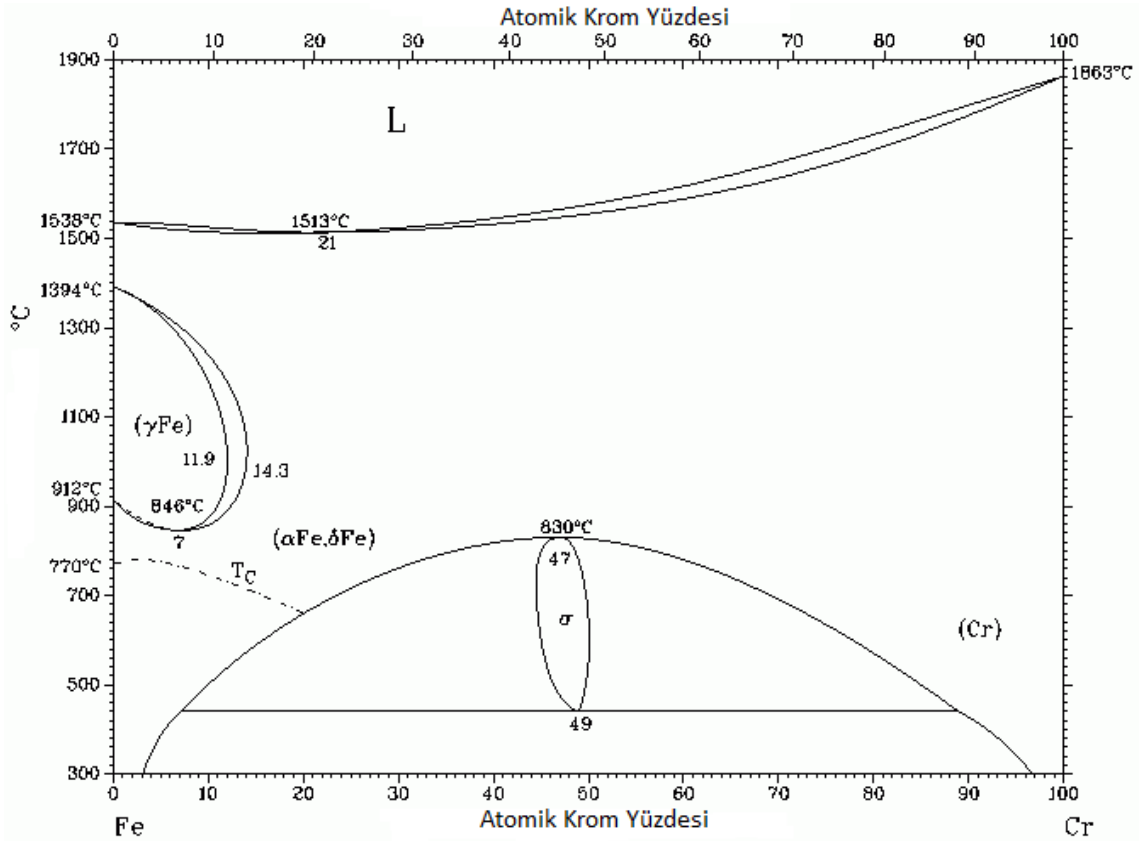
L: Maksimum %0.03 C içermektedir.

N: Bu tür çelikler içerisinde %0.2 azot içermektedir. Bu sayede çekme dayanımı değeri 50 ve 130 MPa olmaktadır.



Ti veya Nb: İçerisinde C ile kombine edilmiş Ti veya Nb içermektedir [21].

Aşağıdaki grafikte Fe-Cr diyagramı gösterilmektedir. Malzemeye başka alaşım elementleri ilave edilmediğinde ve Cr içeriği %16' ı aşana kadar oda sıcaklığında malzemenin mikro yapısı tamamen ferrittir. İlave edilecek olan Ni, Mn, C ve N alaşım elementleri malzemenin östenitik bölgeye ulaşmasını sağlayacaktır. Bu alaşım elementleriyle elde edilmiş olan 300 serisi paslanmaz çelikler yüksek sıcaklıklarda ferrit içerebilmektedir [5].

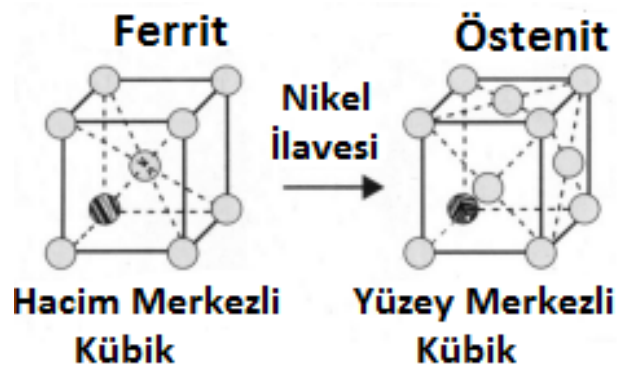


Şekil 2.17 Fe-Cr diyagramı [5]

Östenitik paslanmaz çelikler, yüksek miktarda krom ve nikel içermektedirler [22]. Bu tür çelikler %16 ile %26 arasında Cr, %3.55 ile %37 arasında Ni ve %0.03 ile %0.25 arasında C içermektedir. Bunların dışında malzemeye belirli özellikler kazandırabilmek için molibden, niobyum, titanyum ve tantal gibi alaşım elementleri de ilave edilmektedir [16]. Örneğin mekanik dayanımı arttırmak için azot ve molibden ilavesi yapılmaktadır. Molibden yüksek korozyon direnci sağlamaktadır. Ancak klorür ortamda gerilim altında tehlike oluşturmaktadır [14].

Östenitik paslanmaz çeliklerdeki alaşım elemanları birçok değişik varyasyonlarda kullanılmaktadır. En çok kullanılan alaşım oranı ise %18 Cr ve %8 Ni şeklinde olanıdır. Bu çelikler çoğunlukla 18/8 (AISI 304) çelikler olarak bilinmektedir. Bu tür çelikler su verme ile sertleştirilememektedir. Aslında bu çelikler 1100 °C' den hızlı soğutularak yumuşatırlar. Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özellikler ve yüksek korozyon direnci göstermektedirler [22].

Östenitik paslanmaz çelikler, yüzey kübik merkezli yapısı sayesinde aynı Cr oranına sahip ferritik çeliklere göre daha iyi bir korozyon direnci göstermektedir [23].



Şekil 2.18 Östenitik çeliğin kristal yapısı [24]

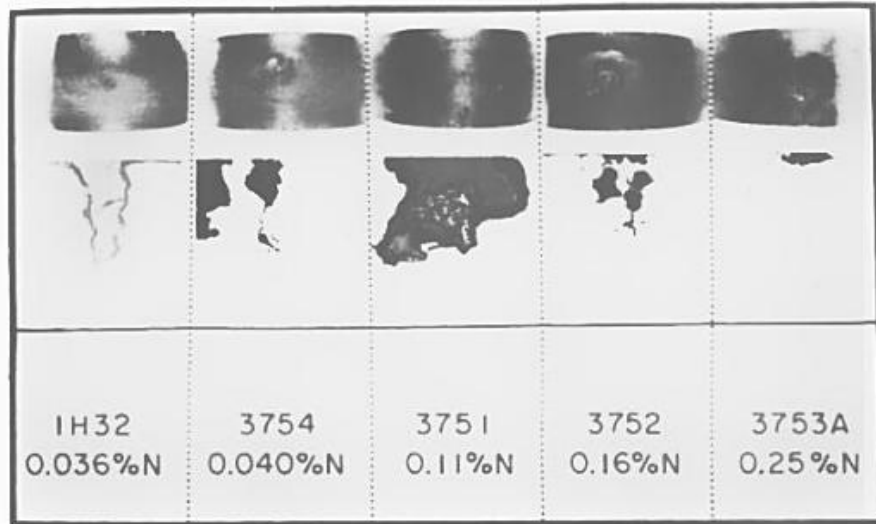
Toplam paslanmaz çelik üretimi içerisinde östenitik çeliklerin payı %70' tir ve en çok kullanılanı 304 kalitedir. Paslanmaz çelikler manyetik olmayan çeliklerdir [16]. Bu tür çelikler manyetik özellik göstermemelerine rağmen soğuk şekillendirme sonrasında manyetik özellik gösterebilirler [20]. Düşük sıcaklıklarda iyi süneklik göstermektedirler. 310 serisi östenitik paslanmaz çelikler yüksek sıcaklıklarda orta derecede uygunluk göstermektedir [16]. Ayrıca iyi kaynak edilebilirlik özelliğine sahiptirler [17]. Östenitik paslanmaz çelikler yüksek aşınma dayanımının yanında yorulma dayanımı, sürünme dayanımı ve 925 °C' den 1150 °C' ye sıcak oksidasyon dayanımı göstermektedir [14]. Östenitik paslanmaz çelikler martenzitik ve ferritik çeliklere göre daha iyi yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci göstermektedir [16]. 304 kalite paslanmaz çelikler, ağırlıklı olarak atmosferik korozif ortamda kullanılmaktadır ve düşük klorür içeren içme suyunu işlemek için kullanılabilir. Diğer taraftan %6 Mo içeren östenitik paslanmaz çelikler, gaz platformu ve deniz petrol boru sistemlerinde kullanıldığına dair çeşitli deneyimler bulunmaktadır [20].

Östenitik paslanmaz çeliklerin, oda sıcaklığında akma değerleri 207 – 1379 MPa arasında, bileşime ve soğuk şekillendirmeye bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Yüksek akma ve gerilme değerlerinde soğuk şekillendirilen östenitik paslanmaz çelikler iyi bir süneklik ve sertlik oluşturarak geniş bir tasarım aralığı sunmaktadır [25].

Daha düşük Nikel alaşımına sahip 301 çeliği, 302 çeliğinden daha hızlı sertleşmektedir. Çünkü östenit stabilitesi azalmaktadır. Bu sayede 302 çeliği daha başarılı şekilde işlenmektedir. 301 çeliğini haddelemek için daha fazla kuvvet gerekmektedir. Bunun yanında 302 çeliğinin içerisinde daha fazla Cr bulunması bu malzemenin korozyona, 301 çeliğine göre daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır [19].

18-8 (AISI 304) çeliğine %2-%4 molibden ilavesiyle korozyona karşı daha dayanıklı, 316 ve 317 çeliği elde edilmektedir. Bu çelik türü tekstil, kimya endüstrisi gibi yüksek miktarda sülfat, klorid ve fosfatın bulunduğu durumlarda tercih edilmektedir. 316 ve 317 türü çelikler, yüksek sürünme değerlerine ve herhangi bir ticari paslanmaz çeliğin kopma mukavemetlerinden daha fazlasına sahiptir [19].

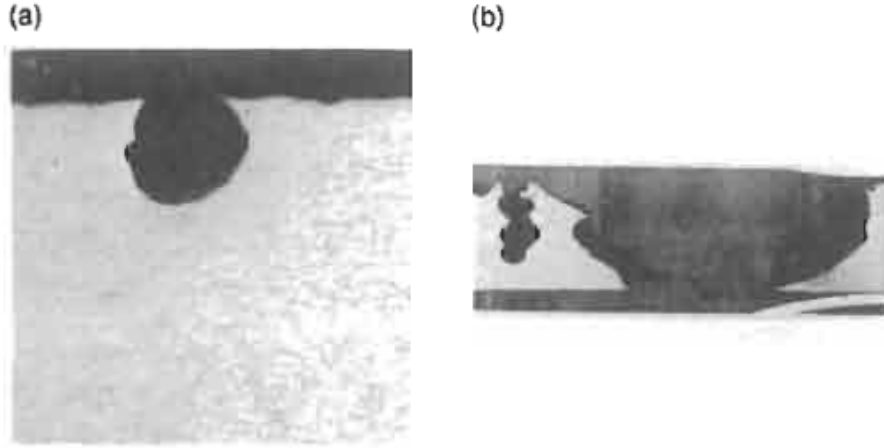
Aşağıda yapılmış olan çalışmada malzemeye azot ilavesiyle sodyum korür ortamda meydana gelen çukurcuk ve gerilmeli korozyon ilerlemesi görülmektedir.



Şekil 2.19 9 ay sonra U şeklinde bükülmüş örnek üzerinde pitting ve gerilmeli korozyonun sodyum klorür asit ortamda kuru-ıslak çevrimi ile meydana gelişi [26]

Yukarıdaki test sonuçları dikkate alındığında azot oranının %0.11' den %0.25' e kadar olduğu durumda çatlak nufuziyetinin hızlanmasına engel olduğu görülmektedir. %0.11 ile %0.25 arasındaki azot oranı çatlak oluşma oranını geciktirmektedir. Azotun, %20 CaCl<sub>2</sub> ortamında uzun hata oluşum sürelerinin ve %5 sodyum klorür ortamında çatlak nufuziyetinin daha az oluşmasının temelini oluşturduğu yapılan deneylerde görülmektedir [26].

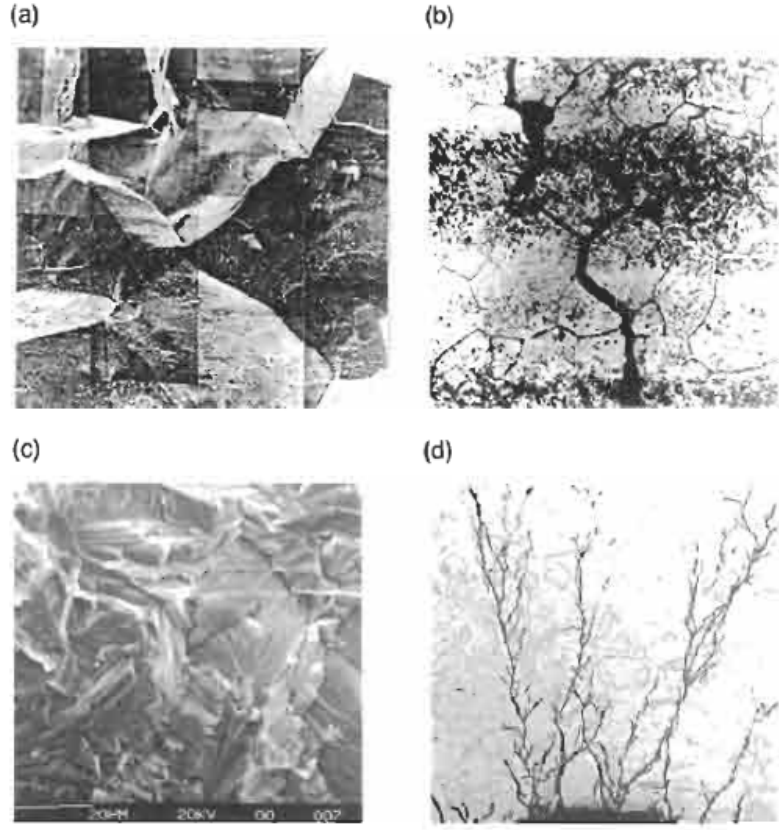
Çukurcuk korozyonu, çukur yüzeylerin bulunduğu korozif ortamlarda meydana gelmektedir. Bu korozyon, kuvvetli asit ortamlarında bulunan durgun alanlarda oksit filminin bölgesel nufuziyet oluşturması durumunda hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Aşağıdaki resimde pitting korozyonunun oluşum anı ve daha sonrası görülmektedir [23].



Şekil 2.20 Çukurcuk korozyonunun oluşumu [23]

Pitting korozyonuna dayanım, östenitik çeliklerde en az %20 krom, %4.5 ve %6 arasında molibden bulunmasıyla sağlanabilmektedir [23].

Gerilme korozyonu ise gerilme durumunun bulunduğu korozif ortamlarda meydana gelmektedir. Korozif ortam genellikle alkali metal halojenür veya hidroksit çözeltisinden meydana gelmektedir. Çatlaklar şekil 2.21(a) ve (b)' deki gibi tane içinde, (c) veya (d)' deki gibi taneler arası şeklinde olabilmektedir [23].



Şekil 2.21 Gerilmeli korozyon oluşumu [23]

Gerilmeli korozyonun büyüme hızı ortam sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır. 20 °C' den 100 °C' ye bir artış korozyonun 500 kat artmasına sebep olmaktadır. Birçok östenitik paslanmaz çeliğin korozyon direnci belirli ortam şartlarında geçerlidir. Eğer sıcaklık tuzlu bir ortamda yaklaşık 40 °C' nin üzerine çıkarsa malzeme yüksek molibden içeren çelikten seçilmelidir [23].

Duyarlı bir paslanmaz çelik, korozif çevre şartlarına maruz kaldığında taneler arası korozyon meydana gelebilir. Taneler arası korozyona direnç göstermek, düşük karbonlu çeliğin pitting korozyonuna, çatlak korozyonuna gösterdiği direnç ile aynıdır. Buda karbon seviyesiyle alakalı olmaktadır. (Genellikle maksimum %0.08 oranındadır) [20]

Şekil 2.22' de östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısını gösteren SEM görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 2.22 Östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [24]

Östenitik paslanmaz çelikler ağırlıklı olarak endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu tür çeliklerin tipik kullanım alanları arasında borulama sistemleri, ısı değıştirciler, tanklar, gıda sektörü için proses ekipmanları, kimya, eczacılık, kağıt, mutfak aksesuarları, taşıma ekipmanları ve petrol ürünleri bulunmaktadır [3, 19]. Molibdensiz çelik sınıfından olan 304 ve 304L, klorür içeren ortamlarda kullanılmamaktadır. Fakat temizliğin ön planda olduğu veya ürünle temasta olunmaması istenilen ekipmanlarda kullanılmaktadır. Düşük alaşımlı çelikler olan 304, 304L, 304N ve 304LN sınıfın altı uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu ürün gruplarına örnek olarak tanklar, ısıtıcılar, buharlaştırıcılar verilebilmektedir [3].

### 2.6.2 Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çeliklerde ki Cr oranı %14 ile %27 arasındadır. Bu tür çelikler ferromanyetik çeliklerdir. Süneklik özellikleri sayesinde kolay çalışabilmeyi sağlamaktadır [16]. İyi korozyon direnci göstermektedirler [3]. Korozyon direnci krom miktarının artmasıyla artış göstermektedir [12]. Korozyon dayanımları martenzitik çeliklerden iyidir. Fakat yüksek sıcaklıklarda martenzitik çeliklerden daha düşük dayanıma sahiptirler [22]. Özellikle gerilmeli korozyon dirençleri oldukça iyidir [3].

Standart 400 serisi paslanmaz çelikler ferritik paslanmaz çeliklerin %11 ile %27 arasında Cr, %0.08 ile %20 arasında C alaşım elementleri ve az miktarda ferrit stabilizatörü olan alüminyum, niobyum ve titanyum ile alaşımlandırılmasıyla oluşmaktadır [5]. Bu tür çelikler rekristalizasyon tavlama sonrasında kullanılmalıdır. Düşük miktardaki karbon oranı sayesinde sertleştirilebilirlik, ısı işlem ile yükseltilememektedir. Çeliğe sıcak işlem sonrasında hava ile soğutma uygulanabilmektedir. Çünkü sertleşme görülmemekte, dolayısıyla ciddi bir gerilme çatlama riski bulunmamaktadır [14].

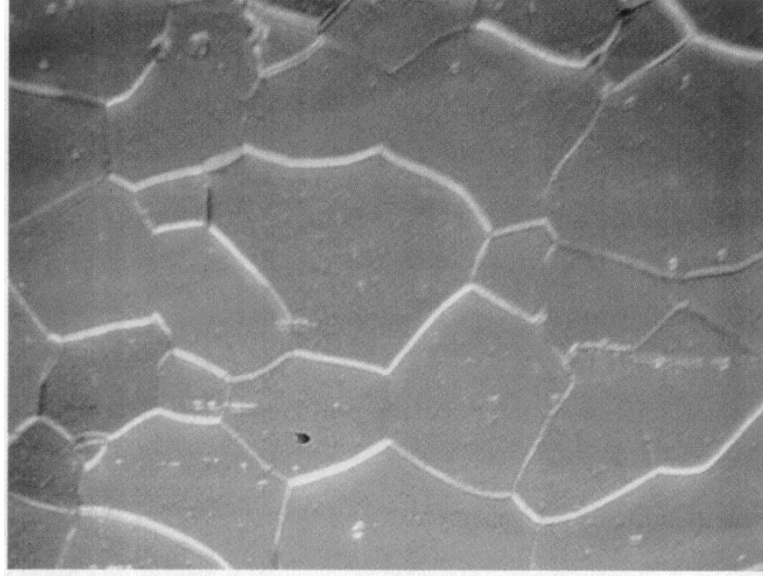
Bu tür çeliklerin sıcak şekillendirilebilmesi için üst limit 850-900 °C arasındadır. 1150 °C' lerde tane büyümesi riski bulunmaktadır [14]. Ferritik çelikler soğuk işlem ile sertleştirilebilmektedir. Soğuk işlem malzemeyi güçlendirerek sünekliğin azalmasına neden olur [16]. Ferritik paslanmaz çeliklerin tavlama sıcaklığından soğutulması, hava veya su ile yapılabilmektedir. Parçalar sıklıkla 593 °C' a kadar fırında soğutulur ardından hızlı soğutma uygulanır. 565 °C' dan 398 °C' a yavaş soğutma işleminden kaçınılmalıdır. Çünkü oda sıcaklığında gevrekleşme durumunun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır [21].

Ferritik paslanmaz çelikleri, kalın plaka halinde imal etmek oldukça zordur. Ağırlıklı olarak sac ve kalıp halinde bulunmaktadır ve hepsi benzer mekanik özellikler göstermektedir. Çekme gerilmesi 415-460 MPa, akma gerilmesi 275-550 MPa, uzama ise malzemenin kalınlığına bağlı olarak %10 ile %25 arasında değişmektedir [23].

Ferritik paslanmaz çeliklerin, tavlama şartlarındaki sertliği azalır. Çünkü krom içeriği artmaktadır. Molibden, sünekliği arttırma eğilimindeyken, karbon sünekliği düşürme eğilimindedir. Ferritik paslanmaz çelikler yapısal eleman olarak kullanılabilir. Bunun yanında mutfak endüstrisi, otomotiv, bagaj kaplamaları, gıda sanayi, kağıt sanayi, ısıtma sistemleri, kimya endüstrisi gibi korozyon dayanımının istendiği yerlerde kullanılabilir [3, 24].

Bazı tür çelikler, molibden içererek klorür ortamdaki korozyon direncini arttırmaktadır. Bu tür çelikler klorür ortamda gerilmeli korozyon çatlama mükemmel derecede dayanım göstermektedirler. Çatlak ve çukurcuk korozyonuna karşı dayanım fonksiyonu ise toplam krom ve molibden içeriğidir [20]. Fiyat olarak östenitik çeliklerden ucuzdurlar [23].

Son birkaç yıldır yeni ferritik paslanmaz çelik türü piyasaya sunulmuştur. Bu çelik türleri, içerisindeki karbon ve azot oranlarıyla karakterize edilmişlerdir [21]. Şekil 2.23’ \*de ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 2.23 Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [24]

Östenitik paslanmaz çeliklerde olduğu gibi ferritik paslanmaz çeliklerde de belirli alaşım elementlerinin ilavesiyle malzemeye çeşitli özellikler kazandırılmaktadır.

### 2.6.3 Martenzitik paslanmaz çelikler

Martenzitik çelikler, aslında FeCrC alaşımlarıdır. Bu tür çelikler hacim merkezli tetragonal yapıya sahiptirler. Martenzitik çelikler %11.5 ile %18 arasında krom ve %1.2’ ye kadar da karbon içerebilmektedir. Vanadyum, silisyum, tungsten ve niobyum sertleştirme işleminden sonra tavlamaı sağlamak için ilave edilmektedir [16].

Karbon miktarı %0.1’ den fazla olan çelikler yüksek sıcaklıklarda ostenitik iç yapıya sahiptirler. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050 °C arasındadır. Bu sıcaklıklarda tutulan çeliğe su verilirse martenzitik bir iç yapı elde edilir [12]. Su verilerek hızlı bir şekilde soğutulan malzemenin yapısı martenzitik hale dönüşür [25]. Bu şekilde elde edilen yüksek sertlik ve mekanik dayanım, karbon yüzdesi ile birlikte artar [12]. Martenzitik paslanmaz çelikler sertleştirilebilen ferromanyetik çeliklerdir. Bu tür çelikler, hafif çevre şartlarında korozyona karşı korumaktadır. Nikel ilavesiyle



korozyon dirençleri arttırılabilmektedir. Martenzitik çelikler soğuk şekillendirilebilmenin yanında kolay işlenebilme özelliklerini de göstermektedir [16].

Martenzitik çelikler, tavlama şartlarında iyi gerilme değerleri sunmaktadır. Bu çeliklerin akma gerilmesi, 275 MPa civarındadır. Aynı şekilde tavlama şartlarında iyi sertlik ve süneklik değerleri de vermektedir. Isıl işlem sertleştirilmesi ve tavlamanın artmasıyla beraber akma gerilmesi 1900 MPa değerine kadar artmaktadır [16].

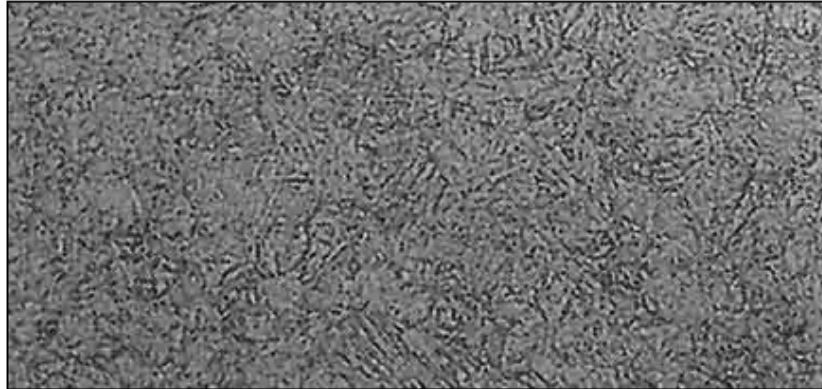
Ürün tipine bağlı olarak martenzitik çelikler tavllanmış veya ıslah edilmiş durumda pazara sunulur. Tavllanmış olarak satın alınan ürünler biçim verildikten sonra ıslah işlemine (su verme + temperleme) tabi tutulur. Temperleme sıcaklığı değiştirilerek değişik özellik kombinasyonları elde edilebilir. En iyi korozyon dayanımını elde etmek için tavsiye edilen ısıl işlem sıcaklıklarına uyulması çok önemlidir [12].

Martenzitik çelikler mekanik özelliklerine göre iki ana gruba ayrılmaktadır. Düşük karbon bileşimi ile maksimum sertlik değeri olan Rockwell C45 ve en yüksek karbon kompozisyonuna sahip Rockwell C60 sertliğine kadar sertleştirilebilen çelikler olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Her iki grup çeliği birbirinden ayıran durum karbon oranıdır. Bu da yaklaşık olarak %0.15 oranındadır. Martenzitik çelikler yüksek sıcaklıklarda gevrekleşebilmektedir. Bu nedenle sertliğin önemli olduğu durumlarda 427 °C ile 566 °C arasında kullanılmamalıdır [25]. Islah edilebilen çelik türü olarak martenzitik çeliklerde, tavlama ve su vermeden sonra dikkat edilmelidir. Son işlem esnasında krom karbür çökmesi oluşabilmektedir. Bu durum korozyonun meydana gelmesine sebep olmaktadır. Martenzitik çelikler, tavlı şartlarda kullanılmamalıdır [14]. Yumuşatma tavlama şartlarında martenzitik çelikler, maksimum süneklik özelliği sergiler [21].

Martenzitik çeliklerle ilgili diğer önemli bir özellik, aşınma ve aşınma direncidir. Genelde sert malzemeler yüksek aşınma direnci sergiler. Uygulamada, kömür taşıma gibi korozyonun görüldüğü durumlarda bu genel kural geçerli olmamaktadır. Çünkü oksit filmleri sürekli olarak çıkarılmaktadır. Sonuç olarak yüksek aşınma/korozyon oluşmaktadır [25].

Martenzitik çeliklerin içerisindeki krom oranı arttıkça korozyon direnci de artmaktadır. Bunun yanında, malzeme içerisindeki karbon oranının artması ile korozyon direnci krom karbürlerin oluşumu sebebiyle düşmektedir. Molibden ilavesiyle de korozyon direnci artmaktadır. Martenzitik çelikler, nemli havaya, buhara, tatlı suya ve alkalın çözeltilere karşı direnç göstermektedir [3]. Martenzitik çelikler ferritik çeliklerden daha zayıf korozyon direncine sahiptirler [23]. Bu tür çelikler, çukurcuk ve çatlak korozyonuna karşı düşük korozyon direnci göstermektedir [3]. Fakat gerilmeli korozyon direnci değerleri uygun seviyededir [23]. Uygulamalarda, demirdışı metallerle (bronz, pirinç gibi) temas halinde kullanılmamalıdır. Bu duruma dikkat edilmediği takdirde elektrokimyasal korozyon meydana gelebilir [22]. Bu tür çelikler katodik koruma olmadan deniz suyunda kullanılmamalıdır [3].

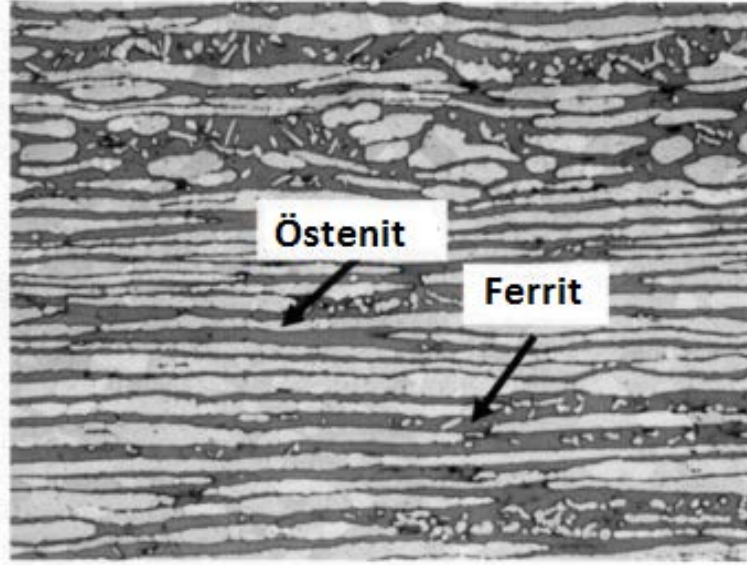
Martenzitik çelikler yüksek dayanımın istendiği fakat korozyon etkisinin az olduğu durumlarda kullanılmalıdır. Düşük karbon oranına sahip martenzitik çelikler, yapısal eleman olarak kullanılmaktadır. Örneğin 410S tür çelik ısı değiştirici borularında, petrokimya endüstrisinde kullanılabilir. Yüksek karbon oranına sahip martenzitik paslanmaz çelikler (AISI 420L ve AISI 420) yaylarda, cerrahi ekipmanlarda, bıçak gibi keskin kenarlı araçlarda kullanılmaktadır. AISI 431 gibi yüksek krom oranına sahip çelikler, deniz ekipmanlarında, nitrik asitte kullanılan ekipmanların üretiminde kullanılmaktadır [3]. Aşağıda martenzitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 2.24 Martenzitik çeliğin mikro yapısı [12]

#### 2.6.4 Çift fazlı paslanmaz çelikler

Çift fazlı paslanmaz çelikler, iki faza sahiptirler. Yapı itibarıyla %50 ferritik %50 martenzitiktirler. Bu tür çelikler %20 ile %30 arasında Cr ve %5 ile %8 arasında Ni içermektedir [5, 16]. Çift fazlı çeliklerin çoğunluğu %2.5 ile %4 arasında molibden içerir. Bunlar hem iyi mukavemet hem de iyi süneklik özelliklerini sağlar [12].

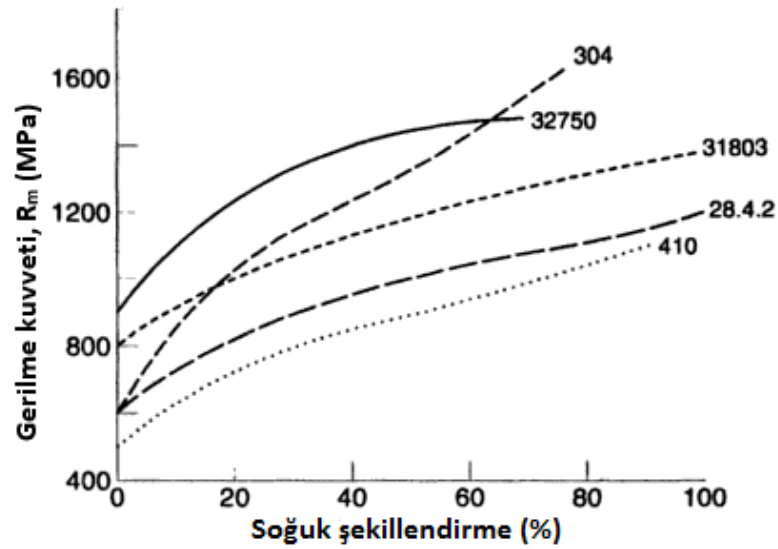


Şekil 2.25 Çift fazlı paslanmaz çeliğin mikro yapısı [24]

Çift fazlı paslanmaz çelikler manyetik çeliklerdir [20]. Bu tür çeliklerin içerisindeki %0.1 ile %0.2 arasındaki azot oranı ısıtma sırasında östenitik yapının stabilitesini artırarak mekanik dayanımın ve bölgesel korozyon direncinin artmasını sağlar [14]. Çift fazlı paslanmaz çeliklerin en önemli özelliği korozyon direnci, özellikle çukurcuk korozyonuna karşı göstermiş oldukları dirençtir [16]. Çift fazlı paslanmaz çelikler standart olarak AISI 200, 300 veya 400 ile ifade edilmemektedir. UNS numaralarıyla tanımlanmaktadır. Bu numaralar malzeme içerisindeki krom ve nikel oranına işaret etmektedir. Örneğin 2205 alaşımında %22 krom ve %5 nikel bulunmaktadır [5].

İki fazlı çelikler iki kritik sıcaklık noktası bulundurmaktadır. Bunlardan birincisi 800 °C' de (600 ile 950 °C arasında) meydana gelen karbür çökeltme noktasıdır. Diğeri ise 475 °C' de meydana gelen sertlik artmasıyla oluşabilecek olan kırılma durumudur. Sertlik oksijen içeriğiyle beraber azalmaktadır [14].

Mekanik özelliklerine bakacak olursak çekme dayanımı 600-900 MPa arasında olurken, akma dayanımı 550 ile 690 MPa arasında değişmektedir [16, 23]. Uzama ise %16 ile %48 arasında olmaktadır [23]. Bu tür çeliklere geleneksel yöntemlerle soğuk şekillendirme yapılabilir. Fakat akma dayanımının yüksek olması sebebiyle daha fazla kuvvet uygulanması gerekmektedir [24]. Şekil 2.26' da farklı paslanmaz çelik türlerine soğuk şekillendirme uygulanması durumundaki akma dağılımını gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 2.26 Farklı paslanmaz çeliklerin tel çekme ile şekillendirilmesinde gerilme dayanımı [27]

Bu çelik türü, yüksek akma kuvveti sebebiyle boru hatlarında kullanılmakta ve çift fazlı paslanmaz çeliğin et kalınlığı daha ince seçilerek ekonomik avantaj sağlanabilmektedir [20]. Çift fazlı paslanmaz çelikler ferritik paslanmaz çeliklerden daha sert yapıya sahip olmakla beraber daha iyi kaynak edilebilme özelliği göstermektedirler [23]. Ferritik yapısı sebebiyle mekanik özelliklerin kaybına ve yüksek sıcaklıklarda gevrekleşmeye sebep olur. 300 °C' nin üzerindeki servis sürelerinde kullanımı tavsiye edilmez [16]. Isıl genleşme katsayıları karbon çelikleriyle benzerlik gösterirken östenitik çeliklerden %30 ile %40 daha az olmaktadır [20]. Bu tür çelikler ısıl işlem için uygun değildir. Isıl işlem ile yapısal değişime uğrayabilirler [14].

Çift fazlı çeliklerin, korozif ortamlarda dahi çok iyi yorulma direnci vardır [12]. Çift fazlı çeliklerin yorulma dayanımı östenitik çeliklerden fazladır [14]. İçerisindeki krom, nikel

ve azotun artmasıyla beraber korozyon direncinde artış göstermektedir [3]. Ferritik yapı gerilmeli korozyona ve genel korozyona östenitik yapıdan daha fazla direnç göstermektedir [14]. Klor iyonunun bulunmadığı ortamlarda daha iyi korozyon direnci göstermektedir. Özellikle gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıma sahiptirler [12].

Bu tür çelikler yüksek dayanımın, iyi korozyon direncinin istendiği ve gerilmeli korozyon çatlamasına duyarlı olan uygulamalarda tercih edilmektedir [3]. Ağırlıklı olarak kimyasal aparat imalatında, arıtma tesislerinde, deniz veya off-shore teknolojisinde kullanılır [12]. Ayrıca asitli gazların boru hatlarında asetik asit üretiminde kullanılmaktadır [23]. Bira fabrikalarındaki sıcak su tanklarında, kağıt endüstrisi, kimyasal proses tesisleri çift fazlı paslanmaz çeliklerin diğer kullanım alanlarıdır [3].

#### **2.6.5 Çökme Sertleşmesi Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler (PH)**

Bu çelikler 2. Dünya Savaşı sırasında geliştirilmiştir. Çökme sertleşmesi uygulanabilir çelikler doymuş bir katı çözültiden oluşan çökmeyle tanımlanmaktadır [16]. Çökme sertleşmesi uygulanabilir çelikler yüksek dayanım, düşük süneklik ve ortam sıcaklığında iyi korozyon direnci göstermektedir [25]. Kısaltılmış haliyle PH olarak ifade edilmektedir [14]. Bu çeliklerin esas avantajı, tavlama şartlarında imal edilebilmekte ve daha sonra 482 °C ile 620 °C aralığı gibi düşük sıcaklık tavlama sayesinde dayanım göstermektedir. Böylece yüksek sıcaklık tavlama ile oluşacak problemleri minimize edecektir [25].

Temel sınıfları 17-4 PH veya 17-7 PH olarak gösterilmektedir. Bu sınıflandırma, tavlama çözültisine göre yapılmaktadır. Tavlama şartlarında bu çözültüler yarı östenitiktir. Isıl işleme mikro yapı martenzitik olmaktadır. Soğuk şekillendirme yaşlanma etkisini arttırmaktadır. Alüminyum, niobyum, titanyum ve bakır ilavesi yaşlandırmayı kolaylaştırmaktadır [16]. Bu alaşım elemanlarının ilavesiyle çelikler daha sert hale gelmektedir. Kullanılan temel elemanların maliyetine bakıldığında çökme sertleşmesi uygulanabilir çelikler en maliyetli çelikler arasındadır [14]. Bu tür çeliklerin iç yapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilmektedir. Manyetik özellik göstermektedirler [12]. Bu tür çelikler ticari adlarıyla veya UNS numaralarıyla anılmaktadırlar [5].

Bu elikler, piyasada çözme tavı görmüş halde satılır; malzeme bu durumda yumuşak olup, imalat işlemleri uygulanabilir ve daha sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırması ile sertleştirilebilir [12].

PH elikler, 690 ile 1700 MPa yüksek çekme dayanımı göstermektedir. Süneklik %1 ile %15 gibi düşük değerlerde olmaktadır [16]. Süneklik dereceleri, benzer dayanım gösteren martenzitik çeliklerle aynı seviyededir [25].

Bu tür çelikler yüksek korozyon direncinin ve uzama durumunun dikkate alınması gerektiği uygulamalarda kullanılmaktadır [14]. Bu sınıftaki paslanmaz çelikler yapısal havacılık parçalarında, yakıt tanklarında, pompa parçalarında, şaftlarda, cıvatalarda ve esnek birleştirme parçalarında bulunmaktadır [25].

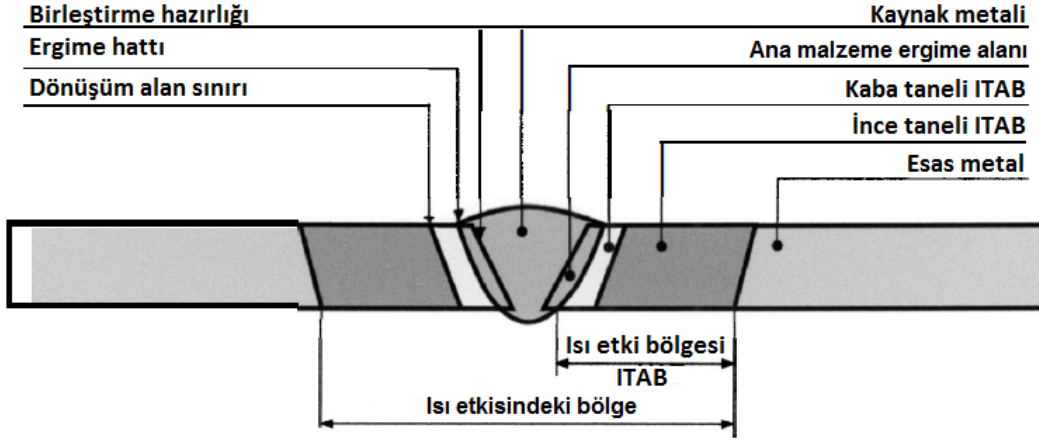
### PASLANMAZ ÇELİKLERDE KAYNAK

#### 3.1 Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Paslanmaz çeliğin birleştirilmesinde birçok yöntem bulunmaktadır. Kaynak, bu yöntemler arasında en yaygın olanıdır [16]. Paslanmaz çeliğin kaynağı esnasında esas metalin sıcaklığı mikro yapısında dönüşümler oluşacak seviyeye ulaşmaktadır. Bu değişikliklerin meydana gelmesiyle birlikte, kaynaklı malzemede mekanik ve korozyon direnci açısından oluşan etkileri; alaşım içeriğine, kalınlığa, ilave malzemeye, birleşme noktasının tasarımına, kaynak yöntemine ve kaynakçının kabiliyetine bağlı olabilmektedir. Meydana gelen değişiklikler ne olursa olsun paslanmaz çeliklerin kaynağında temel amaç, metalürjik değişime yol açmadan esas metalin yapısına yakın veya daha iyi bir yapıda birleşme sağlamaktır [21].

Kaynak işleminden sonra malzemenin kaynak bölgesinde 3 farklı bölüm oluşmaktadır.

1. Esas metal veya esas metal ile ilave metalin birleşiminden oluşan katılaşmış metal bölgesi
2. Kaynak bölgesinin bitişiğinde bulunan, sıcaklığı malzemenin erime noktasına ulaşmamış olan ısının tesiri altındaki bölge (ITAB).
3. Bir miktar ısınmış veya ısınmamış olan esas metal bölgesi [21]



Şekil 3.1 Isı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) şematik görünümü [28]

Paslanmaz çeliklerin ısı iletkenlikleri iyi seviyede değildir. Bu durumda kaynak esnasında soğuma yavaş olmaktadır. Bu durumda kaynaklı malzemedeki distorsiyon oranı artmaktadır. Özellikle ince malzemelerde bu durumun önemi artmaktadır [29].

### 3.2 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Çok farklı sayıda paslanmaz çelik türünün ve çok farklı uygulamalarının bulunması paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti hakkında yeterli bilgi gereksinimini ortaya çıkarmaktadır [30].

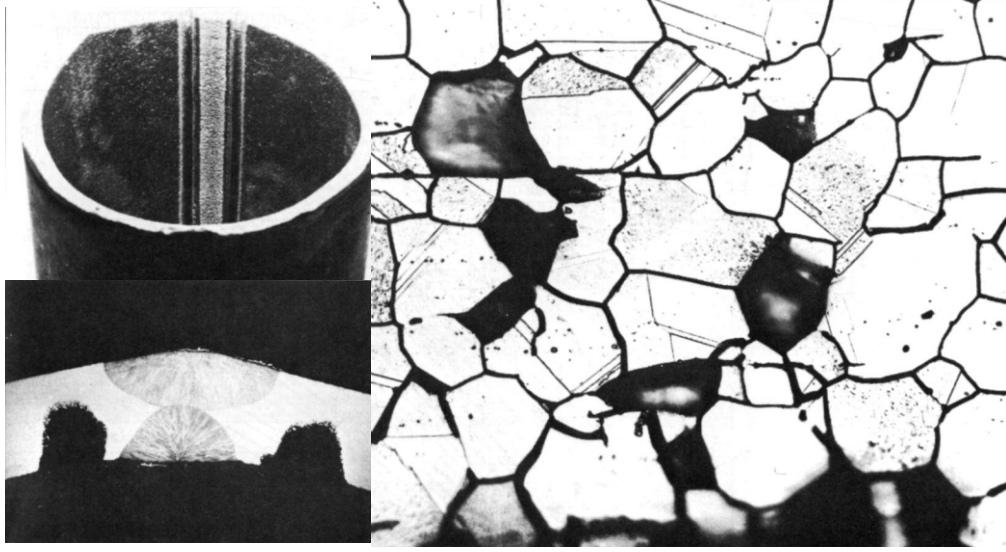
Paslanmaz çeliklerin içerisinde ağırlıklı olarak krom bulunduğu bilinmektedir. Kromun yanı sıra çeşitli alaşım elemanları da bulunmaktadır. Bu alaşım elemanları malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerini etkilemenin dışında kaynak kabiliyetine de etki etmektedir [17]. Kaynak kabiliyeti, sadece malzemenin mekanik özelliklerini içermemektedir. Ayrıca korozyon direncini etkileyen malzemenin kimyasal yapısı üzerinde de etkilidir [31].

#### 3.2.1 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Genel olarak östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetinin, belirli problemlere karşı önlem alındığı takdirde iyi olduğu kabul edilir [32].

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında ergime ve yeniden katılaşma olurken kaynak esnasında karbonlar kromlarla birleşerek tane sınırlarında krom karbürlerin oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu karbürler, taneler arası korozyonun oluşmasına sebep olabilmektedir [31]. Krom karbürler, 427 °C ile 871 °C' ler arasında görülmektedir [33].





Şekil 3.2 Taneler arası korozyonun görünümü [33]

Taneler arası korozyonu engellemek için düşük karbon oranına sahip çelikler (L) kullanılabilir. 301 ve 302 tip östentik paslanmaz çelikler en fazla karbon oranına (%0.15) sahiptirler. Bu tür çeliklerin kaynak ile birleştirilmesi esnasında tane sınırlarında krom karbürlerin görülme olasılığı yüksektir [33]. Yüksek karbonlu ince malzemenin çok pasolu kaynağı veya kaynak sonrası 426 °C ile 760 °C arasında kullanılması karbür oluşumuna neden olacaktır. Düşük karbon oranına sahip çeliklerin kullanılma amacına paralel bir kullanımda düşük karbonlu elektrot kullanmaktır. Bu tür elektrotların maliyetli olmaları onların kaynak kalitesi üzerindeki etkileriyle göz ardı edilmektedir. Düşük karbonlu elektrot kullanımı az miktarda karbür oluşumunu engelleyememektedir. Fakat bu seviyedeki karbür oranının etkin bir zararı olmamaktadır [31].

Karbür çökmesini önlemenin diğer bir yolu ise titanyum (321), niobyum (347) niobyum-tantalyum (347, 348) gibi stabilizör barındıran çelik türlerini kullanmaktır [29]. Bu elementlerin karbon afiniteleri kromdan daha fazladır. Bu durumda, bu elementler karbon ile kombine olmakta ve kromun korozyon direncine etki etmemektedir [33]. Paslanmaz çeliklerin kaynak parametrelerinin seçimi kaynak sıcaklıklarında karbon, krom ve oksijenin reaksiyonu sebebiyle sınırlanmıştır [31].

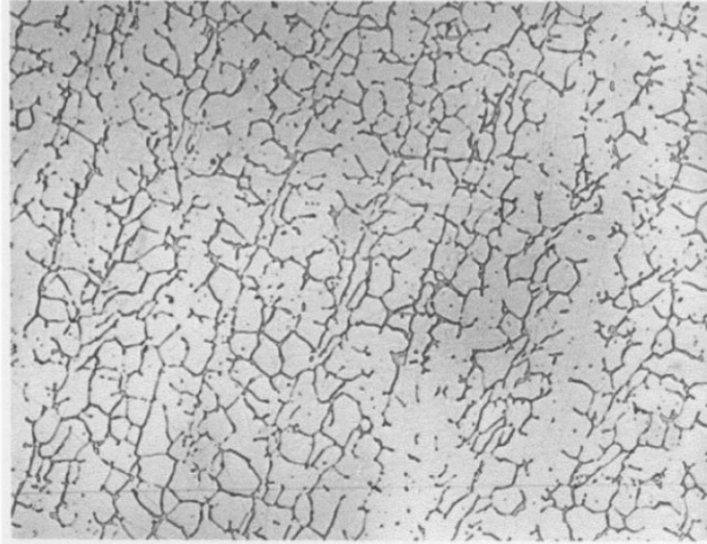
Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında ön ısıtma gerekmemektedir. Sadece çökelmiş karbürlerin yeniden çözülmesi ve gerilmeli çatlamaya sebep olacak gerilmelerin giderilmesi için son ısıtma gerekebilir [25]. Östenitik paslanmaz çeliklerin genişleme katsayıları karbon çeliklerden daha büyüktür. Bundan dolayı ısıl büzülme de daha büyüktür. Küçük çatlaklardan kaçınmak ve distorsiyonları minimuma indirmek için punta kaynak atılması, atlamalı kaynak yapılması, soğutucu bakır kullanılması, düşük ısı girdisi ve az sayıda paso ile kaynak yapılması gerekir [25]. Bu uygulamalar sayesinde malzemenin az ısınması ve hızlı soğuması sağlanarak karbür çökelmelerinin önüne geçilebilir. Ayrıca kaynaklı parçayı 1038 °C' lere kadar tavladıktan sonra 760 °C ile 426 °C arasına hızlı bir şekilde soğutmak, karbür çökelmelerini önleyecektir. Fakat bu maliyetli bir yöntemdir [31, 33]. Bu yöntemin diğer dezavantajları ise yüksek ısının, kaynaklı malzemede distorsiyona sebep olabilmesi ve büyük boyuttaki parçalara uygulanamıyor olmasıdır [31].

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında kaynak işlemiyle beraber oluşacak olan ısınma ve soğuma neticesinde östenitik yapının içinde herhangi bir değişim meydana gelmez. Fakat belirli koşullar altında kaynak metali ve ITAB bölgesinde ikincil fazlar oluşabilir [28]. Östenitik paslanmaz çeliğin kaynağında kaynak metalinde 4 farklı katılma ve katı hal geçişi oluşmaktadır. Bunlar A, AF, FA ve F geçiş türleridir. Bu türlerin önemli reaksiyonları aşağıda gösterilmiştir [32].

| Katılma Tipi, Reaksiyonlar ve Oluşan Mikroyapılar |   |   |
|---|---|---|
| Katılma Tipi                                      | Reaksiyonlar  | Mikroyapılar                                    |
| A   | $L \rightarrow L + A \rightarrow A$   | Tam östenitik, iyi katılmış yapı                |
| AF  | $L \rightarrow L + A \rightarrow L + A + (A + F)_{eut} \rightarrow A + F_{eut}$ | Tane ve dentritlerde ferrit                     |
| FA  | $L \rightarrow L + F \rightarrow L + F + (F + A)_{per/eut} \rightarrow F + A$   | Ferritten östenite geçiş sonucu çizgisel ferrit |
| F   | $L \rightarrow L + F \rightarrow F \rightarrow F \rightarrow F + A$             | Östenit tane sınırlarında iğnemsiz ferrit       |

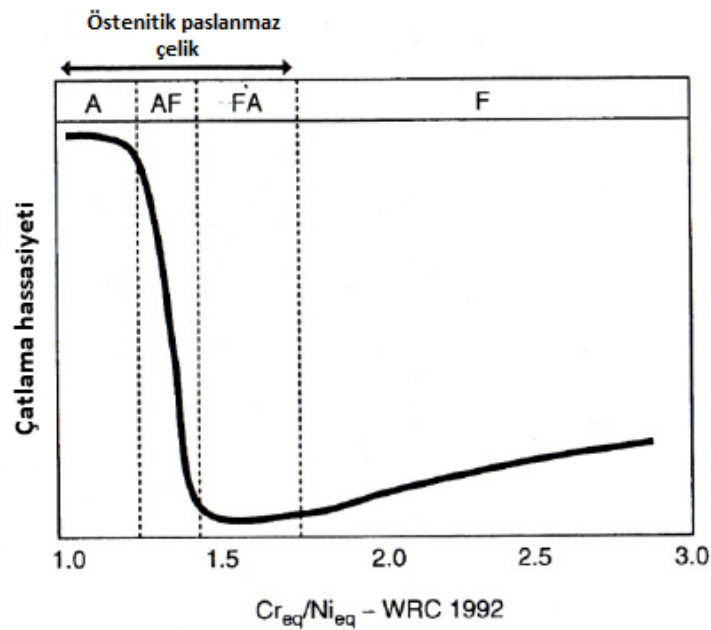
Şekil 3.3 Östenitik paslanmaz çeliğin katılma ve katı hal geçiş olasılıkları [32]

Tip A ve Tip AF, katılaşma olana kadar östenitin birincil faz olduğu, birincil östenit katılaşması ile alakalıdır. Kaynak metalinin yapısındaki bu değişim oldukça önemlidir. Kaynak bölgesinin özelliklerinin belirlenmesinde bu katılaşma ve çevrim önemli bir etkindir [32]. Kaynak metalinde meydana gelen bu fazların en önemlisi, kaynak metali üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri olan ferrittir [28].



Şekil 3.4 Östenitik kaynak bölgesindeki %8 ferritik yapı [28]

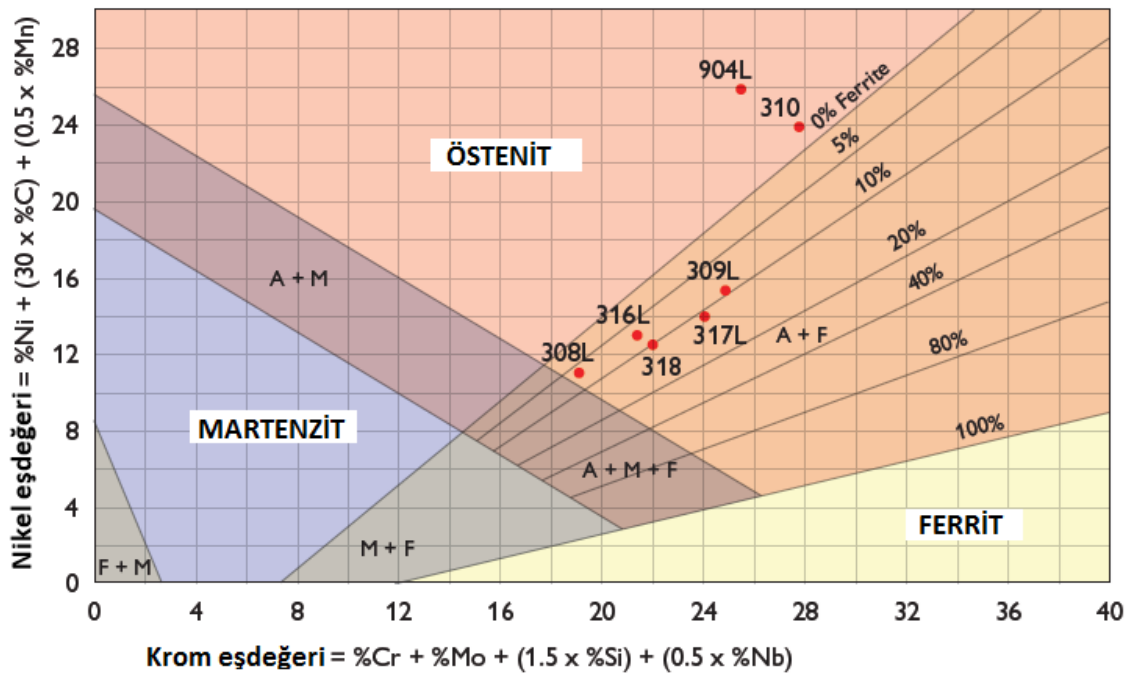
Kaynak metalinin metalürjik durumu kaynak metalinde oluşacak çatlak oluşum olasılığını belirlemektedir. Aşağıdaki grafikte kaynak metalinin yapısının, Cr ve Ni eşdeğeriyle değişen çatlak oluşum grafiği görülmektedir.



Şekil 3.5 Östenitik çeliğin yapısal fonsiyonu olarak çatlak oluşma olasılığı [32]

Sıcak çatlamanın sebebi düşük ergime noktalı kükürt (S) ve fosfor (P) gibi malzemelerin tane sınırlarına işleme eğiliminden kaynaklanmaktadır. Kaynak bölgesinde veya ısı tesiri altındaki bölgede bu bileşim meydana geldiğinde kaynaklı malzemenin soğuması ve büzülme gerilmelerinin oluşması durumunda çatlak oluşumu görülmektedir [33].

Ferritin faydalı sayılabilecek etkisi, kaynak bölgesindeki sıcak çatlakların oluşumunu engellemesidir. Çünkü kükürt ve fosfor gibi kaynak bölgesinde çatlama riskini arttıran elemanların çözünmesini sağlamaktadır [28]. %3 ile %8 arasındaki delta ferrit oranı sıcak çatlama riskini azaltmak için yeterli bir oran olmaktadır [34]. Östenitik çeliğin özel kaynak şartlarında içermesi gereken ferrit oranı, %40' a kadar ulaşmaktadır. (Örneğin; farklı malzemelerin gerekli şartlar altında kaynak edilmesi durumunda) Kaynak bölgesindeki delta ferrit oranı aşağıda verilen Shaeffler Diyagramıyla hesaplanabilmektedir [17].

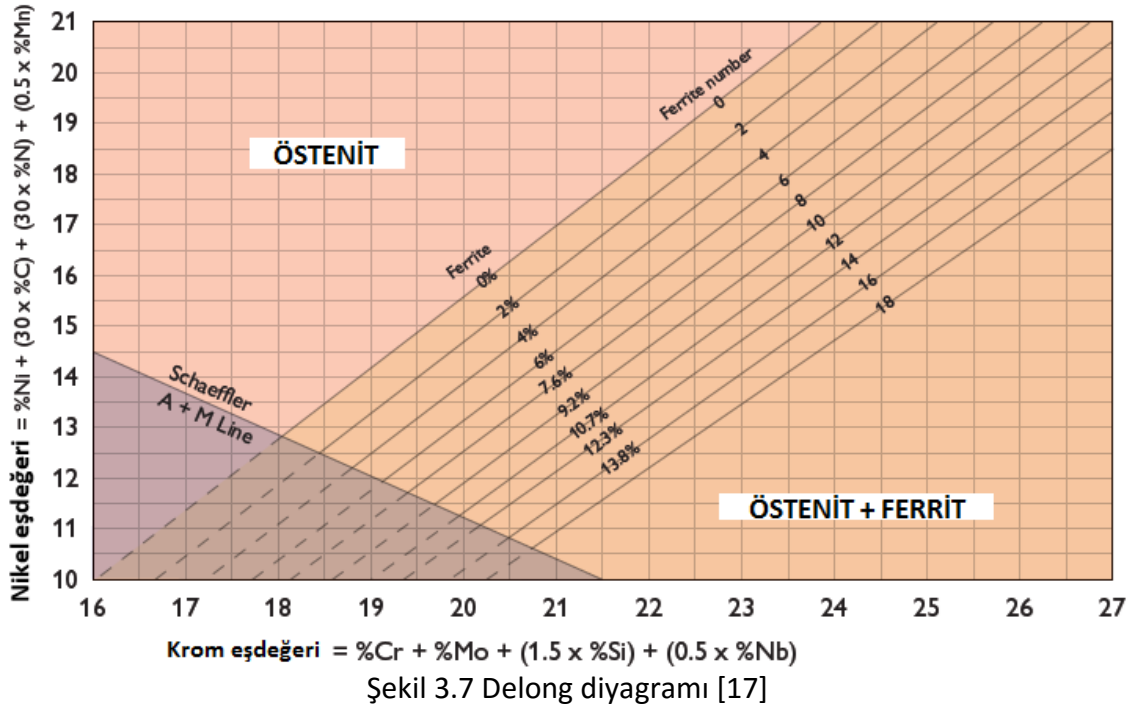


Şekil 3.6 Shaeffler diyagramı [17]

Kaynak metalürjisini tespit etmenin en verimli yolu Shaeffler diyagramının kullanılmasıdır. Verilen denklemlerden krom ve nikel eşdeğerinin bulunmasıyla beraber grafik üzerinden bileşimin yeri tespit edildiği takdirde bileşimdeki ferrit oranı belirlenebilmektedir [17].

Shaeffler diyagramı, nispeten düşük alaşımlı çeliklerin sertleştirilebilir olduğunu gösterir. Çünkü kaynak durumunda bu malzemeler martenzitik faz içermektedir. Alaşım elemanlarının yükselmesi östenit, ferrit fazlarının daha stabil olmasını sağlar [17].

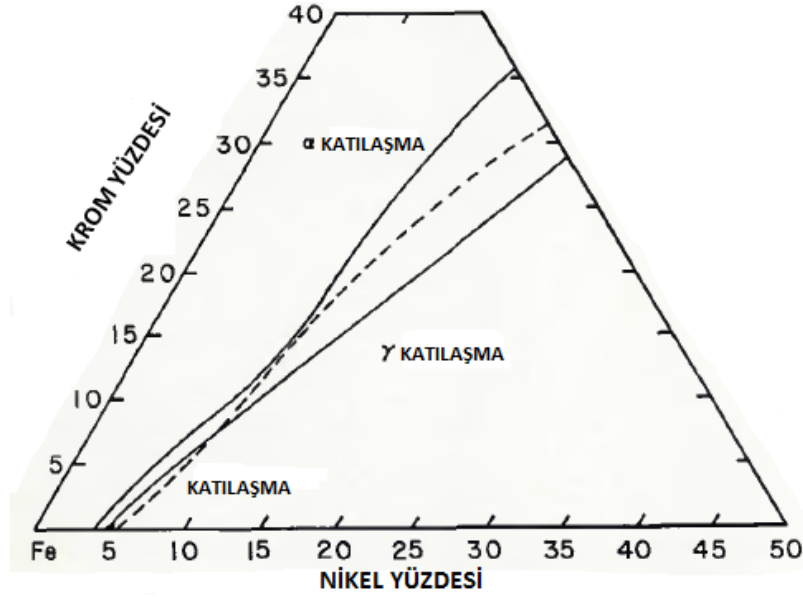
Shaeffler diyagramının yanında kaynak metalinin metalürjik yapısının analizinde Delong diyagramı da kullanılabilir.



Şekil 3.7 Delong diyagramı [17]

Delong diyagramı aslında Shaeffler diyagramının düzenlenmiş halidir. Delong 300 serisi çeliklerin araştırılması açısından bu diyagramı oluşturmuştur. Delong diyagramı, Shaeffler diyagramı ile karşılaştırıldığında daha büyük ölçekli çizilmiştir. Ayrıca özellikler daha hassas çizgilerle belirtilmiştir. Bu sayede östenitik çeliklerin kaynak bölgesinde ki ferrit içeriği daha detaylı incelenebilmektedir [32]. Delong diyagramında nikel eşdeğeri bulunurken bileşimdeki azot oranı da dikkate alınmaktadır [33].

Fakat ferrit, sıcak çatlak durumunu engellemek için yeterli değildir. Ferritin katılaşmasını sağlamak için alaşım bileşimi şekil 3.8' de gösterilen Fe-Cr-Ni diyagramının sıvılaştırma hattının kromca zengin olan tarafında bulunmalıdır [34].



Şekil 3.8 Fe-Cr-Ni üçlü diyagramında sıvı, ferrit katılaşması ve östenitik katılaşma izdüşüm sınırları [34]

Modern çelik üretim yöntemleriyle malzeme içerisinde kaynak sırasında sıcak çatlamaya sebep olacak kükürt ve fosfor gibi elementlerin oranını, yüksek miktarda mangan sayesinde düşük seviyede tutmaktadır [28]. Düşük miktarda ferritin bulunduğu östenitik çeliğin kaynağında, taneler arası korozyona karşı dayanım oluşmakta ve iyi seviyede sertlik elde edilmektedir [35].

Ferritin kaynak metaline olumsuz etkisi ise bazı korozif etkilerinin olabilmesidir. Tane sınırlarındaki ferrit konsantrasyonu %10' un üzerinde olursa korozyon etkileri görülmeye başlar [28].

500-600 °C civarında ki çalışmada ferrit, malzemenin sünekliğini düşüren sigma fazına dönüşmektedir. Ferritin kaynak metali üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmanın farklı bir yolu malzemeyi 1100 °C' de tavlamaktır. Bu sayede ferritin çözünmesi sağlanmaktadır [28].

Suutala, Vitek, David ve Lippold' un çalışmalarında, birincil östenit ve birincil ferrit tane sınırları arasındaki katılaşmanın sadece kaynak metalinin içeriğinin bir fonksiyonu olmanın dışında, kaynak prosesinin tane büyüme oranı 10 mm/sn' den büyük olduğu zaman tane büyüme hızının da bir fonksiyonudur [34].

Kaynak esnasında kullanılacak olan kaynak ilave malzemesi, kaynak kalitesi için önem teşkil etmektedir. Kaynak elektrodu kaynak metalinin korozyon direnci ve dayanımını etkilemektedir. İyi bir kaynak tasarımı yanlış elektrot seçimiyle kötü sonuçlar verebilmektedir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotlar esas malzemeye benzerlik göstermelidir. Elektrot seçimi korozyon direncini ve dayanımı etkilemektedir. Eğer kaynak işlemi için seçilmiş olan elektrot kaynak işlemi sonrası esas metalden daha düşük alaşım oranına neden oluyorsa bu durumda kaynak bölgesinde problemler yaşanabilir [21].

### 3.2.2 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Ferritik paslanmaz çelikler, östenitik çelikler kadar iyi bir kaynak kabiliyeti göstermemektedirler [17]. Son yıllarda geliştirilen ferritik paslanmaz çelikler ergime noktasının altında ki sıcaklıklarda östenitik veya martenzitik yapıya dönüşüm göstermemekle birlikte tamamen ferritik yapıya sahiptir [21]. Yüksek sıcaklıklarda, kırılma hızı açan hızlı tane büyümesi görülür [17]. Birçok ferritik tür, ısıtma ile kritik sıcaklığın üstünde östenitik yapıya dönüşür ve soğutma ile kısmen martenzitik yapı görülebilir [21]. Ferritik paslanmaz çelikler soğumaya kadar martenzitik dönüşüm göstermezler [31]. Ferritik paslanmaz çelikler 3 farklı dönüşüm gösterirler.

1. Dönüşüm:  $L \Rightarrow L+F \Rightarrow F$  (Tamamen ferritik yapı)

Bu durum ferritin östenite baskın olduğu durumda meydana gelmektedir. Düşük kromun ve yüksek karbonun mevcut olduğu durumda gerçekleşmektedir.

2. Dönüşüm:  $L \Rightarrow L+F \Rightarrow F+A \Rightarrow F+M$  (Ferritik ve martenzitik yapı)

Ergime bölgesinde martenzit bulunuyorsa, iki farklı dönüşüm birbirini takip edecektir. Soğuma üzerine bazı östenit formları yüksek sıcaklıklarda ferrit tane sınırları boyunca bulunmaktadır. Ergime bölgesi, daha sonra ortam sıcaklığına soğuduğunda bu östenit formları martenzite dönüşmektedir.

3. Dönüşüm:  $L \Rightarrow L+F \Rightarrow L+ F+A \Rightarrow F+A \Rightarrow F+M$  (Ferritik ve martenzitik yapı)

Başlangıçta birincil fazı, ferrit oluşturmaktadır. Daha sonra oda sıcaklığına hızlı soğutma sonucunda östenitik yapı martenzitik yapıyı oluşturmaktadır [32].

Ferritik çelikler 1150 °C' nin üzerinde tane irileşmesine karşı hassaslaşmaktadırlar [35]. Tane irileşmesini minimize etmek için kaynak metaline ısı girdisi minimum olmalıdır. Ayrıca ön ısıtma 148 °C ile 232 °C arasında olmalı ve yüksek karbon içeren ferritik paslanmaz çelikler için kullanılmalıdır [33].

Ferritik paslanmaz çeliğin kaynağında ısı tesiri altındaki bölgede aşırı sertleşmeden dolayı az tehlike bulunmasına rağmen ön ısıtma kullanmak gerekebilir. Kalın kesitlerin kaynağında çatlak tehlikesi daha fazladır. Genel uygulamalarda, ince kesitlerde ön ısıtma sıcaklık aralığı 148 °C ile 232 °C' dir. Düşük karbonlu ve stabilize ferritik çelikler için kullanılan ön ısıtma genellikle 6 mm' den daha ince malzemelere uygulanır [21].

Ferritik çeliklerin özellikle stabilize edilmiş olmayanlarının süneklik ve kopma uzamaları düşüktür. Kaynakta yırtılmalara neden olmamak için kullanılan ilave malzemeler, kaynak yöntemi seçimi ve ısı girdisi konusunda daha özenli olunması gerekir [12]. Kırılgan olmaları ve düşük süneklik, bu tür çeliklerin kaynaklı uygulamalarını sınırlandırmaktadır [17].

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında 3 temel zorluk bulunmaktadır. Bunlar;

1-Aşırı tane büyümesi

2-Hassaslaşma

3-Gevreklik eğilimi

Kaynaktan sonra tavlama işlemi, bu problemlerin bazılarını minimize etmektedir. Ferritik çeliklerin özel sayılabilecek alaşımlarından bazıları ile düşük karbon ve azot içermeleri halinde de, benzer problemlerin azalması sağlanmaktadır [25]. Ferritik paslanmaz çeliğin kaynak metaline genellikle esas metalin ısı tesiri altındaki bölgesinden daha düşük sertlik, süneklik ve düşük korozyon direncine sahiptir. Bu nedenle kaynak sonrasında sertliği geliştirebilmek için ısıtma işlemi uygulanmalıdır [21]. Malzeme 750 °C ile 800 °C arasında 30 ile 60 dakika süresince optimum dayanımı ve kaynağın korozyon direncini sağlamak için gerilme giderme tavlamasına tabi tutulmalıdır. Bu işlem kaynak tarafından oluşturulacak gerilmelerin giderilmesini ve karbür çökmesinin engellenmesine yardımcı olacaktır.



371 °C' den hızlı bir şekilde soğuma gerçekleşmesi neticesinde tane sınırlarında çökeltme görülmektedir [21]. Bu durumda östenitik çeliklerde olduğu gibi ferritik çeliklerde de kromların karbür çökeltmesini oluşturması sebebiyle, taneler arası korozyon görülebilmektedir. Titanyum ve niobyum ferritik çeliğin stabilizasyonunu sağlaması ve ekstra düşük oranda belirli bileşimlerin (C, N) kullanılmasıyla, bu problemin üstesinden gelinebilmektedir [17].

Kaynaklı bir ferritik paslanmaz çeliğin özellikleri, alaşım tipine ve krom içeriğine bağlıdır. En önemli mikroyapısal etki, düşük kromlu alaşımın mekanik özelliklerinde martenzitin bulunmadığı dikkate alınırsa ferrit tane büyümesidir. Thomas ve Apps' ın çalışmalarına göre, bu alaşımların ısı tesiri altındaki bölgelerinin özellikleri, kaynaklı malzemenin tane büyüklüğü düşürülerek geliştirilebilir. Orta seviyedeki krom alaşımlarının mekanik davranışı mikro yapıya bağlıdır [32].

Ferritik çeliklerin kaynağında ilave metal seçilirken krom seviyesinin esas metalinkine eşit veya daha yüksek olmasına dikkat edilmelidir [33]. Bu sayede kaynak metali zorlu şartlara karşı korozif direnç sağlamaktadır. Östenitik paslanmaz çelik ilave metali çoğunlukla ferritik malzemenin birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Örneğin 430 malzeme 308 ilave metal ile kaynak edilebilmektedir. Östenitik paslanmaz çelik ilave metalin kullanımı tane büyümesini ve ısı tesiri altındaki bölgede martenzit oluşumunu önleyememektedir. Düşük karbonlu ve stabilize ferritik çeliğin kaynağında östenitik paslanmaz çelik ilave metalin kullanımı iyi mekanik özelliklerin oluşumunu sağlamaktadır. Östenitik paslanmaz çelik ilave metal, ferritik çeliklerin kaynağında gelişmiş kullanılmamalıdır. Aksi takdirde renk farklılığı veya fiziksel farklılıklar oluşabilmektedir [21].

### 3.2.3 Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti, AISI tip çelikler arasında en düşük olanıdır [31]. Bu tür çelikler hava ile sertleştirilebilen çeliklerdir. Her zaman esas metalin ergime bölge çizgisinde sert ve kırılgan bölge bulunmaktadır. Bu martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetleri, diğer paslanmaz çelik türlerine göre daha düşük özellikler göstermektedirler. Bu bölgedeki sertlik etkisini bir nebze azaltmak için bu çelikler ön tavlama sıcaklığında kaynak edilmelidirler [28]. Ön ısıtma ve pasolar arası geçiş sıcaklığı birçok martenzitik paslanmaz çelik için 204 °C ile 315 °C arasında olmaktadır [33]. Ön tavlamanın gerekliliğini belirleyen en önemli faktör malzemenin içerdiği karbon oranıdır [21]. Aşağıda karbon oranına göre uygulanması gereken tavlama işlemi sıralanmıştır.

- %0.1 C değerinin altındaki durumda: Kaynaktan önce ve sonra tavlama işlemine gerek duyulmamaktadır.

- %0.1 C ile %0.2 C arasındaki durumda: Ön tavlama sıcaklığı 260 °C' dir. Soğuma yavaşça olmalıdır.

- %0.2 C ile %0.5 C arasındaki durumda: Ön tavlama sıcaklığı 260 °C' dir. Kaynak sonrası tavlama uygulanmalıdır.

- %0.5 C oranı üzerindeki durumda: Ön tavlama sıcaklığı 260 °C' dir. Kaynak yüksek ısı girdisine maruz kalmakta ve kaynak işlemi sonrası tavlama işlemi uygulanmalıdır [21].

Martenzitik çelikler, içeriğindeki karbon ve hidrojen sebebiyle 400 °C altında soğuk çatlak etkisi göstermektedir [35]. Kullanılacak sarf malzeme hidrojen kontrollü olarak tercih edilmelidir [17]. Soğuk çatlak etkisi ön ve son tavlama uygulamasıyla giderilebilmektedir [35]. Uygun tavlama sıcaklığı parça büyüklüğüne ve birleştirme şekline göre değişiklik göstermektedir [28]. Ön tavlama yapılacak malzeme kalınlığı 6 mm veya daha kalın ise sıcaklık 93 °C ile 204 °C arasında olmalıdır [31]. Son tavlama 787 °C' dedir ve soğutma 593 °C' ye kadar fırında olmalıdır. Daha sonra hızlı bir şekilde soğutulmalıdır. Eğer kaynak işlemini sertleştirme ve temperleme işlemi takip ederse son tavlama işlemi böylelikle ortadan kaldırılabilir. Martenzitik paslanmaz çelikler, tavllanmış, yarı sertleştirilmiş, sertleştirilmiş, gerilim giderilmiş veya temperlenmiş durumların herhangi birinde kaynak edilebilmektedir [21].

Bu çeliklerde ısınma etkisiyle östenite dönüşüm etkisi görülmektedir. Bu nedenle soğuma esnasında martenzite dönüşümle birlikte sertlik artışı görülebilmektedir. Bu sertlik artışı, çatlak oluşumuna sebep olabilmektedir [33]. Martenzitik çeliklerin kaynakla birleştirilmesi durumunda oluşan sıcaklıklarda malzemenin davranışını etkileyen bir takım karakteristik durumlar bulunmaktadır. Bunlar:

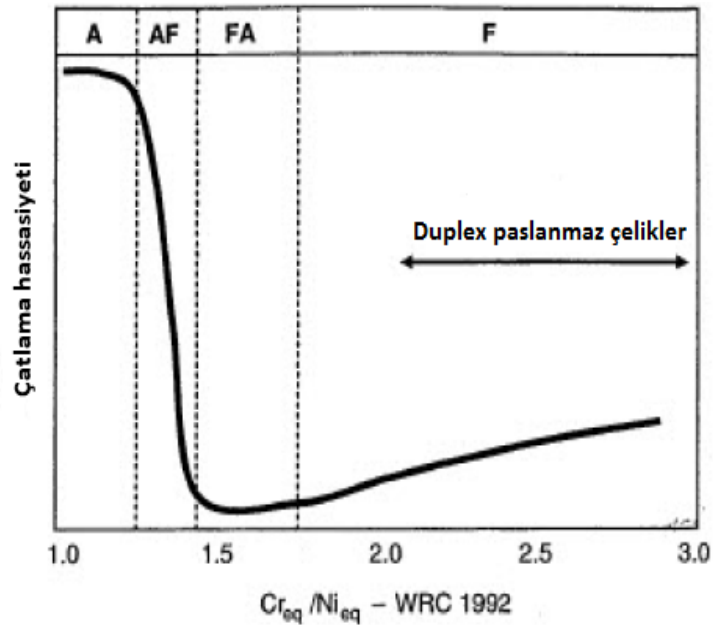
1. Ergime noktaları yaklaşık olarak 1482 °C' dir. Yumuşak çeliklerin ergime sıcaklığı 1537 °C' dir. Bunun anlamı ergime noktaları için daha az ısıya ihtiyaç olduğu veya benzer ısı değerlerinde yumuşak çeliklere göre daha hızlı ergimeleridir.
2. Genleşme ve büzülme katsayıları, karbon çeliklerine eşit veya bir miktar düşük olmaktadır.
3. Isıl iletkenlik katsayısı, yumuşak çeliklerin yarısından daha azdır. Bu konuda diğer krom-nikel sınıfından malzemelerle benzer durum sergilemektedirler.
4. Elektrik akımına karşı gösterdikleri direnç, yumuşak çeliklerinkinden daha fazladır. Bu durum göz önüne alındığında düşük Amperle kaynak işlemi uygulanabilmektedir [21].

İlave metalin karbon ve krom içeriği esas metalinkiyle uyumluluk göstermelidir [33]. İlave metal, esas metal ile aynı özellikte kullanılırsa kaynak metalinde enine çatlaklar meydana gelebilir. Bu risk östenitik paslanmaz çelik ilave metal kullanarak bertaraf edilebilmektedir [28]. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan ilave metaller martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında da kullanılabilir [17].

#### **2.2.4 Çift Fazlı Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği**

Çift fazlı paslanmaz çelikler bilindiği üzere ferrit ve östenit fazlarından oluşmaktadır. Bu sebeple malzeme ve kaynak bölgesinde hem ferritin hem de östenitin özelliklerini, aralarındaki dengeye bağlı olarak barındırmaktadır. Teorik bilgiler ve araştırmacılar iyi mekanik özelliklerin ve korozyon direncinin, ferrit içeriğinin sınırlı olmasıyla sağlanabileceğini göstermiştir [36]. Çift fazlı çeliklerde kaynak metalindeki ferrit içeriği Shaeffler diyagramı kullanılarak bulunabilmektedir [12].

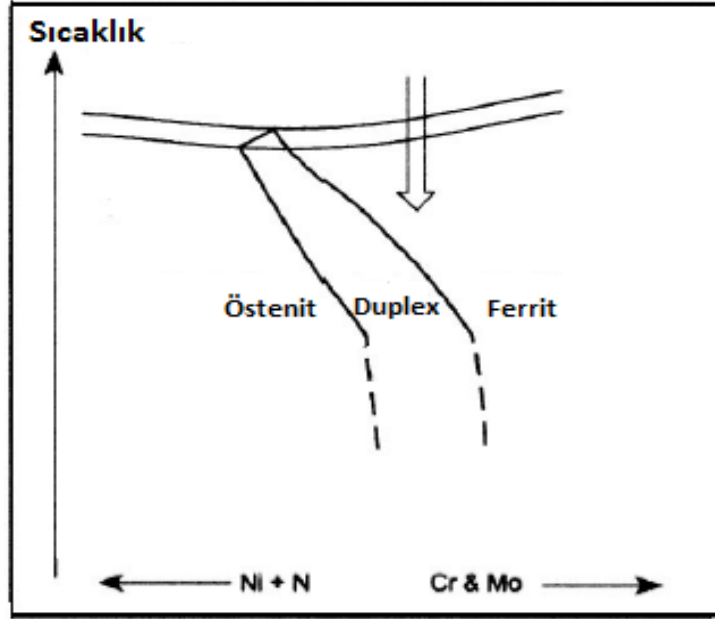
Çift fazlı paslanmaz çeliğin kaynağındaki asıl problem, gerekli olan enerji ihtiyacının yönetimi, ısı tesiri altındaki bölgede ve ergimiş kaynak bölgesinde çift fazlı yapıyı verecek soğuma şekli ve faz çökmesini önlemektir [30]. Çift fazlı paslanmaz çelikler kaynak edilirken ne çok fazla, ne de çok düşük ısı kullanılmalıdır. Düşük ısı girdisinin sonucu olarak hızlı soğuma neticesinde korozyon direncini etkileyen krom nitrürler meydana gelmektedir. Yüksek ısı girdisinde ise yüksek sıcaklık geçişlerinde, bileşimde sigma fazı oluşmaktadır. Bu durumda mekanik özellikler ve korozyon direncinde düşüş görülmektedir [28]. Kaynak metalinde meydana gelen çatlaklar, kaynak metalinin metalürjik özellikleriyle yakından ilgilidir.



Şekil 3.9 Bileşimin fonksiyonu olarak çift fazlı paslanmaz çelikte meydana gelen çatlama hassasiyeti [32]

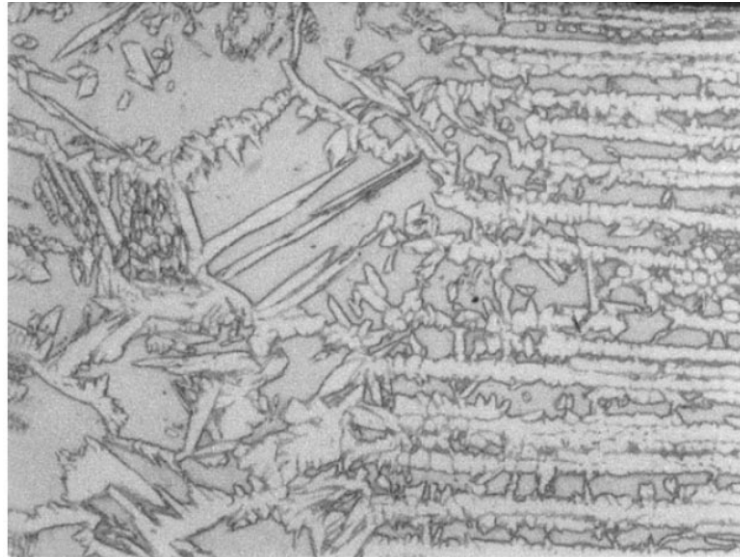
Grafiktende görüleceği üzere çift fazlı paslanmaz çeliklerin yapısını ferrit oluşturmaktadır ve doğal olarak FA içeriğinde daha fazla katılma çatlak hassasiyeti göstermektedir [32].

Çift fazlı paslanmaz çeliğin kaynak kabiliyetini belirleyen en önemli element %0.4' e kadar konsantrasyonda mevcut olabilen azottur. Kaynak yapılırken öncelikle kaynak banyosu tamamen ferritik olarak katılır. Daha sonraki aşamada sıcaklık düşmesiyle beraber östenit şekillenmektedir [28].



Şekil 3.10 Çift fazlı paslanmaz çelik için ikili faz diyagramı [28]

Östenit oluşumunun başlangıcı, ferrit tane sınırlarında olmaktadır. Daha sonra şekil 3.11' de gösterildiği gibi içeriye doğru büyüme görülmektedir.



Şekil 3.11 Çift fazlı paslanmaz çelikteki ısı tesiri altındaki bölge ve kaynak metalinin mikro yapısı [28]

Etkin bir östenit oluşturu element olan azot bu oluşum prosesinin hızlanmasını sağlamaktadır. Bu sayede daha sonra ısıl işlem gerektirmeden uygun bir metalürjik yapı sağlanmaktadır [28]. Azot kaynak metaline soğuma esnasında östenit oluşumunu hızlandırmak için ilave edilmektedir [33]. Azot ilavesi ayrıca dayanımı ve çukurcuk korozyon direncinin artmasına da yardımcı olmaktadır. Mikro yapı dengelendiği zaman azot ve östenit bölmeleri arasındaki azot eriyik çözelti içerisinde kalıntı oluşturur [32].

Azot, östenit içerisinde ferritten daha iyi çözünebilmektedir. Bunun sonucu olarak ısı tesiri altındaki bölgede veya kaynak eriyiğinde ferrit yoğunluğu fazla olduğunda hızlı soğuma koşullarında, soğuyana kadar yoğun nitrür çökmesi görülür. Çünkü ferrit çözünme sınırı aşılmıştır ve azotun, östenitin bölünmesinde yetersiz zamanı olmuştur. Bu yoğun çökmenin sonucu olarak süneklik, sertlik ve korozyon direnci azalmıştır [32]. Kaynakta kullanılacak olan ilave metal esas metalinkiyle benzer özellikler göstermelidir. Fakat %2 ile %3 arasında nikel konsantrasyonu fazlalığı östenit oluşumuna yardımcı olacaktır ve kaynak metalinde esas metalinkine benzer ferrit içeriği oluşacaktır [28]. Kaynak metalinin bileşiminin esas metalinkine yakın olduğu kullanım durumunda ısıl işlem uygulanma ihtiyacı doğabilir. İlave malzeme olmadan yapılan kaynakta aşırı ferrit bulunması sonucu kırılgan bir yapı oluşabilmektedir. Bu durumda kaynağı takip eden bir ısıl işlem uygulanmalıdır [36].

### **3.2.5 Çökme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği**

Çökme sertleşmesi uygulanabilen çelikler, mekanik özelliklerinin düzeltilmesi veya geliştirilmesi amacıyla ön tavlama veya son tavlama işlemleriyle kaynak edilebilirlikleri iyi duruma gelebilmektedir [25]. Bu sınıftaki paslanmaz çeliklerin kaynağında bakır ve molibden ilavesiyle östenitik çeliklerin kaynak banyosuna benzer yapıda kaynak metali elde edilir. Bu çeliklerin alüminyum ve yüksek miktarda titanyum içerdiği durumlarda kaynak esnasında atmosferden daha yüksek bir koruma ihtiyacı doğabilir [21].

Kaynak ısıyla beraber işlenmiş bir eriyik veya tavllanmış esas metal bölgesi elde edilmektedir ve kaynak sonrası bu bölgeyi sertleştirmek için ısıl işlem gerekmektedir [21]. Bu tür çelikler üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar östenitik, yarı östenitik ve martenzitik türleridir [31].

Östenitik tip çökme sertleşmesi uygulanabilen çelikler, katılma çatlama ve sıcak çatlama riski sebebiyle kaynak edilebilirliği en zor çelik türüdür [31, 32]. Kaynak edilecek parçalar, tavlama koşullarında çözelti oluşturularak ve minimum ısı girdisiyle kaynak edilmelidir [33]. Genellikle ilave alaşım olarak %0.5 civarında molibden kullanılır. Bu ilave paslanmaz çeliğin oda koşullarındaki fiziksel özelliklerini etkilememektedir. Molibden ilavesi farklı ısıl işlemlerden sonra yüksek sıcaklıklarda bu

Çeliklerin mukavemetini 3nemli 3l3de arttırır. Ayrıca s3r3nme mukavemetini de arttırmaktadır [31].

Yarı 3stenitik tip 3kelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliği iyidir. 3n tavlama veya son tavlamaya ihtiyaç yoktur. Kaynak ısısı 3stenitik yapıyı teşvik eder ve kaynağa yakın kısımda tavlannış şartlarda eriyik elde edilir. Ne olursa olsun kaynak şartlarında kaynak b3lgesi ve ısısı tesiri altındaki b3lge 3stenitik yapıya kavuşur. Bu sebeple bu t3r çelikler, ısıl işlem şartları gerektirmeden ve soğuma şartı istenmeden kaynak edilebilmektedir [31].

Martenzitik tip 3kelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti m3kemmeldir. Çatlama hassasiyetleri bulunmamaktadır. Sıcak atlama oluşumu, karbon durumuna g3re meydana gelebilmektedir. Buda karbonlu veya d3ř3k alaşımlı çeliklerle kaynak durumunda oluşabilmektedir. Çatlakları ve aşırısı sertliği 3nlemek için 3n tavlama gerekmemektedir. 3kelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler, kaynak 3ncesi tavlannış eriyik şartlarındadır ve sertleştirme tavlaması uygulanmaktadır. Eğer s3neklik biraz d3ř3k olursa, kaynak metalinin dayanımı esas metalinkine yakın olur. Eğer esas metal kaynak 3ncesi tamamen sertleştirme şartlarında olursa çatlama riski oluşur. 3kelme sertleşmesi uygulanabilen herhangi bir paslanmaz çelikte tamamen sertleştirilme şartlarından kaçınılmalıdır [32].

Bu eliklerin kaynağında elektrot seçimi dikkate alınırken istenilen kaynak metalinin 3zellikleri g3z 3n3nde bulundurulur. Kaynak metalinin sert yapıda olması isteniyorsa, ilave metal sert 3stenitik paslanmaz elik olarak seçilmelidir [21]. Nikel alaşımlı ilave metal NiCrFe, yaygın olarak tercih edilen 3stenitik tip ilave metaldir. Eğer 3stenitik ve yarı 3stenitik 3kelme sertleşmesi uygulanabilen çeliklerde maksimum dayanım isteniyorsa, ilave metal esas metale benzer veya yakın 3zellikte olmalı, kaynak esnasında ve kaynak sonrasında tavlama şartları oluşturulmalıdır [33]. Kaynak metalinin 3zellikleri esas metalinkine benzerlik g3stermesi istenildiği durumlarda, ilave metal 3kelme sertleştirilmesi uygulanabilen çeliklerden seçilmelidir [21].

### 3.3 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak İşlem Sırası

#### 3.3.1 Kaynak Öncesi Yüzey Hazırlama İşlemleri

Kaynak işleminden önce kenarlar ve birleştirilecek yüzeyler temizlenmelidir. Yağ, kir, boya veya diğer birikintiler kaynak bölgesinden temizlenmelidir. Kaynak bölgesinde yapılan temizlik işlemi kaynak kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. Kaynak öncesi, kaynak bölgesi temiz parlak metal görüntüsüne kavuşturulur. Bu işlem sadece kaynak köşesi veya eğimli kaynak yüzeyinde yapılmamalı, kaynak yüzeyi boyunca da aynı işlem uygulanmalıdır. Kaynak çizgisine 50 mm mesafede bu işlem gerçekleştirilmelidir [37].

Kaynak bölgesi mekanik temizlikten sonra yağdan da arındırılmalıdır [37]. Bu işlem için uygun bir solvent kullanılabilir [18]. Çok pasolu kaynak işlemlerinde her kaynak pasosu sonrasında kaynak dikişi aşırı oksit tabakasından temizlenmelidir [37].

Yüzey hazırlama işlemleri için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan birkaçı şöyle sıralanmaktadır.

**El yordamıyla yapılan hazırlık:** Bu yöntem, yüzeydeki pas lekeleri ve mevcut kaplamaların kaldırılması için uygun bir uygulamadır. Aşındırıcı olarak kağıt veya fırça gibi aynı yapısal özellikte aletlerin kullanımı bu yöntem için uygundur. Paslanmaz çelik için kullanılan aletler demir elementi içermemelidir [38]. Karbonlu çelik üzerinde kullanılmış malzeme gerekli işlemlere tabi tutulmadan direkt olarak paslanmaz çeliğe temas etmemelidir. Aksi takdirde yüzey kalitesini bozacak, korozyona ve çatlamaya sebep olacaktır [18].

**Zımparalama ve kumlama:** Yüzeydeki kaplamaların ve oksitlerin temizlenmesi için etkili yöntemlerdendir. Paslanmaz çeliklerin temizliğinde, alüminyum oksit gibi metalik olmayan aşındırıcılar kullanılmalıdır. İnce kesitli malzemelerin temizliğinde distorsiyonların oluşmamasına dikkat edilmelidir [38].

**Raspa:** Paslanmaz çelik raspa tercih edilerek yüzeydeki kaplamalar kaldırılmalıdır [38].

Yüzey temizleme işlemleri esnasında aşağıdaki parametrelere dikkat edilmelidir.

1. Temizleme işlemleri esnasında veya daha öncesinde yüzeyi nemden arındırmak gerekmektedir.



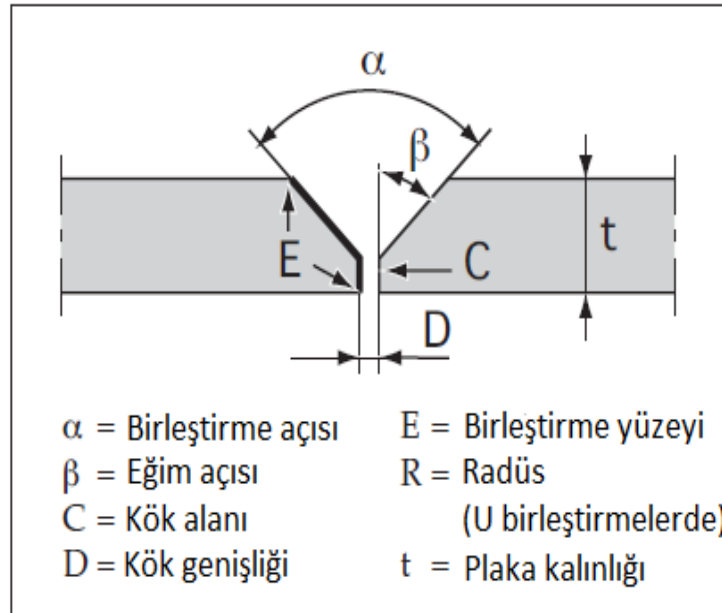
2. Özellikle çinko temasından kaçınılmalıdır. Galvanizli fırçaların kullanılmamasına dikkat edilmelidir.

3. Mekanik temizleme işlemlerinde kullanılan malzemeler paslanmaz çelik olmalıdır [33].

### 3.3.2 Kaynak Ağzı Hazırlama

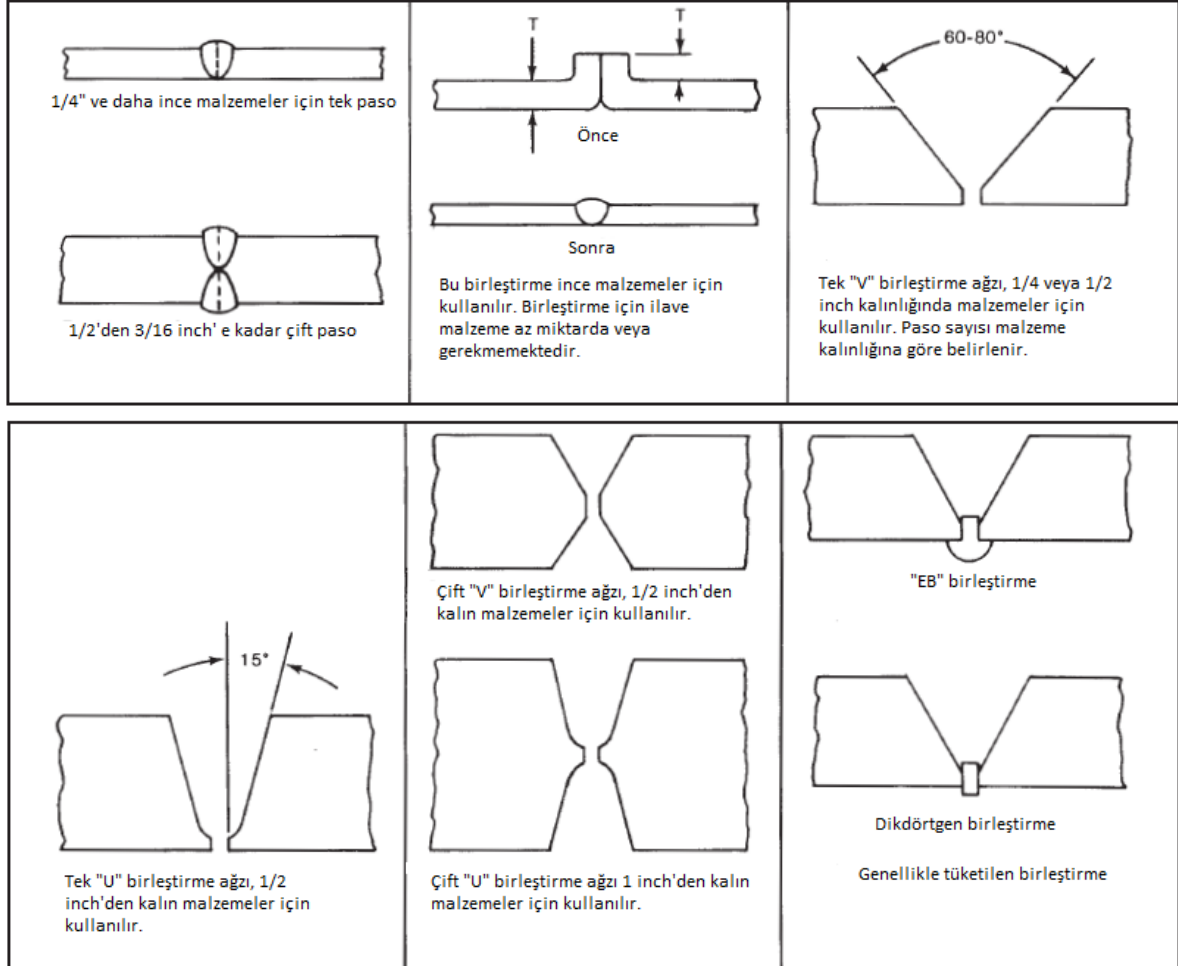
Kaynak işlemi öncesi gerekli durumlarda kaynak ağzı açmak gerekebilir. Kaynak ağzı hazırlığı kaynak yöntemi, sac kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlıdır. Ağz kenarları mekanik (makasta kesme, planyalama, frezeleme, taşlama, su jeti) veya ısı kesme yöntemleriyle (plazma, laser) hazırlanabilir. Isıl yöntemle kesilmiş olanlarda oksit artıklarını uzaklaştırmak için, kaynak öncesinde taşlama yapmak gerekebilir. Kaynak ağzlarının temizlenmesi amacıyla mekanik temizleme için fırçalama, kimyasal temizlik için ise uygun bir çözelti kullanılabilir [12].

Aşağıdaki resimde kaynak ağzı açılmasına dair bazı terimler görsel üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Kaynak ağzı tasarımında kullanılan terimler [37]

İnce malzemelerin kaynağında ağırlıklı olarak, alın altına getirilerek kaynak edilmektedir. 3 mm veya 9 mm' den daha kalın malzemelerin kaynağında kaynak ağzı açmak gerekebilir. Eğer esas metal 12.5 mm' den daha kalınsa V kaynak ağzı veya çift fazlı U kaynak ağzı açmak gerekir. Ancak bu kaynak ağzılarını hazırlamak maliyetli olmaktadır [21].



Şekil 3.13 Kaynak ağzı tasarım örnekleri [21]

### 3.3.3 Kaynak Sonrası İşlemler

En iyi korozyon dayanımını elde etmek için kaynak dikişlerini ve ısıdan etkilenen bölgeleri, cüruf atıklarından, sıçramalardan, tav renklerinden ve diğer oksidasyon ürünlerinden arındırmak gerekir. Yüzey ne kadar az pürüzlü ve düzgün olursa korozyon dayanımında o kadar iyi olur [12]. Kaynak sıçramaları, cüruf veya kalıntılar yüzeyden uzaklaştırılmadığı takdirde korozyon oluşumunu başlatacaktır. Kaynak bölgesindeki

tortular herhangi bir ısıl işlemde önce kaldırılmalıdır [21]. Hijyenik ortamlarda kaynaklı parçanın kullanımı durumunda kaynak sonrası işlemlerin önemi daha fazla olmaktadır.

Kaynak sonrası uygulanacak olan yüzey hazırlama işlemleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır. Bu tekniklerin kullanımı uygulanan kaynak yöntemine ve istenilen yüzey kalitesine bağlı olarak tek başına veya birkaçının kombinasyonu şeklinde olabilmektedir.

**Cüruf, kalıntı ve oksitlerin kaldırılması (Fırçalama):** Kaynak sonrasında oluşan cüruf dikkatli bir şekilde yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Kaynak sıçramaları, en zor kaynak sonrası kalıntılardandır. Bu sebeple yüzey, sıçramalara karşı plastik kaplamayla korunmalıdır. Paslanmaz çelik kaynağında bu işlemler sırasında kullanılan fırça veya benzeri ürünler, paslanmaz çelik esaslı olmalıdır [35]. Fırçalama yöntemiyle yüzeyde çok fazla bir pürüz oluşmamalıdır [37].

**Taşlama ve Parlatma:** Bu yöntemle derin kusurları ve çizikleri yok edebilmekteyiz [37]. Parlatma en yaygın olarak kullanılan yüzey bitirme işlemidir. Yine paslanmaz çelik kaynağında parlatma işleminde de kullanılan takımlar demir ile temasını engellemek için paslanmaz çelik esaslı olmalıdır [35]. Bu yöntemde aşağıdaki durumlar dikkate alınmalıdır.

- Doğru ve demir içermeyen taşlama takımları kullanılmalıdır.
- Çok sert bir yüzeyin oluşumu önlenmelidir. Kaba taşlamanın ardından ince taşlama yapılmalıdır [37]. Zımparalama inceliği uygulama yerine bağlıdır. 180 - 240 numara zımpara genelde uygundur [12]. Daha temiz yüzeyler için parlatma uygulanabilir.
- Yüzey fazla ısıya maruz bırakılmamalı ve uygulama esnasında yüksek basınç uygulanmalıdır [37]. 200 °C değeri sınır olarak kabul edilmelidir. Bu sıcaklık durumu pasif tabakanın oluşumunu engelleyen hafif yüzey oksitlenmesine sebep olmaktadır [35].

**Kumlama:** Kaplama amacıyla yüzeye püskürtülen parçacıklar; paslanmaz çelik, kuvarz kumu, cam taneleri ve diğer demir içermeyen sentetik veya madeni esaslı malzemeler olabilir [12].

**Dağlama:** Dağlama ile kaba pislikler ve yağ artıkları tümüyle uzaklaştırılır. Bu işlem daldırma, püskürtme, dağlama pastası veya jeli kullanılarak yapılır. Daha sonra suyla özenli bir temizleme gerekir ve atıkların nötralize edilerek uzaklaştırılması önemlidir. Temizleme sonrası kalabilecek atıklar korozyona neden olacaktır. Bu nedenle son olarak %20' lik nitrik asitle bir pasifleştirme yapılabilir. Bunun sonrasında da suyla özenli bir temizleme gerekir [12].

### **Kimyasal Arındırma**

**a. Asitle Arındırma:** Asitle arındırma kaynak sonrası oksitleri ve demir varlığını yok etmenin en yaygın yoludur. Asit uygulamasından sonra temiz suyla yıkama yapılmalıdır [37].

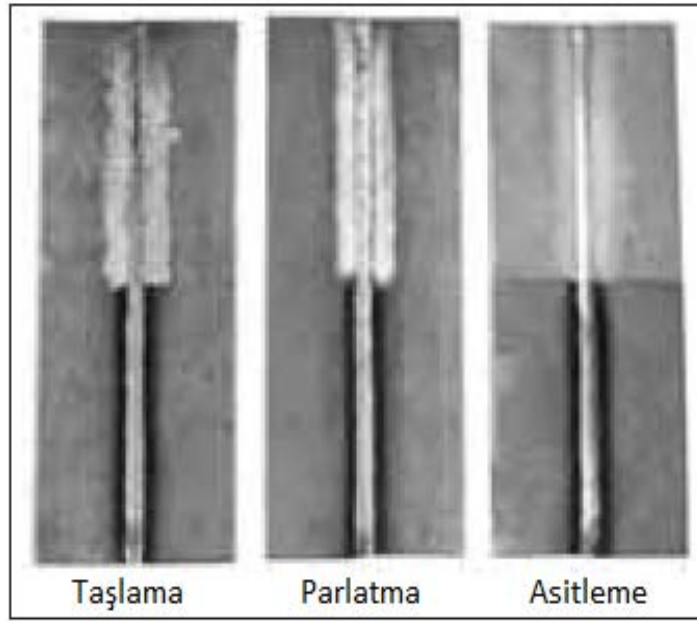
Östenitik paslanmaz çelikler için asit çözeltisi: %52 nitrik asit (100 l), %65 hidroklorik asit (20 l) veya sodyum florür (30 kg), su (900 l)

Ferritik paslanmaz çelikler için asit banyosu: %52 nitrik asit (100 l), %65 hidroflorik asit (10 l) veya sodyum florür (15 kg), su (900 l)

Daldırma süresi, 20 °C' de 15 dakika ile 3 saat arasındadır. Daldırma sıcaklığı ve daldırma süresi korozyonu önlemek için kontrol altında tutulmalıdır [35]. Asit banyosunun etkinliği aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- Yüzey: Organik kirliliğe uğramamış olması gerekmektedir.
- Sıcaklık: Asitin etkinliği, sıcaklık ile artmaktadır. Fakat uygulama esnasında sıcaklık limitleri dikkate alınarak uygulama yapılmalıdır.
- Asit çözeltisinin yapısı ve konsantrasyonu: Asit banyosu çözeltisi uygulamanın etkinliğini önemli ölçüde belirlemektedir.
- Paslanmaz çelik sınıfı: Yüksek alaşımlı türleri, daha agresif asit çözeltisine ve yüksek sıcaklıkta uzun uygulama süresine ihtiyaç duymaktadır.
- Kalınlık ve oksit tabakasının türü: Kaynak esnasında kullanılan koruyucu gaz, minimum oksit tabakasının oluşmasını sağlayacaktır.
- Bitmiş yüzey durumu: Pürüzlü sıcak çekilmiş malzemenin asitleme işlemi pürüzsüz olan yüzeye göre daha zor olabilmektedir [37].

Asit uygulaması asit banyosu şeklinde olabileceği gibi jel şeklinde de yüzeye uygulanabilmektedir. Uygulamanın sınırlı olduğu kaynak bölgelerinde kullanılmaktadır. Çeşitli konsantrasyonları bulunmakla beraber en çok kullanılanı nitrik asittir. Aside dayanıklı fırçayla uygulama yapılabilmektedir. Temizleme esnasında da paslanmaz çelik fırça kullanılmalıdır. Uygulama sonunda temiz suyla uygulama bölgesi temizlenmelidir [35]. Asit uygulaması, diğer yüzey işleme yöntemleri olan aşındırma ve parlatmaya göre daha iyi sonuç alınmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.14 Asit uygulaması ile aşındırma ve parlatma uygulaması karşılaştırılması [37]

**b. Pasifleştirme ve kirlilikten arındırma:** Geleneksel pasifleştirme çözeltilerinin temelini nitrik asit oluşturmaktadır. Çevre ve kullanım açısından bu yöntem tehlike oluşturmaktadır [37]. Pasifleştirme, çözelti veya jel olmak üzere iki şekilde uygulanabilmektedir. Çözelti, içerisinde %52 nitrik asit (250 lt) ve 750 lt su bulundurmaktadır. 20 °C' de, 15 dakika ile 1 saat arasında uygulanmaktadır. Jel uygulamaları genellikle bölgesel ve kaynak uygulamalarında kullanılmaktadır. Uygulama sonrası paslanmaz çelik veya naylon fırça ile temizlendikten sonra su ile yıkanmalıdır [35].

### **3.4 Paslanmaz Çeliklere Uygulanan Kaynak Yöntemleri**

Modern kaynak teknolojileri, 19. yy' in sonlarından önce lokal bölgelerde yüksek sıcaklık üreten yöntemlerin geliştirilmesiyle başlamıştır. Farklı ve standart kabul edilen türleri bulunmaktadır. Şu anda dahi, yeni yöntemlerin geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Son zamanlarda farklı ve çok ince malzemelerin ortaya çıkmasıyla beraber geliştirilen lazer ve elektron ışın kaynağı bu geliştirme çalışmalarına örnek olabilmektedir [39]. Bazı sınırlamalar dışında diğer çelikler için kullanılan tüm kaynak yöntemleri (gaz ergitme kaynağı dışında) paslanmaz çelikler içinde kullanılır [12]. Paslanmaz çeliğin kaynağında kullanılacak kaynak yönteminin seçiminde bazı parametreler bulunmaktadır. Bunlar; esas metalin türü, kalınlık, kaynak pozisyonu, kullanılan ekipmanlar, kaynakçının bilgi ve tecrübesi, kaynak ortamı ve verimliliğidir [37].

#### **3.4.1 Elektrik Ark Yöntemleri**

##### **3.4.1.1 Ergimeyen Elektrotla Kaynak Yöntemi**

###### **TIG Kaynak Yöntemi**

TIG kaynağı, esas olarak bir ark kaynağı şeklindedir. 1940 - 1960 döneminde geliştirilen bu yöntem, günümüzde önemli bir kaynak yöntemi olarak geçerliliğini korumaktadır [40]. Bu kaynak yöntemi 2. Dünya savaşının başlamasıyla birlikte havacılık sektöründe kullanımına ihtiyaç duyulana kadar bir üretime dahil edilmemiştir [41]. Özellikle alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif metallerin kaynağına uygundur [40]. Bunların yanında yüksek kaliteli plakalarla birlikte, paslanmaz çeliklerin ve alüminyumun boru kaynaklarında da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [42]. Özellikle 0.3 mm' den kalın malzemelerin boru kaynağında tercih edilmektedir [37]. Bu kaynak yöntemi MMA ve MIG kaynağının karışımı gibidir. Bu kaynak yöntemiyle elde edilen malzemeler havacılık, petro-kimya ve nükleer sektörlerinde kullanılmaktadır [42].

Yöntem yaygın olarak TIG adıyla anılır. TIG kaynağı, elektrik ark kaynağının daha ileri bir aşamasıdır. Bu prosesin tam adında tungsten kelimesi; arka elektrik akımını iletmeyi sağlayan, ergimeyen elektrodu, inert kelimesi; diğer elementlerle kimyasal olarak birleşmeyen bir gazı ve gaz kelimesi de; erimiş banyo ve arkı örten,

kaynak bölgesini çevreleyen havayı uzak tutan malzemeyi simgeler. Bu kaynak yöntemi, Heliarc veya Argonarc olarak da anılmaktadır. TIG yöntemiyle, genellikle diğer kaynak yöntemleriyle oluşturulan kaynaklara göre daha üstün özellikte dikişler elde edilir [40].

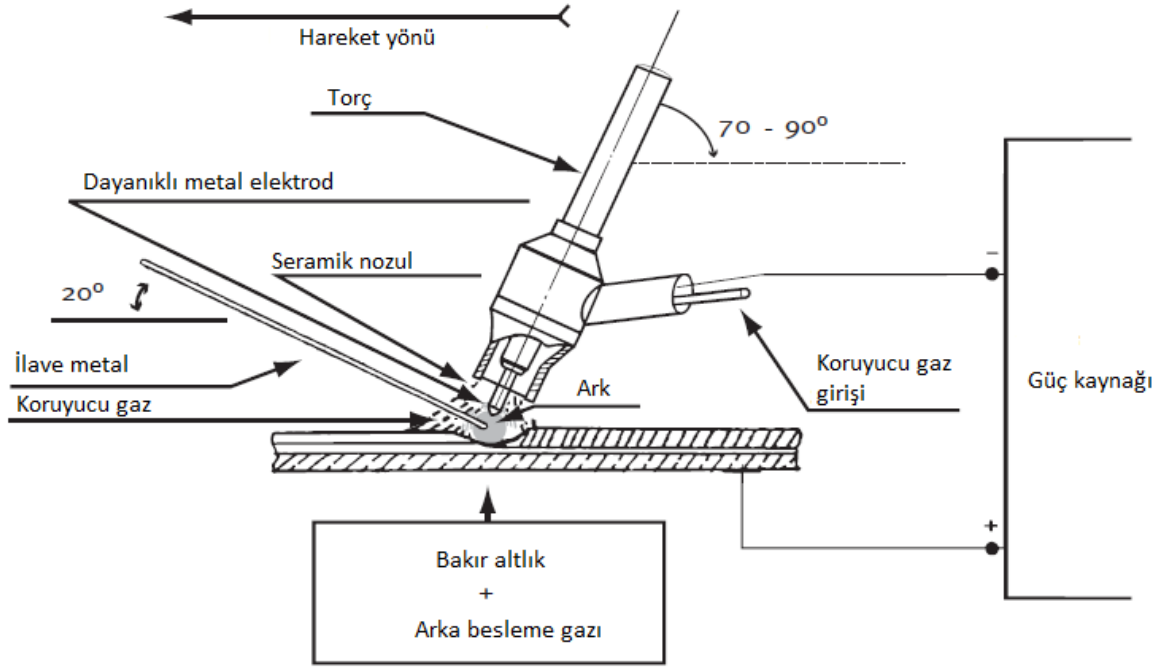
TIG kaynak yönteminin kullanılmaya başlanıldığı günlerden bu yana çeşitli geliştirmeler yapılmıştır. Güç kaynaklarında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Darbeli dc ve ac polarite güç kaynaklarının yanında su soğutmalı ve gaz soğutmalı kaynak torçları geliştirilmiştir. Tungsten elektrotlar çeşitli elemanlarla alaşımlandırılmış ve kaynak performansını arttıracak çeşitli gaz karışımları geliştirilmiştir [41].

#### • Kaynak Prosesi

Kaynak işlemi için torç içerisinde bulunan elektrot, ergimeyen tungsten elektrottur [41]. Ergimeyen elektrot %1 civarında zirkonyum ve toryumla alaşımlandırılır. Elektrodun akım taşıma kapasitesi bulunmaktadır. Bu kapasite, elektrodun uzunluğuna, koruyucu gazın türüne ve kaynak pozisyonu gibi parametrelere bağlıdır. Elektrot belirtilen akım için büyükse, ark kararsız olacak ve kaynak zorlaşacaktır [39].

Torç içerisinden elektrodu ve kaynak bölgesini koruyan, atmosferin olumsuz etkilerini azaltan gaz karışımı gönderilir [41]. Koruyucu gaz karışımı helyum, argon veya bunların karışımından oluşur. TIG kaynağında en yaygın koruyucu gaz olarak argon kullanılır. Elektrodun tatminkar şekilde korunabilmesi için koruyucu gazın saflık derecesi en az %99,95 olmalıdır. Hafif metallerde geniş ve derin nüfuziyet nedeniyle son yıllarda argon/helyum karışımlarının kullanılmasına doğru bir eğilim mevcuttur [40]. Kaynak metalindeki koruyucu gaz muhafazası yeterli değilse kaynak metalindeki bazı alaşım elemanları yanabilmektedir. Bu durumda açığa çıkan karbon elemanları, kaynak metalinde bulunmamalıdır. Ayrıca gözeneklere neden olan nemden de kaçınılmalıdır [43].

Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde koruyucu gaz olarak genellikle argon ve %5 hidrojen tercih edilmektedir. Hidrojen arkın verimliliğini arttırmakta ve oluşacak oksitlerin miktarını azaltmaktadır [39].



Şekil 3.15 TIG kaynağının şematik görünümü [35]

Ark, sadece bir elektrik iletkeni ve ark taşıyıcısı olan tungsten elektrot ile iş parçası arasında yanar. Bu arkın oluşturduğu ısı ile birlikte esas malzeme ergimekte ve birleşme meydana gelmektedir. İlave malzeme, kural olarak akım yüklenmemiştir; kaynak bölgesine yandan veya önden, elle sevk edilen veya ayrı bir sevk aparatından gönderilen tel formundadır [40].

TIG kaynağında ısı girdisi ilave metal oranına bağlı değildir. Kaynak prosesi, ısı kontrolünü gerçekleştirmekle birlikte, yüksek kaliteli kaynak yapısı ve düşük distorsiyonların meydana gelmesini sağlamaktadır. Bu yöntem diğer elektrot ark kaynak yöntemlerinden daha ekonomiktir [44].

TIG kaynak yönteminde ısının ve ilave telin kontrol edilebilmesi sebebiyle daha hassas kaynak yapılabilir. İyonizasyon anında serbest hale gelen elektronlar, iş parçası ve tungsten elektrot arasında iletken bir yol oluşturmaktadır. Bu sebeple ark, tungsten elektrodun iş parçasına teması olmadan direkt olarak başlamaktadır [39].

Paslanmaz çelikler, DCEN (doğru akım negatif elektrot) veya DCSP (doğru akım düz polarite) modunda kaynak edilmektedir. Bu kaynak yönteminin paslanmaz çeliklerde kullanılması durumunda şu avantajlar oluşmaktadır.



- Yoğunlaştırılmış ısı kaynağı ile dar etki alanı
- Dengeli ark, dar ve durgun bir kaynak banyosu oluşumu sağlamaktadır. Sıçrama olmamakta ve oksidasyon artıkları elimine edilmektedir. Bu sebeple kaynak sonrası temizlik basitleştirilmiştir.
- Çok iyi metalürjik kalite ve tüm pozisyonlarda nüfuziyet kontrol edilebilmektedir.
- Sessiz ve gözeneksiz kaynak dikişleri oluşturulmaktadır..
- Düşük miktarda elektrot yıpranması görülmektedir.
- Kolay uygulanabilme özelliği sunmaktadır [35].

Bu avantajlarının yanında TIG kaynak yönteminin bir takım dezavantajlarında bulunmaktadır. Bunlar;

- İlave metalin çökeltme oranı düşüktür.
- Diğer ark kaynak yöntemlerine göre daha maliyetli olmaktadır.
- Cereyan oluşan ortamlarda kaynak bölgesini korumak zorlaşmaktadır [41].
- İlerleme hızı diğer kaynak yöntemlerine göre düşüktür.
- UV ışınları diğer kaynak yöntemlerine göre daha parlak olmaktadır [45].

#### • Kaynak Parametreleri

TIG kaynağında öncelikli değişkenler, akım türü, ark uzunluğu ve ilerleme hızıdır. Ark ile üretilen enerji, akım ve gerilim değerlerine göre değişim göstermektedir. Birim uzunluğa aktarılan kaynak metali kaynak hızıyla ters orantılıdır. Helyum, argona göre arkı daha iyi korumaktadır. Bütün bu parametreler kaynak kalitesi üzerinde oldukça etkilidir [41].

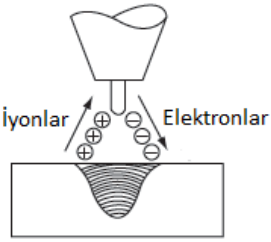
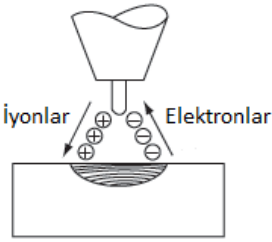
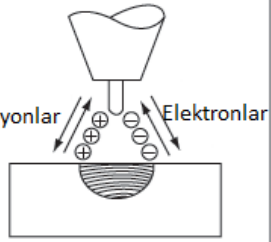



#### a. Akım Türü ve Kutuplama Şekli

Akımın kaynak yapısı üzerinde doğrudan etkisi vardır. Bu durum kaynak hızını ve kaynak kalitesini de etkilemektedir [44]. TIG kaynak uygulamasında temelde 3 farklı kutuplama türü bulunmaktadır.

- Doğru akım negatif elektrot (DCEN): Bu yönteme doğru kutuplama denmektedir ve TIG kaynak yönteminde en fazla bu yöntem tercih edilmektedir. Elektrot enerji kaynağının negatif kutbuna bağlanmıştır. Şekil 3.16' da gösterildiği gibi tungsten elektrondan yayılan elektronlar, ilerleme esnasında arka doğru hareket etmektedir. Bu kutuplama şekliyle derin ve dar kaynak nüfuziyetine sahip kaynak dikişleri elde edilir [46].

- Doğru akım pozitif elektrot (DCEP): Bu yönteme ters kutuplama denmektedir. Elektrot enerji kaynağının pozitif ucuna bağlanmıştır. Şekil 3.16' da gösterildiği gibi elektronların ısı etkisi, tungsten elektrotta iş parçasından daha fazladır. Bu sebeple yüzeysel kaynak dikişi oluşmaktadır. İnce plakaların kaynağında uygulanabilmektedir [46].

- Alternatif akım (AC): İyi nüfuziyet ile kaynaklı birleştirmeler sağlanmaktadır. Genellikle alüminyumun kaynağında tercih edilmektedir [46]. Alternatif akım kullanımında kutbun değişmesi, sırasıyla, elektrot pozitif kutup olduğunda oksit tabakasının parçalanmasına (katodik temizleme) ve elektrot negatif kutup olduğunda da tekrar soğumasına imkan sağlar. Bu nedenle iki yarı dalga, temizleme yarı dalgası ve soğutma yarı dalgası olarak adlandırılır. Bu bağlamda banyo yüzeyinin oksitten yeterli sekide temizlenmesi ve elektrodun dayanma süresinde önemli bir artış sağlanır [40].

| Akım tipi                | DC  | DC   | AC (Dengeli)  |
|--------------------------|---|--|---|
| Elektrod kutbu           | Negatif   | Pozitif  |   |
| Elektron ve iyon akışı   |  |  |  |
| Nüfuziyet karakteristiği |  |  |  |
| Oksit temizleme eylemi   | Hayır   | Evet   | Evet - her yarım çevrimde   |
| Arktaki ısı dengesi      | %70 iş sonunda<br>%30 elektrod sonunda  | %30 iş sonunda<br>%70 elektrod sonunda   | %50 iş sonunda<br>%50 elektrod sonunda  |
| Nüfuziyet                | Derin; dar  | Yüzeysel; geniş  | Orta  |
| Elektrod kapasitesi      | Mükemmel<br>ör., 3.18 mm (1/8 in.)-400A   | Zayıf<br>ör., 6.35 mm (1/4in.)-120 A   | İyi<br>ör., 3.18 mm (1/8 in.)-225 A   |

Şekil 3.16 TIG kaynağında 3 farklı kutuplama yöntemi [47]

Kural olarak TIG kaynağında doğru akımla kaynak yapılır [40]. Doğru akımla kaynak yönteminde daha derin nüfuziyet, daha dar kaynak bölgesi ve hızlı kaynak yapabilmek olanağı sunulmaktadır [44]. Bunun bir istisnası, alüminyum, magnezyum ve bunların alaşımları gibi hafif metaller ve ayrıca pirinç ve berilyum bakırı gibi bakır alaşımları alternatif akımla kaynak yapılır [40].

### **b.Arak Uzunluğu**

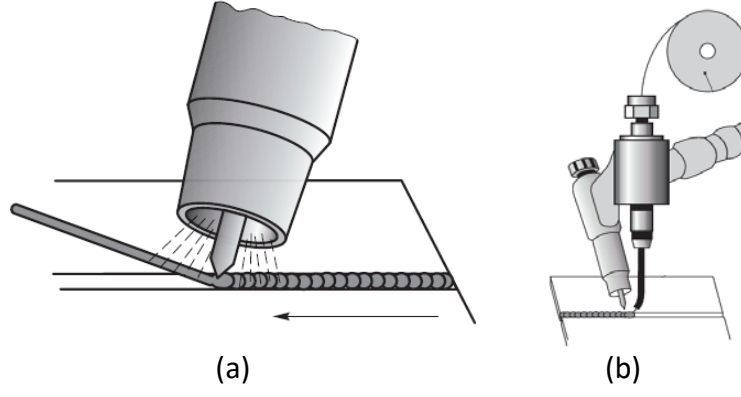
Ark uzunluğu, elektrot ucuyla iş parçası arasındaki uzunluktur. TIG kaynağında ark uzunluğu 2 mm ile 5 mm arasında olmaktadır. Eğer ark uzunluğu artarsa arkin kararlılığını korumak için gerilimi arttırmak gerekir. Fakat bu durumda iş parçasına ısı girişi de artmaktadır. Sonuç olarak kaynak nüfuziyeti ve kaynak kesitinde ergimiş malzeme derinliği, ark uzunluğunun artmasıyla azalmaktadır [44]. Ark uzunluğu olabildiğince kısa olmalıdır. Fakat çok kısa olması durumunda kirlilik riski bulunmaktadır [42]. Ark uzunluğu çeşitli parametrelere bağlı olarak değişim göstermektedir. Bunlar; ark akımı, elektrot ucunun kesiti, elektrot ile iş parçası arasındaki mesafe ve koruyucu gazın türüdür [41].

### **c. İlerleme Hızı**

TIG kaynak yönteminde ilerleme hızı, nüfuziyet ve kaynak genişliği üzerinde etkilidir [41]. İlerleme hızı malzemeye olan ısı geçişini ve maliyeti etkilemektedir. Fakat genişlik üzerindeki etkisi nüfuziyete göre daha belirgindir. Bazı kaynak uygulamalarında kaynak parametreleri kaynak hızına bağımlı olarak seçilir [41, 44]. Normal kaynak hızı, 100 mm/dk ile 500 mm/dk arasında değişim göstermektedir. Bu değerler, akıma, malzemeye ve malzeme kalınlığına bağlı olarak değişmektedir [44].

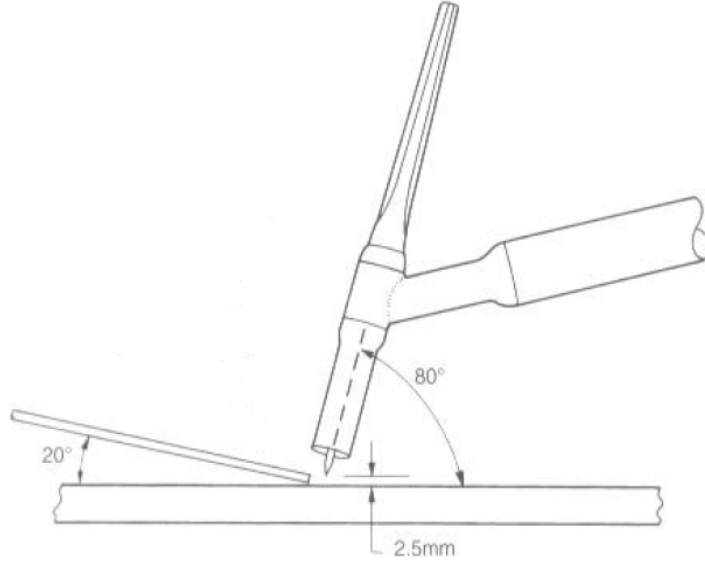
### **d.İlave Metal**

İlave metaller, genellikle 2 mm kalınlığının üstündeki malzemelerde kullanılırlar. İlave metallerin kimyasal yapıları esas metalinkine benzer olmalıdır. İlave metallerin çapları, 1.6 ile 3.2 mm arasında olmaktadır. Otomatik sistemlerde bobin halinde kaynak metaline sürülmektedirler [44]. İlave malzeme kaynak bölgesine kaynak personeli tarafından el ile veya otomatik olarak sevk edilebilmektedir.



Şekil 3.17 (a) El ile kaynak metali ilavesi (b) otomatik kaynak teli ilavesi [43]

Çubuklar, kaynakçı tarafından parça yüzeyiyle  $10^\circ$  ile  $25^\circ$  açı yapacak şekilde tutularak hafifçe dokundurma hareketleriyle öne doğru çekilir ve koruyucu gaz örtüsü altında damlalar halinde eritilmesi gerekir [40].



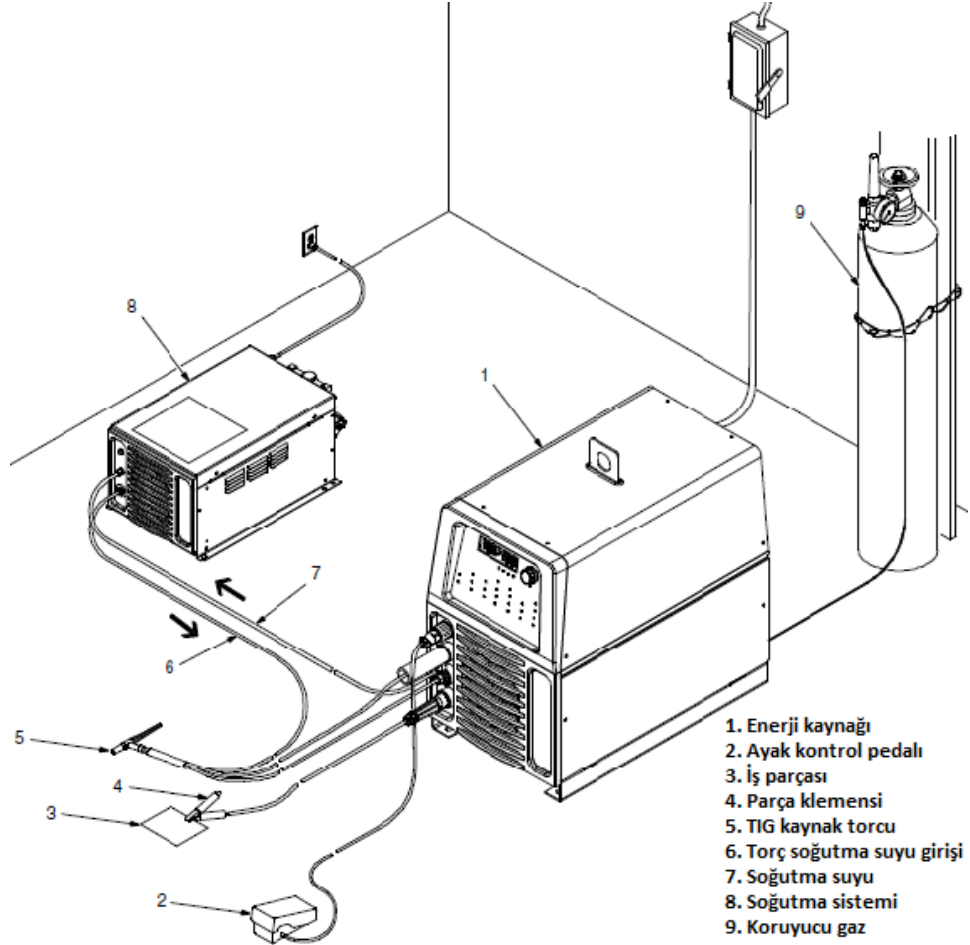
Şekil 3.18 Kaynak bölgesine el ile ilave tel beslemesi [42]

Nüfuziyeti zayıflatacağı için, ilave telin arkın altında kalmasından kaçınılmalıdır. Ancak doldurma kaynağı tamamen farklıdır. Bu işlemde genellikle düşük bir nüfuziyet ve karışma arzulanır. Buna ulaşmak için ilave telin kısmen arkın altında kalması ve orada ergimesi gerekir [40].

#### • Kaynak Ekipmanları

TIG kaynağı için gerekli ekipman ve malzeme, içinden gaz geçen ve koruyucu gazı ark çevresine yönlendiren bir meme ile ergimeyen tungsten elektrot içeren elektrot tutucusu veya torç; koruyucu gaz tüpü, basınç düşürme manometresi (basınç

regülatörü), akış ölçer (debimetre), kontrol pedalı, bir elektrik akımı üretici ve bazı makinelerde bir soğutma suyu devresinden oluşur.



Şekil 3.19 TIG kaynak ekipmanları [45]

#### a. Enerji Kaynağı (Kaynak Makinesi)

AC ve DC enerji kaynakları standart jeneratörlerle, doğrultucularla veya transformatörlerle beraber TIG kaynağında enerji kaynağı olarak kullanılırlar. Stabil operasyonlarda enerji kaynağı, düşen karakteristik göstermektedir. Böylece gerilimde varyasyonlar meydana geldiğinde, ark uzunluğu büyük ölçüde sabit kalır [23].

TIG kaynağında ağırlıklı olarak negatif bağlantılı elektrodun kullanıldığı DC enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu sayede ısının büyük kısmı iş parçasına iletilmektedir. Fakat alüminyum ve magnezyum gibi malzemelerin fazla ısıyla zarar görmesi sebebiyle, AC tip enerji kaynağı kullanılmaktadır. TIG enerji kaynakları, genellikle elektronik kontrollüdürler [28].

Kaynak makinesinin seçiminde bazı kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar; kaynak yapılacak malzemenin türü, kaynak edilecek malzemenin kalınlığı, kaynak uygulamasına uygun paket çözüm, sistem performansını etkileyecek aksesuar parçaları ve fiziksel makine boyutlarıdır. Kaynak makinelerinde kaynak işlemi 4 basamaktan oluşmaktadır [45].

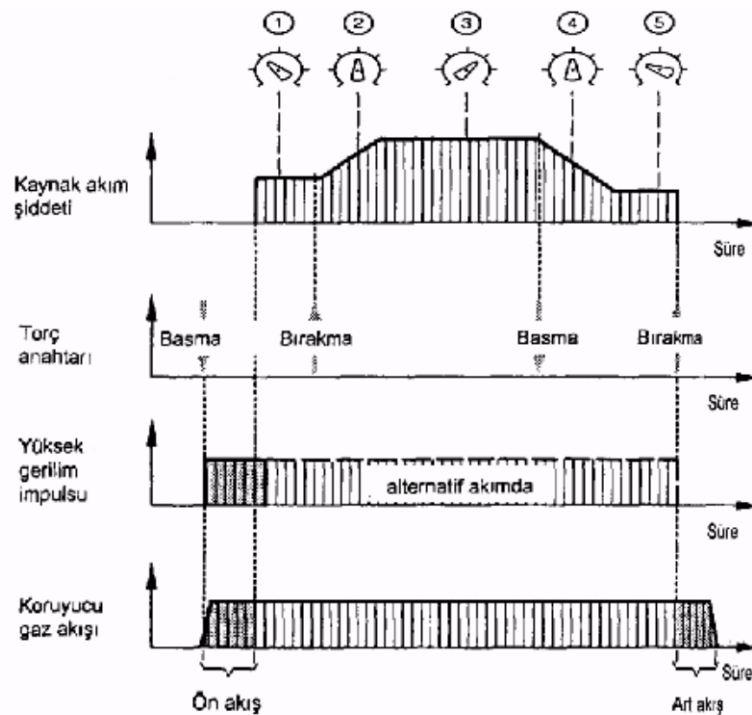
**1. Zaman:** Tetiğe basılır ve tutulur, önce koruyucu gaz akmaya başlar, yardımcı tutuşturma başlar, ark düşük akım şiddetiyle tutuşur - ark tutuşmadığında, koruyucu gaz ve yardımcı tutuşturma tekrar kapanır (tasarruflu kumanda).

**2. Zaman:** Tetik bırakılır, ayarlanan kaynak akımı sürer.

**3. Zaman:** Tetiğe tekrar basılır ve basılı tutulur, akım ayarlanabilen bir zaman içinde sürekli olarak azalır.

**4. Zaman:** Tetik bırakılır, akım kesilir, koruyucu gaz, ayarlanabilen bir süre daha akar.

Şekil 3.20, kaynak akımının bu şekilde programlanabildiği bir TIG kaynak makinesi için kontrol parametrelerinin zamanla değişimini göstermektedir [40].



Şekil 3.20 Programlanabilen bir TIG kaynak makinesinde ayar parametrelerinin zamanla değişimi [40].

TIG kaynak yönteminde kaynak işleminin başlayabilmesi için elektrodla iş parçası arasında arkın tutuşması gerekmektedir. Elektrodun parçaya temasıyla tutuşturma, yüksek frekans girişimi ile tutuşturma, yüksek gerilim impulslarıyla tutuşturma çeşitli ark tutuşturma yöntemleridir.

### **b. Ayak Kontrol Pedalı**

Ayak pedalı veya torç üzerindeki buton kullanılarak gaz ve su akışı ve HF selenoid kontrollü olarak kontrol edilir. Ayak pedalını geniş kullanım alanlarında hareket ettirmek sıkıntılı olabilmektedir. Fakat tezgah çalışmalarında kullanılabilirliği bulunmaktadır [42].



Şekil 3.21 Ayak kontrol pedalı [48]

### **c. Parça Klemensi**

Parça klemensi, kaynaktan önce iş parçasına veya iş parçasının bulunduğu tezgaha, diğer ucu ise kaynak makinesine bağlanmalıdır. Bu sayede elektrik akımı iş parçasına iletilecektir [48].

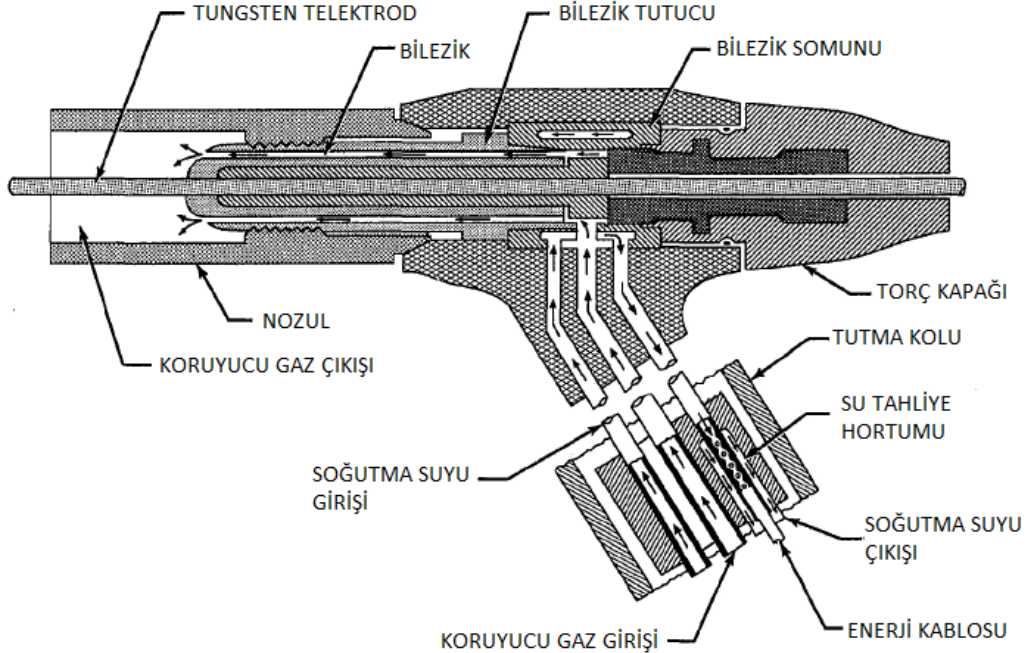


Şekil 3.22 Parça klemensinin iş parçasına veya tezgaha bağlanması [48]

#### d. TIG Kaynak Torcu

TIG kaynak torcu, özel olarak tasarlanmış bir elektrot tutucusudur. Torç, çeşitli boyutlarda tungsten elektrotları kolaylıkla kullanabilecek tarzda imal edilmiş olup, koruyucu gazın akışını yönlendirecek, değiştirilebilen bir gaz memesi ile donatılmıştır. Torçların bazıları hava soğutmalıdır, ancak su soğutmalı torçlar daha yaygın şekilde kullanılmaktadır [40]. El ile TIG kaynak uygulaması için kullanılan kaynak torçları ağırlıklı olarak 120°'lik bir açıya sahiptirler. Manuel torçlar, akım ve gaz akışını kontrol etmek amacıyla anahtar ve valf barındırmaktadır [41]. Torçlar farklı büyüklüklerde imal edilebilmektedir. Torçların boyutu genel olarak soğutma kapasitelerine göre değişiklik göstermektedir [43].

Su soğutmalı bir torç, bir tutamak, bir elektrot tutucusu, koruyucu gazı arka ileten bir ortam, elektrik akımını arka ileten bir iletken ve soğutma suyunu torç kafasına ileten bir hortumdan oluşur [40]. Su soğutmalı torçlar, aynı çaptaki gaz soğutmalı torçlara göre daha dayanıklı olmaları sebebiyle yüksek akım değerlerinde kullanılmak üzere tasarlanmışlardır [41].



Şekil 3.23 Su soğutmalı TIG kaynak torcu kesiti [41]

Gaz soğutmalı torçlar, soğutma işlemini torca doğru giden serin koruyucu gaz ile yapmaktadır. Maksimum kullanılabilen akım değeri 200 A olarak sınırlandırılmıştır [41].



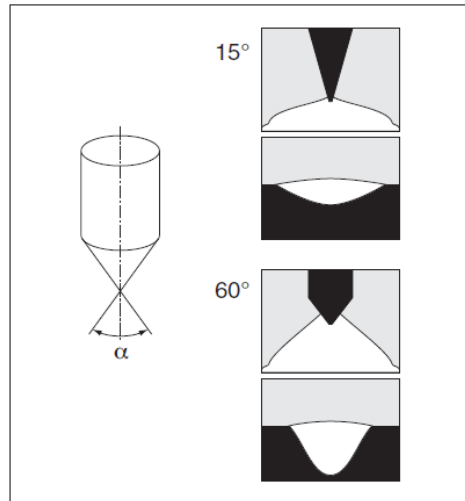
### e. Tungsten Elektrot

Tungsten elektrodun fonksiyonu, kaynak işleminde gerekli olan ısı için arkın elektrik terminalini oluşturmaktır [41]. Tungsten elektrotların malzemesi şu özelliklerin kombinasyonunu oluşturmaktadır; düşük elektrik direnci, yüksek ergime noktası, iyi elektron emisyonu ve iyi termal iletkenlik [28].

Bu elektrotlar, genellikle silindirik çubuklar olup, tungsten metalinin yüksek ergime sıcaklığı (3390 °C) nedeniyle döküm yöntemiyle değil sinterlenerek ve bağlayıcı ile birleştirilerek imal edilir [40]. En çok kullanılan çaplar, 1.6 – 2.4 – 3.2 ve 4 mm' dir [43].

Elektrotlar bazı alaşım elemanlarının ilavesiyle stabil hale getirilmektedirler. Toryumlu elektrotlar, %2 civarında toryum oksit içermektedir. Bu elektrotlar DC kaynağı için idealdir. Zirkonyumlu olanlar ise alüminyumun AC kaynağı için uygundur [42]. Tungsten elektrotlar kimyasal kompozisyonlarına göre sınıflandırılmışlardır [43]. Elektrot çapları kullanılan yöntem ve akım değerine göre değişiklik göstermektedir [48].

Tungsten elektrodun uç açısı nüfuziyet için önemli bir parametredir. Dar uç açısı (15-30°) geniş ark oluşturarak düşük nüfuziyet oluşmasına sebep olabilir. Bu uygulama, ince malzemeler için uygun olabilmektedir. Daha geniş açılar (60-75°) daha dar ark oluşturarak derin nüfuziyet sağlamaktadır [37].



Şekil 3.24 Elektrot açısının nüfuziyete etkisi [37]

Elektrodun kaynak banyosunda kalıntı oluşturmasını engellemek için elektrot ucu taşlama ile işlenmelidir [37]. Kaynakta iyi sonuç alabilmek için elektrodun taşlamasına

dikkat edilmelidir. Elektrot, taşlama diskinin dönme yönüne dik olarak taşlanmalıdır [43].

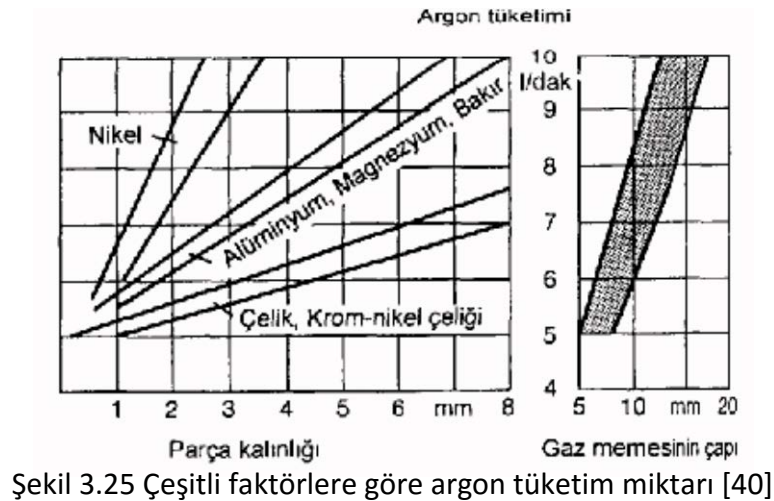
#### f. Koruyucu Gaz

Koruyucu gazlar, kaynak bölgesinin atmosferik etkilerden korunması amacıyla kullanılmaktadır. Atmosferik temasa maruz kalan kaynak bölgesi poroziteye, kaynak çatlaklarına ve kaynak bölgesinde kimyasal değişimlere neden olur. Ayrıca koruyucu gazlar arkın stabilitesinin korunmasında etkindirler [44].

Argon en çok kullanılan koruyucu gazdır. Argon gazının, helyum gazına göre tercih edilmesinin sebepleri şunlardır; düzgün ve sessiz ark hareketi, azaltılmış penetrasyon, magnezyum ve alüminyum gibi malzemelerin kaynağında temizleme faktörü, daha düşük maliyet ve daha kolay ulaşılabilirlik, iyi bir koruma için düşük akış oranı ve kolay ark başlatmadır [41].

Argon düşük iyonizasyon potansiyeline sahiptir ve havadan ağırdır. Argon karbon alaşımlı çeliklerin, paslanmaz çeliklerin ve ince alüminyum malzemelerin kaynağında kullanılır. %5' e kadar hidrojen karışımı argon gazı genellikle östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır [44].

Koruyucu gaz tüketimi ve ayarlanması gereken gaz debisi; malzemenin kalınlığından, esas metalden, elektrot çapından ve ilave tel çapından etkilenir. Koruyucu gaz tüketimi, akış miktarının bağlı olduğu gaz memesinin çapı ile belirlenir. Şekil 3.25' de parça kalınlığına ve gaz memesinin çapına bağlı olarak argon tüketimi ile elektrot çapı, gaz memesi ve ilave kaynak teli çapı arasındaki ilişki verilmiştir [40].

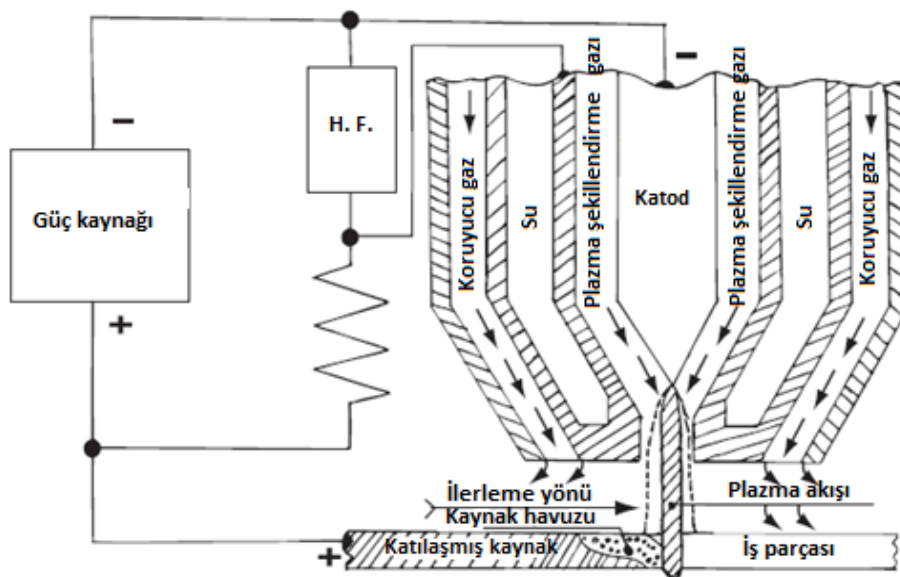


## Plazma Ark Kaynağı (PAW)

Plazma ark kaynağı, endüstride kullanılmak üzere TIG kaynak yönteminin alternatifini olarak geliştirilmiştir. Bazı uygulamalarında, diğer kaynak yöntemlerine göre yüksek kaynak hızları, iyi kalitede kaynaklar ve daha az hassasiyetle kaynak olanağı sağlamaktadır [31]. TIG kaynağı ile arasındaki önemli farklardan birisi ise ark plazmanın, bir nozul ile daraltılarak 10000 °C ile 20000 °C arasında sıcaklıklara ulaşılan bir plazma akıntısı oluşturmasıdır [35]. Yüksek hızlardaki kaynak işlemi sebebiyle full otomatik uygulamaları ağırlıklı olarak tercih edilmektedir [37]. Plazma ark kaynağı kaynak edilebilirliği zor olan malzemelerin kaynağında çözüm olmaktadır [47].

### • Kaynak Prosesi

Bu yöntem TIG kaynağına benzerdir; arkın yoğunlaşmasıyla daha yüksek bir enerji yoğunluğu elde edilir. Plazma gazı olarak argon kullanılır ve östenitlerin kaynağında az miktarda hidrojen katılabilir [12]. Küçük çaplı bölgede oluşturulan arkı ve kaynak bölgesini, koruyucu gaz desteklemektedir [23]. Dış koruyucu gaz olarak genellikle argon-hidrojen karışımları kullanılır [12]. Sıkıştırılan ark, plazma oluşturmak için argon gazını negatif ve pozitif olarak ayrıştırmaktadır. Plazma gazı ark yolundan akarken nötr atom oluşturur ve ısı şeklinde enerji oluşur. Nozul boyunca akan ve iyonize olmuş argon gazı, akım arttığında iş parçası ve elektrot arasında birincil arkın başlamasını sağlar [23].



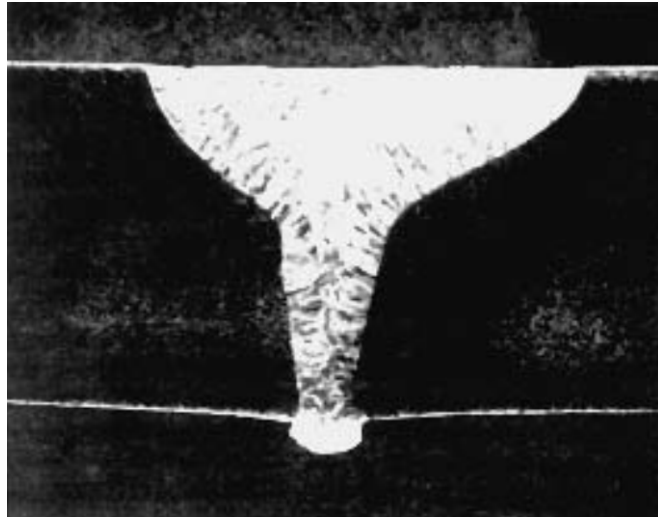
Şekil 3.26 Plazma ark kaynağı [35]

Delik çapına ve plazma gazının akış oranına göre 3 farklı çeşidi bulunmaktadır [49].

- Mikroplazma: Ark, çok düşük akımlarda (0.1 - 15 amps) çalışmakta ve ince malzemelerin kaynağında (0.1 mm' den ince malzemelerde) kullanılmaktadır [49]. İnce kesitli paslanmaz çeliklerin kaynağında ağırlıklı olarak tercih edilmektedir [37].

- Orta akım: Ark, 15 ile 200 amps akım değerleri arasında çalışmaktadır. Bu yöntemde yüksek nüfuziyet ve yüzey kirlilik temasında büyük toleransa sahiptir.

- Plazma ark: Ark, 100 amps akım değerinin üstündeki ve yüksek plazma akış oranlarıyla çalışmaktadır. 10 mm'nin üstündeki kalınlıkta malzemeye nüfuz edebilmektedir. Tek pasolu kaynaklarda bu sınır 6 mm' ye düşmektedir [49]. Aşağıda, Lesnewich' in uyguladığı plazma kaynağıyla, 13 mm kalınlığındaki 304 kalite paslanmaz çeliğin kaynağında kaynak bölgesinin kesiti görülmektedir. Şekildende anlaşılacağı üzere bu malzemenin kaynağı derin nüfuziyet etkisi sebebiyle tek pasoda kaynak edebilme şansı oluşturmaktadır. Plazma ark kaynağında kullanılan kaynak hızı değerlerinde, TIG kaynağı ile aynı kaynak görüntüsünü elde etmek zordur [46].



Şekil 3.27 AISI 304 paslanmaz çeliğin plazma ark kaynağı [46]

Plazma ark kaynağında birtakım avantaj ve dezavantajlar bulunmaktadır. Avantajlarını sayacak olursak;

- Güç kaynağından daha iyi kontrol edilebilen rijit bir ark bulunmaktadır.
- Nozul ile iş parçası arasındaki mesafede, geniş bir tolerans aralığına sahiptir.
- Isı tesiri altındaki bölge oldukça dardır ve yüksek kaynak hızlarına ulaşılmaktadır [35].

- Düşük ısı girdisine maruz kalmaları sebebiyle düşük distorsiyon oluşmaktadır [12].
- İnce malzemelerin (8 mm) kaynağında ilave malzeme olmadan kaynak olanağı sağlamaktadır.
- Kaynak prosesleriyle kaynak kalitesi iyileştirilebilmektedir.
- Düşük kök kürenmesi olmaktadır.
- Arkın odaklanmasına, ark uzunluğu varyasyonlarının etkisi azdır.

Dezavantajları ise;

- TIG kaynak yöntemine oranla daha pahalı donanım tertibatına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Hassas kaynak ağzı hazırlanması gerekmektedir.
- Tutma tertibatı (fikstür) ve kalifiye işçilik gereksinimi bulunmaktadır [12].

#### • Kaynak Parametreleri

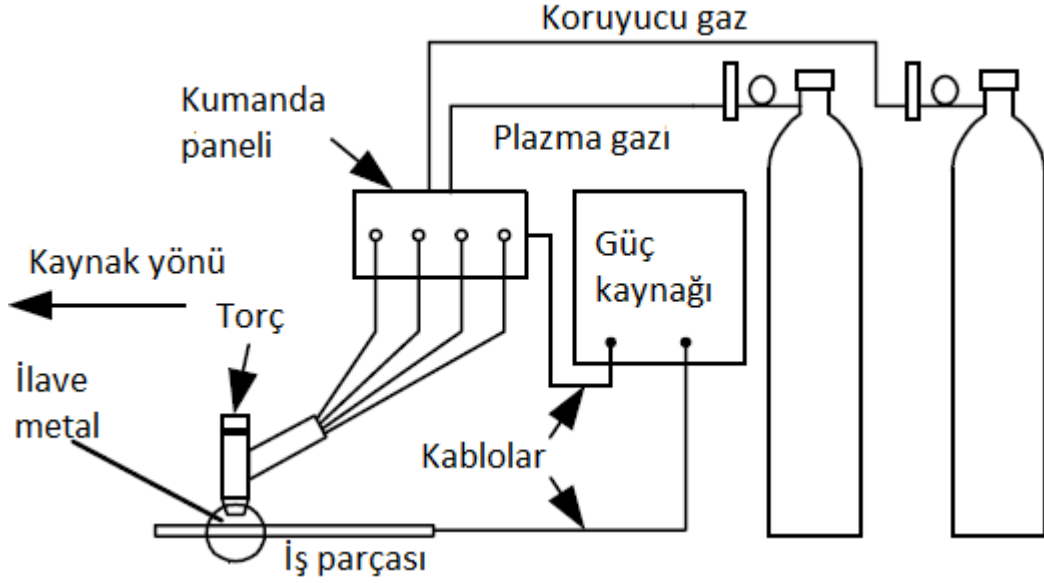
Plazma ark kaynağı için DCEN kutuplama kullanılmaktadır. Kaynak elemanının kalınlığı kaynak parametrelerini belirlemektedir. Aşağıdaki tabloda parça kalınlığına bağlı olarak kaynak parametrelerinin değişimi gösterilmektedir [37].

| Plazma kaynağı (keyhole) parametreleri |           |                    |                       |
|--|-----------|--------------------|-----------------------|
| Malzeme kalınlığı mm                   | Akım A    | Kaynak hızı cm/dk. | İlave malzeme çapı mm |
| 2                                      | 120 – 130 | 40 – 60            | 1.0                   |
| 4                                      | 150 – 160 | 30 – 40            | 1.2                   |
| 6                                      | 160 – 180 | 25 – 30            | 1.2                   |
| 8                                      | 200 – 250 | 15 – 20            | 1.2                   |

Şekil 3.28 Parça kalınlığına göre kaynak parametrelerinin değişimi [37]

#### • Kaynak Ekipmanları

Plazma ark kaynağında çeşitli ekipmanlar bulunmaktadır. Bu ekipmanların genel görüntüsünü içeren detay şekil 3.29' da verilmiştir.



Şekil 3.29 Plazma ark kaynağı ekipmanları [46]

**a. Kaynak Torcu:**

Kullanılan kaynak torcu TIG kaynak torcuna benzerlik göstermektedir. Plazma ark kaynağında kullanılan kaynak torçları genellikle su soğutmalı olmaktadır [28].

**b. Enerji Kaynağı (Kaynak Makinesi):**

Plazma ark kaynağında, TIG kaynağında olduğu gibi düşük karakteristikli DC kullanılmaktadır. Açık çevrimde gerilim en az 80 V olmalıdır [28].

**c. HF jeneratör:**

Genelde HF jeneratörünün amacı, TIG kaynak yöntemindekiyle aynıdır. Ancak plazma kaynağında kullanıldığı zaman HF jeneratör, ana arkı normalde tetiklemektedir. Bunun yerine transfer edilmeyen ark olarak, pilot arkı tetiklemektedir [28].

**d. Kontrol Ekipmanı:**

Gerekli kontrol ekipmanı, mekanize edilmiş kaynak prosesine bağlı olmaktadır. Ancak koruyucu gazın ilk ve son akışı, HF jeneratör ve pilot ark otomatik olarak kontrol etmektedir [28].

**e. Plazma Kaynak İçin Gaz**

Plazma ark kaynağında koruyucu gaz ve plazma gazı aynı gaz olarak kullanılabilir. Genellikle argon-hidrojen karışımı plazma ve koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır.

Argon/helyum/azot gaz karışımları, çift fazlı paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılır. Çünkü bunlar azot ve alaşımlarını içermektedir. Argon/helyum karışımı, sabit akımda plazma jetinde yüksek enerji sağlamaktadır. Ancak karışım en az %50 helyum içermelidir [28].

### **3.4.1.2 Ergiyen Elektrotla Kaynak Yöntemi**

#### **MIG Kaynak Yöntemi (GMAW):**

MIG kaynak yöntemi 1970' lere kadar en yaygın kaynak yöntemlerinden biriydi. Şu anda da sanayi uygulamalarında yoğun olarak tercih edilmektedir [28]. MIG (Metal Inert Gas) kaynak yönteminde ark, helyum veya argon gibi asal bir gaz atmosferi altında yanar; bu yöntemin TIG yönteminden farkı, arkın iş parçası ve kaynak metali gereksinimini karşılayan bir elektrot arasında oluşturulmasıdır [50].

MIG kaynak yöntemi olarak adlandırılan gaz altı kaynak yönteminde soy gaz olarak genellikle argon kullanılmaktadır [28]. Argon o zamanlar çok pahalıya mal olduğundan bu yöntem ilk olarak alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında uygulanmıştır [40]. Şu anda karbon çelikleri, paslanmaz çelikler, alaşımlı çelikler ve alüminyum gibi birçok malzemenin kaynağında kullanılmaktadır [39]. MIG kaynak yöntemi sürekli kaynak yöntemleri arasında ekonomik yöntemlerden biridir [37]. Çünkü yüksek kaynak hızlarına ve yüksek depozisyon oranları elde edilmektedir. MIG uygulamasında elektrot değişimi için sık duruşlar gerekmez. Ayrıca son temizlik uygulamasına çok fazla ihtiyaç duyulmamaktadır. Çünkü cüruf oluşumu azdır. Diğer kaynak yöntemlerine göre operatör becerisine daha az ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü ilave malzeme otomatik olarak beslenmektedir [44]. Kaynak metalinin özellikleri iyi seviyededir [37]. Bilinen tüm ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş dikişler arasında gazaltı metal ark (MIG/MAG) kaynağı ile yapılan kısmı, % 70' lik bir bölümünü oluşturmaktadır ve gelişimini sürdürmektedir [40].

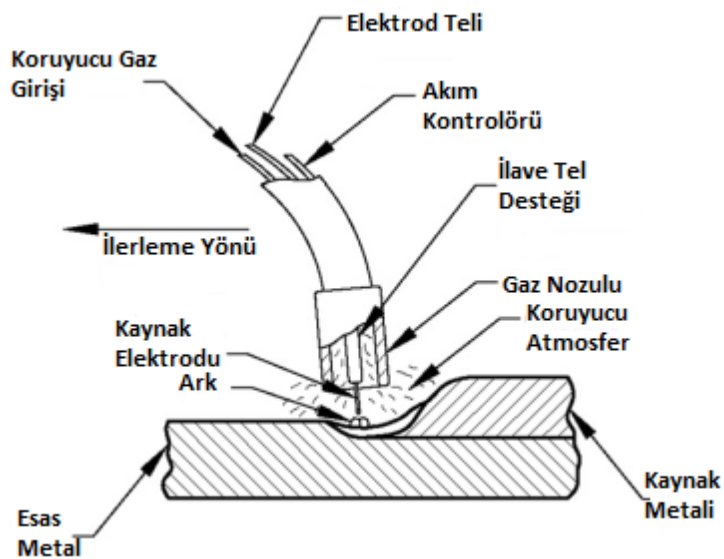
MIG kaynak yöntemi 1 mm' den 30 mm' ye kadar geniş bir malzeme kalınlığı aralığında kullanılmaktadır. Ayrıca bütün kaynak pozisyonlarında uygulanabilmektedir [44].

### • Kaynak Prosesi:

MIG kaynak yönteminde kaynak ısı, sürekli beslenen ilave metal ve iş parçası arasında arkın tetiklenmesiyle oluşmaktadır [35]. İlave malzeme kaynak bölgesine otomatik bir motor yardımıyla iletilmektedir [49]. Kaynak metalinin ve ilave metalin korunması argon ve helyum gibi bir soy gaz veya bunların karışımı ile sağlanmaktadır [40].

Yumuşak çeliklerin kaynağında, önceki çalışmalarda koruyucu gaz olarak argon kullanılmaktaydı. Ancak bu gaz oldukça pahalıdır ve tatmin eden kaynak biçimi olarak düşey konumda yapılabilmektedir. Bu sebeple alternatif bir koruyucu gaz aranmıştır. Bu yönde yapılan araştırmalar sonucunda koruyucu gaz olarak CO<sub>2</sub>' nin kullanımı uygun görülmüştür. Buradan hareketle MIG/CO<sub>2</sub> kaynak prosesi yumuşak çeliklerin kaynağında yoğun olarak kullanılmaktadır [49].

MIG kaynak yönteminde TIG yöntemine oranla daha yüksek ergime gücü elde edilir. Masif ve özlü tel elektrotlar da kullanılır. Tel çapları 0.8 ile 1.6 mm arasındadır. Kaynak doğru akımla ve tel elektrot (+) uçta olmak üzere yapılır [12]. Kaynak makinesinin kutuplarından biri elektroda diğeri de parçaya bağlanır; böylece ark, ergiyen elektrot ile iş parçası arasında yanar. Elektrot aynı anda hem enerji taşıyıcı hem de kaynak ilave metal görevi yapar [40]. Paslanmaz çelikler daima DCEP (Doğru Akım Elektrot Pozitif) veya DCRP (Doğru Akım Ters Kutuplama) modunda kaynak edilmelidir. Jeneratörün pozitif kutbu elektroda bağlanmalıdır [35].



Şekil 3.30 MIG kaynak yönteminin prosesi [51]



Bu yöntemin uygulanması çok basittir; toprak kablosunu iş parçasına bağlayıp, torcun ucundaki tel elektrodu kaynak ağzına değdirmek yeterli olmaktadır, zira sistem uygun ark boyunu, kendisi otomatik olarak sabit tutmaktadır [50]. MIG kaynak yöntemi, 3 farklı yöntemle uygulanabilmektedir.

- Yarı Otomatik Kaynak: Kaynak ekipmanı sadece ilave malzeme iletimini kontrol etmektedir. Kaynak tabancasının kontrolü el ile yapılmaktadır.

- Makine Kaynağı: Kaynak tabancası bir çeşit manipülatöre bağlanmıştır. Bir operatör manipülatörün hareketini kontrol edecektir.

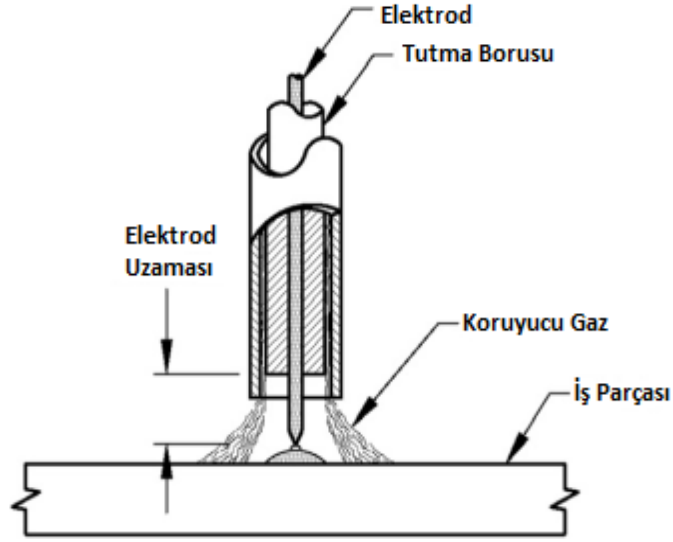
- Otomatik Kaynak: Kaynakçı veya operatör tarafından kontrol edilmeyen ekipmanlar kullanılmamaktadır. Otomatik algılama ile kaynak tabancasının otomatik pozisyonlaması sağlanmaktadır [52].

MIG kaynağında, operasyon koşullarında koruyucu gazın karakteristiği ile akım ve gerilim gibi kaynak parametrelerine bağlı olarak metal transfer türü uygulamaya göre değişim göstermektedir [23]. Arktaki metal transfer mekanizması önemli bir proses parametresidir [35]. Metal transfer sırası şu şekilde gerçekleşmektedir.

- Arkın oluşması
- İlave malzemenin esas metale temas edene kadar beslenmesi
- İlave telin malzemeye temas halindeyken ısınması
- Pinch etkisi ile ısınan ilave metalin ergimiş metale akması
- Arkın tekrar oluşması [49]

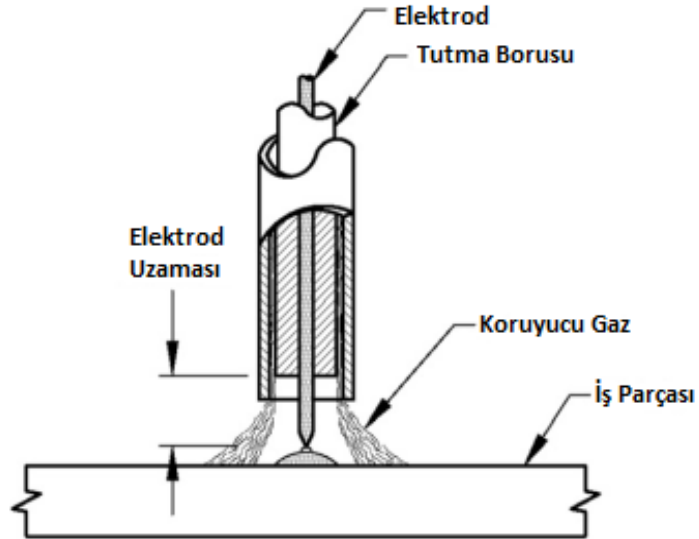
Metal transferinin oluşumu 4 farklı şekilde gerçekleşmektedir [23].

- Kısa ark: Kısa devre çevrimlerinin ölçüldüğü uzunlukta meydana gelir. Yaklaşık 200 Ampere kadar artan akımda, tüm koruyucu gazlar için kısa devre frekansı  $K^2/s$  artar. Bunun nedeni, damla büyüklüğü aynı kalırken tel ilerlemesinin artmasıdır [40]. Bu durum, düşük ısı girdisi sağlar. Bu prosesin dezavantajı, kısa ark kesildiği zaman kaynak metali banyosundan metal dışına sıçramaların olmasıdır [23].



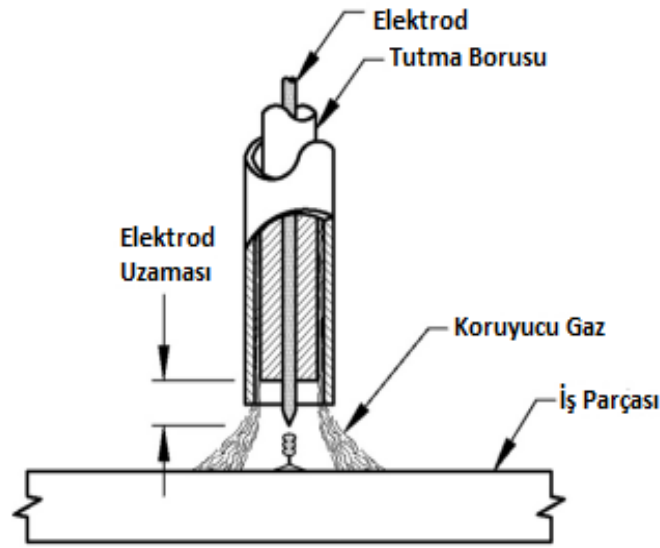
Şekil 3.31 Kısa ark prosesi [51]

-Orta ark (Damlasal transfer): Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre ile kaynak metali taşınımı yerine globüler (damlasal) metal taşınımı hali oluşur. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrodun uç kısmında ergime başlar ve bir damlacık oluşur. Damlacık irileşir ve elektrot çapını aştıktan sonra elektrottan kopar ve yerçekimi yardımı ile ark sütunu boyunca ilerler ve banyoya düşer. Ark geriliminin yüksek olması nedeni ile burada ark boyu uzundur ve dolayısı ile normal halde damla banyoya intikal ederken kısa devre oluşumu nadirdir [50]. Damlasal transferde sıçrama parçacıklarının boyutları ilave telin çapından daha büyük olmaktadır [37].



Şekil 3.32 Damlasal transfer prosesi [51]

-Sprey ark: Kaynak metalinin iş parçasına duşlama şeklinde geçişi, sprey ark halinde görülür. Kaynak metalinin iş parçasına bu şekilde taşınımı elektrot ucunun sivrileşmesi sonucu bu sivrilmiş uçların koparak iş parçasına çok küçük damlacıklar halinde geçişi ile gerçekleşir. Damlacıklar tel çapından çok küçüktür ve telden süratle ayrılırlar. Damla sayısı saniyede birkaç yüze kadar çıkabilir. Sprey ark genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gaz ile yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi kullanıldığında ortaya çıkar [50]. Sprey ark transfer yöntemi, metal transfer damlacıklarının daha düşük akımlarda meydana gelmesi nedeniyle alüminyum ve alüminyum alaşımlarının bütün pozisyonlardaki kaynağında kullanılmaktadır [23]. Sprey ark yönteminde ark, stabil, açık ve akıcıdır. Sıçramalar olabildiğince azdır [37].



Şekil 3.33 Sprey ark transfer prosesi [51]

-İmpuls ark: Bu yöntemin uygulanabilmesi için bu tür kaynak akımını üreten özel bir kaynak akım üreteciye gerek vardır. Burada darbeli doğru akım ile alternatif akımı birbirlerinden iyi ayırt etmek gerekir. Darbeli doğru akımda akım şiddeti, saptanmış iki değer arasında seçilmiş olan frekansta değişmektedir. Bu yöntem ile arzulanan her çalışma bölgesinde kısa devre oluşturmadan, iş parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak çalışmak mümkün olabilmektedir. Ayrıca frekansı ayarlayarak istenen sayıda ve irilikte ergimiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanabilmektedir. Bu yöntemin tek dezavantajı kaynak akım üretecinin ve tel iletme tertibatının pahalı ve donanımın bakımının da külfetli olmasıdır [50]. İmpuls ark yöntemi, bütün malzemeler için bütün kalınlıktaki malzemelerin el ile veya otomatik kaynağına uygulanabilmektedir.

Paslanmaz çeliklerin veya nikel esaslı ilave metalin kullanımında uygun kaynak olanağı sağlamaktadır [37].

#### • Kaynak Parametreleri

Kaynak parametreleri, elektrodun iş parçasına transferini, ark stabilitesini, sıçrama durumlarını, kaynak metalinin kesitini ve kaynak kalitesini etkilemektedir. Esas kaynak parametreleri, akım, gerilim, kaynak hızı, elektrot çapı, elektodu kapsayan özellikler ve elektrot uzantısıdır [44].

##### a. Akım

Doğru akım elektrot pozitif (DCEP), MIG kaynağında en fazla kullanılan yöntemdir. Çünkü stabil elektrik arkı oluşturmakta, düşük sıçrama, iyi kaynak geometrisi ve çok iyi nüfuziyet sağlamaktadır [44].

Kaynakta kullanılan akım şiddetinin ergime gücüne, kaynak dikiş biçim ve boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelerden daha fazladır. Sabit gerilim sistemli olan MIG kaynak makinelerinde, kaynak akım şiddeti tel hızı ile birlikte, tel hız ayarı düğmesinden ayarlanır. Tel ilerletme hızı arttıkça, kaynak akım şiddeti de artar. Kaynak akım şiddeti yükseldikçe ergime gücü de artar [50].

##### b. Gerilim

Ark gerilimi direkt olarak akımla ilgilidir ve ark uzunluğuyla beraber artmaktadır. Ayrıca gerilim, koruyucu gaz ve elektrot uzamasına da bağlıdır. Ark gerilimin artması yassı ve geniş kaynak dikişlerinin oluşmasına neden olur [44].

Bir uygulama için ark gerilimi, kullanılan koruyucu gaz, elektrot çapı, kaynak pozisyonu, ağız şekli ve esas metalin kalınlığı göz önünde bulundurularak saptanır. Her koşulda aynı kaynak dikişini veren bir sabit ark boyu mevcut değildir [50].

Nüfuziyet ise artan ark gerilimi ile bir optimum değere kadar artar ve bu değerden sonra azalmaya başlar. Yüksek ark gerilimi, nüfuziyetin azlığı dolayısı ile bazı geniş aralıklarda kök pasoda köprü kurabilmek için kullanılır [50].

### **c. Kaynak Hızı**

Kaynak hızı yarı otomatik yöntemlerde kaynakçı tarafından, otomatik veya mekanize yöntemlerde ise makine tarafından ayarlanır [50]. Kaynak bölgesinin boyutları kaynak hızlarına bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Fakat bu hızlar mevcut sınırlar içerisinde tutulmalıdır [42]. Kaynak hızındaki artış, iş parçasına ısı girişinde doğrusal bir düşüşe sebep olur. Kaynak hızındaki ilk artış, nüfuziyet derinliğinde biraz artışa sebep olur. Çünkü ark etkisi direkt olarak esas metalde oluşmaktadır [44].

En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum değerinde elde edilir ve bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise nüfuziyet azalır. Kaynak hızı yavaş olduğu zaman, birim zamanda birim alana yığılan kaynak metali artar ve buda kaynak banyosunun büyümesine neden olur. Çok akışkan hale gelen sıvı metal ağız içinde arkın önüne doğru akar ve nüfuziyetin azalmasına neden olur. Sonuç olarak geniş bir kaynak dikişi elde edilir. Kaynak hızının artması, dikiş yüksekliğinin artmasına neden olur [50].

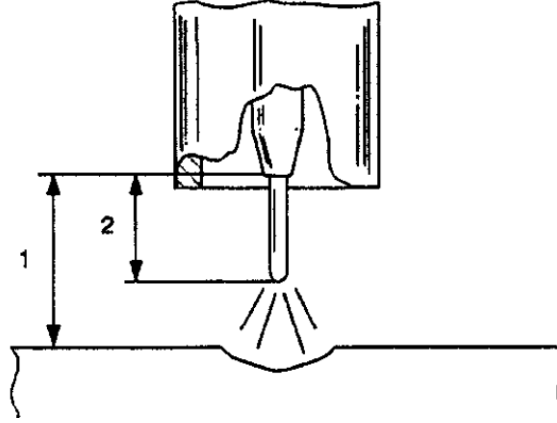
### **d. Elektrot Çapı**

Genel olarak ince çaplı elektrotlar ince saclar için, kalın tel elektrotlar da daha kalın parçalar için kullanılır [40]. İlave tel çapları genellikle 1.0 mm, 1.2 mm ve 1.6 mm' dir [23]. İlave telin çapı, kaynak akımına göre seçilmektedir. Örtülü ilave tellerin her biri geniş akım aralığında çalışabilmektedir [28]. Büyük çaplı elektrotlar daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabilirlerinden daha yüksek bir ergime gücüne sahiptirler ve daha derin nüfuziyetli dikişler oluştururlar [50].

Kaynak akımı uygun seçildiğinde, ince tel elektrotlar kısa arkla kullanılabilir gibi, sprey veya uzun ark ile daha büyük damla sayılarına ulaşmak suretiyle de kullanılabilir [40].

### **e. Elektrot Uzantısı**

Elektrot uzantısı, elektrot kanalından elektrodun mesafesini ifade etmektedir [44]. Mevcut kurala göre bu mesafe, 10 – 15 x elektrodun çapı şeklinde olmalıdır [28].

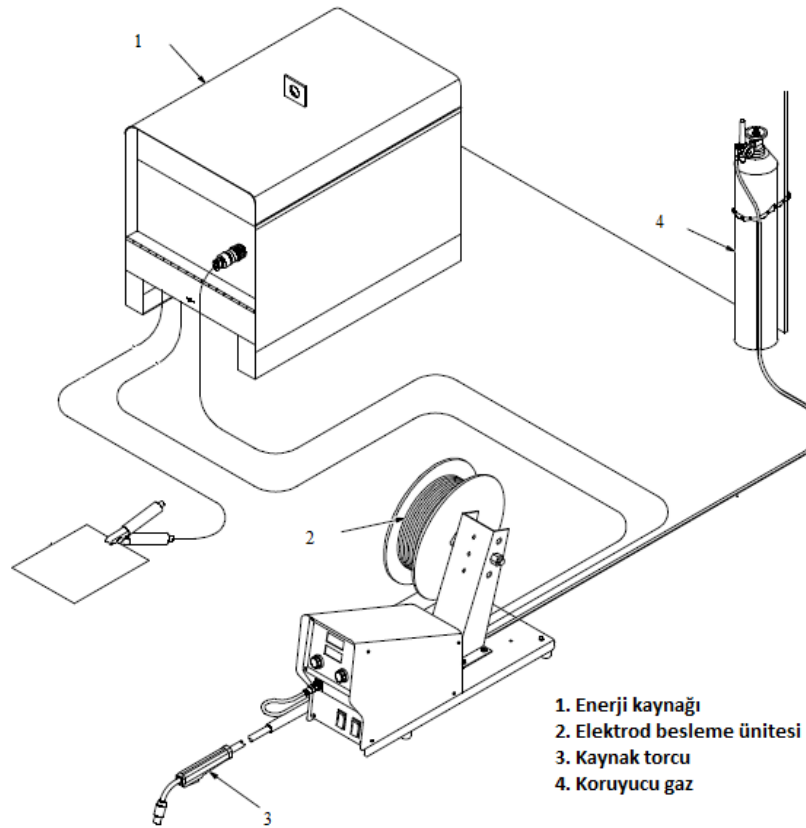


Şekil 3.34 Elektrot ucunun iş parçasına olan mesafesi(1) elektrot uzantısı(2) [28]

Elektrot uzantısının artması, torcun iş parçasına olan mesafesinin artmasıyla olmaktadır [44].

#### • Kaynak Ekipmanları

MIG kaynağı için temel ekipmanlar şekil 3.35’ de de görüldüğü gibi, kaynak makinesi (kaynak akım üretici), elektrot besleme ünitesi, kaynak torcu ve koruyucu gazdan oluşmaktadır [44].



Şekil 3.35 MIG kaynak ekipmanları [52]

### a. Enerji Kaynağı

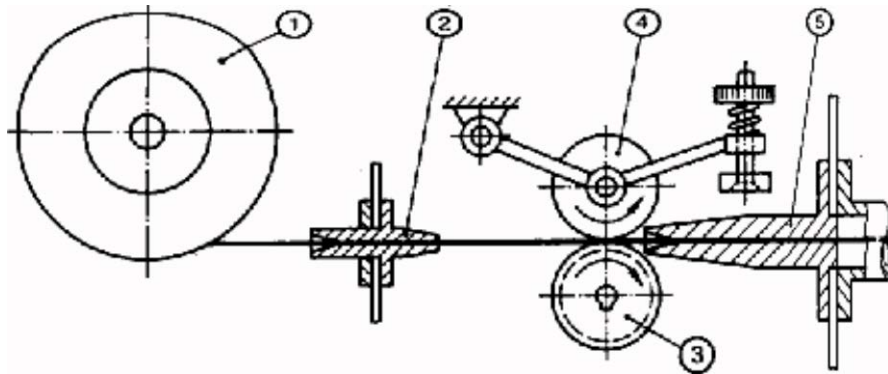
Genellikle yatay karakteristikli DC enerji kaynakları, MIG kaynak yönteminde tercih edilmektedir [28]. Bu yöntemde elektrot pozitif, iş parçası negatif akım yüklenmektedir. Enerji kaynağının seçiminde çıkış akımı ve çevrim zamanı dikkate alınmaktadır [42]. Sabit gerilimli olarak da adlandırılan bu kaynak akım üreteçlerinde, gerilimin tamamen sabit tutulması mümkün değildir [50].

Bu tür makineler, kısa çevrimde meydana gelebilecek sıçramaları kontrol edebilecek kontrol parametresine sahip olmaktadır. MIG kaynak invertörleri, darbeli akım oluşturmasını sağlamaktadır [44].

Bu tip kaynak akım üreteçlerinde iç ayar diye isimlendirilen ark boyu ayarı vardır. Ark gerilimi, tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Bu tür makinelerde tel ilerletme motoru belirlenen bir devirde döner, bu sebeple tel hızı sabittir. Bu kaynak yönteminde ark boyunun ayarlanması yarı otomatik kaynak halinde dahi, kaynakçının becerisine bırakılmamıştır. Ark boyu kaynak akım üretecinin yatay karakteristiği sayesinde kendinden ayarlanmaktadır [50].

### b. Elektrot Besleme Ünitesi

Tel elektrot sürme tertibatı, teli makaradan çekip önceden saptanmış bir hızla ark bölgesine gönderen bir mekanizmadır. Çalışma sistemlerine göre çekme, itme türü tertibatlar diye adlandırılırlarsa da prensip olarak çalışma bakımından birbirlerinden pek farkları yoktur. Hız ayarı kademesiz bir mekanik tertibat veya gerilimi değiştirilerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir [50].



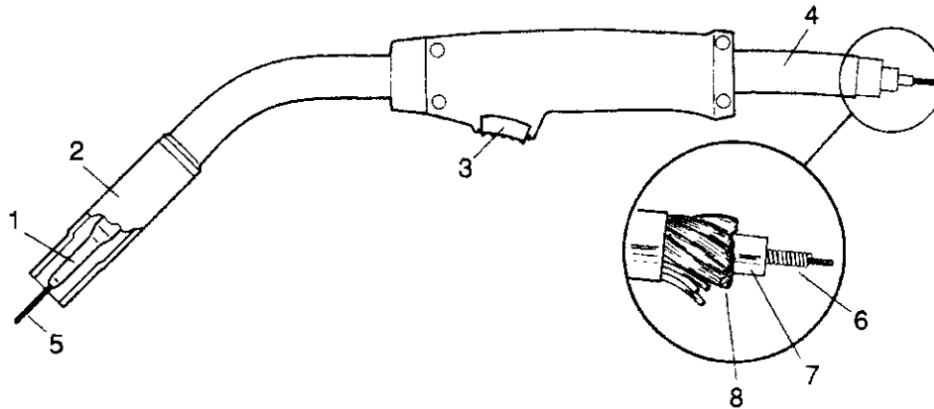
Şekil 3.36 Tel ilerletme tertibatı [40]

Tel iletme motoru, dönme hızı kademesiz olarak ayarlanabilen bir doğru akım paralel bağlantılı motordur. Modern cihazlarda motorun dönüş hızı, yükten bağımsız olarak sabit besleme sağlayan tristor üzerinden ayarlanır. MIG kaynağında tel besleme hızları 2 ila 20 m/dak arasında değişir [40]. Tel iletme tertibatı kaynak donanımıyla birlikte bulunabileceği gibi ayrı bir tertibat şeklinde de bulunabilmektedir [42].

### c. Kaynak Torcu

MIG/MAG kaynağında kullanılan torçlar, oluşturulan kaynağın kalitesine büyük etki yapar. Bu nedenle uygun torcun seçimi büyük öneme sahiptir. Başarılı bir kaynak işlemi için uygun bir torcun seçiminde; kullanılan akım üreticinin maksimum gücü, kullanılacak maksimum ve minimum tel çapı, kaynak yapılacak maksimum malzeme kalınlığı, iş yükü, ergonomik prensip parametreleri dikkate alınmalıdır [40].

Torcun ana fonksiyonu, elektrota elektrik akımı yüklemek ve elektrot boyunca iş parçasına koruyucu gaz göndermektir. Torçlar genel olarak akımın elektrota iletiği taşıma borusu, kaynak banyosuna düzgün akışı sağlayan nozul, tel besleme ünitesine sinyal gönderen buton ve tutucu koldan oluşmaktadır [44].



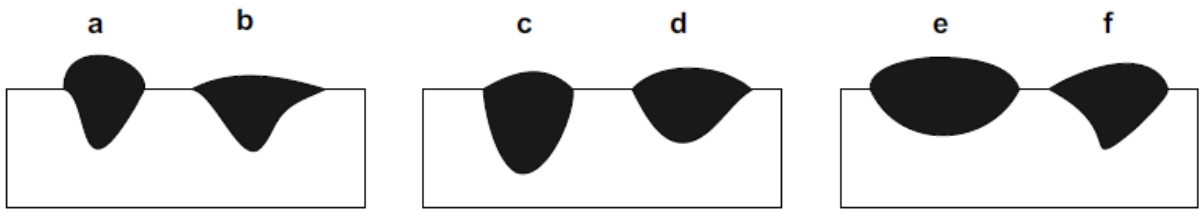
Şekil 3.37 MIG kaynak torcunun detayları; (1) taşıma borusu (2) nozul (3) switch (4) tutucu kol (5) elektrot [28]

### d. Koruyucu Gaz

Koruyucu gaz, kaynak bölgesinin atmosferin olumsuz etkilerine karşı korunmasına yardımcı olmaktadır [28]. Ayrıca koruyucu gazlar, ark kararlılığının, metal transfer modunun, kaynak kesitinin ve ergime oranlarının üzerinde de etkiye sahiptir. Kullanılacak olan gazlar, saf gaz, ikili, üçlü veya dörtlü şekilde karışım halinde



olabilmektedir. Soy gazlar, nikel ve bakır gibi hafif metallerinin kaynağında kullanılmaktadır. Helyumun iyonizasyon etkisi argondan fazladır. Fakat daha pahalıdır. Karbondioksit karbon metallerin kaynağında koruyucu gaz olarak tercih edilmektedir. Sıçrama etkisi ve nüfuziyet fazladır [44]. Argon %5 ile %20 oranında CO<sub>2</sub> karışımı orta ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında en çok kullanılan koruyucu gaz karışımıdır. Paslanmaz çelikler için genellikle argon kullanılır. Fakat az miktarda CO<sub>2</sub> ve oksijen ilavesi de olabilmektedir [28]. Aşağıda koruyucu gazların kaynak geometrilerine etkileri görülmektedir.



Şekil 3.38 Koruyucu gazın kaynak geometrisine etkisi: Argon – a; argon + oksijen – b; CO<sub>2</sub> – c; argon + CO<sub>2</sub> – d; helyum – e; argon + helyum – f [44]

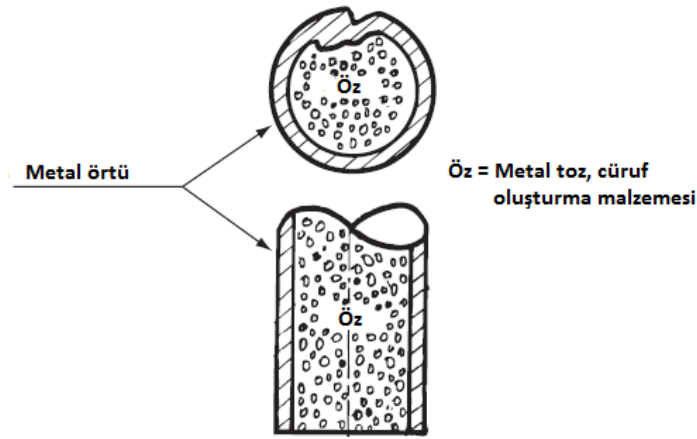
Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulması gereklidir; bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Kaynatılan metal veya alaşımın türü,
2. Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
3. Kaynak hızı,
4. Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
5. Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti,
6. Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler [50].

### **Özlü Tel ile Ark Kaynağı (FCAW)**

Özlü tel ile ark kaynağının kullanımı, 1920' lerde başlamıştır. Önceleri aşınmaya karşı dayanım sağlamak için kaplama amacıyla kullanılmıştır [28]. Özlü tel ile ark kaynağı yöntemi MIG kaynağının değişik bir versiyonu gibidir [23]. Bu yöntem genellikle ince malzemelerin (<5 mm) kaynağında kullanılmaktadır. Bu kaynak uygulamalarına örnek olarak basınçlı kaplar, kimyasal tanklar verilebilmektedir [37]. Alaşımsız çelik

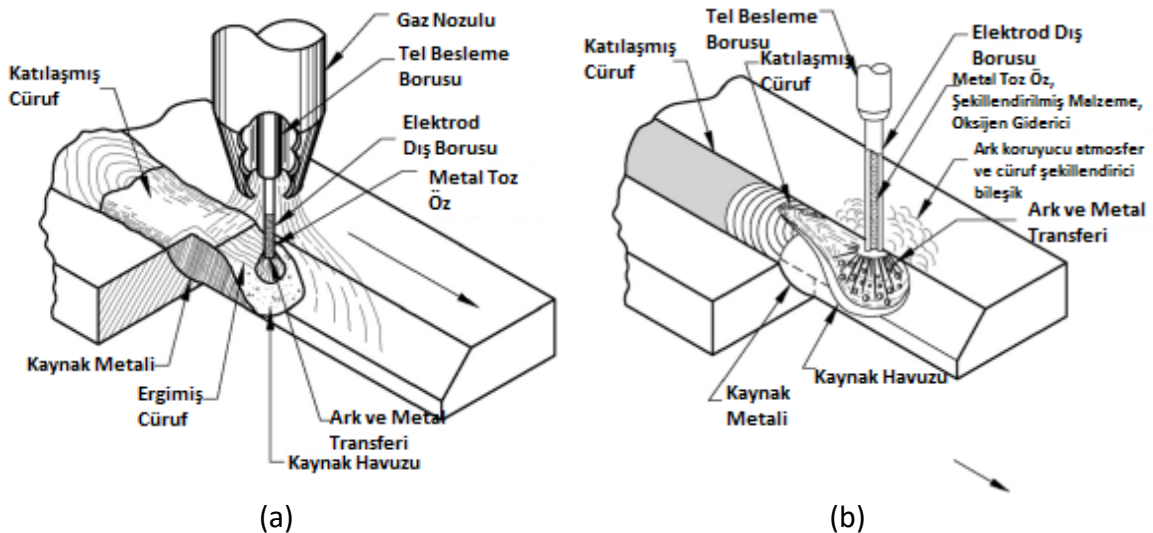
elektrodun içine toz şeklindeki alaşım bileşenleri kullanılarak yüksek alaşımlı dolgu malzemeleri üretilmektedir [28]. Elektrotta kullanılan boru genellikle 18/8 paslanmaz çelikten imal edilmektedir [37]. Bu yöntemde kullanılan örtülü elektrodun üzerindeki örtünün görevi koruyucu gazın yapmış olduğu işlevle aynıdır [46].



Şekil 3.39 Özlü elektrot teli(33)

Bu kaynak yöntemi, yüksek metal yığılma oranı, büyük esneklik ve iyi kaynak edilebilme özellikleriyle karakterize edilmektedir. Kaynak bölgesinde MIG ve TIG kaynak yönteminden daha fazla oksit bulunmasına rağmen sertlik daha düşüktür [37].

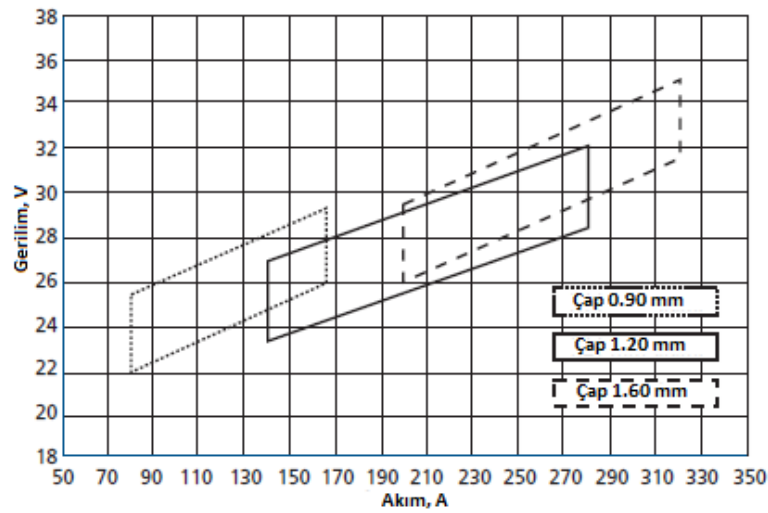
Öncelikli olarak sprey transfer modunda kaynak işlemi uygulanmaktadır. Yöntem koruyucu gaz ile veya koruyucu gaz olmadan uygulanabilmektedir [51].



Şekil 3.40 (a) Koruyucu gaz uygulamalı özlü tel ile elektrot kaynağı (b) koruyucu gaz kullanılmadan yapılan özlü tel ile elektrot kaynağı [51]

Gaz uygulamalı özlü tel ile elektrot kaynağı MIG kaynağına benzemektedir. Bu yöntem fabrikasyon üretime daha uygundur. Çünkü hava hareketi, koruyucu gaz örtüsünden 5 mph'dan daha az olmalıdır. Koruyucu gaz uygulaması olmadan yapılan özlü tel ile elektrot kaynağı basınçlı ürünlerin üretiminde tavsiye edilmemektedir. Gaz uygulamalı yöntemi ise basınçlı kapların imalatına, düşük hidrojenli özlü elektrot şartıyla uygulanmaktadır [51]. Özlü tel ile elektrot kaynağında DCEP kullanılmaktadır [37].

Yüksek gerilim, ark boyunun uzamasına neden olmaktadır. Bu durumda sıçramalar olmakta ve kaynak genişlemektedir. Çok düşük akım değerlerinde ise kısa ark oluşmaktadır. Aşağıdaki grafikte 308L ve 316L paslanmaz çeliklerin yatay pozisyonda kaynak edilmesi durumunda parametre aralıklarını vermektedir [37].



Şekil 3.41 Özlü tel ile elektrot kaynağında kaynak parametreleri [37]

Bu kaynak yönteminde kullanılan ekipmanlar MIG kaynak yönteminde kullanılan ekipmanlar ile benzerlik göstermektedir. Ancak kaynak torcu, elektrot besleme ünitesi ve enerji kaynağı daha yüksek bir akım yoğunluğu üretmeleri sebebiyle daha güçlü olmalıdırlar [28].

### Örtülü Elektrot Ark Kaynağı (SMAW)

Bu kaynak yöntemi, 1980'lerin başlarına kadar füzyon kaynağının baskın bir yöntemiydi. Bu yöntemde tel çubuğun dışına kaplama yapılarak elektrotlar elde edilmektedir [27]. Örtülü elektrodun teli genellikle paslanmaz çelik telden imal edilmektedir. Elektrodun üzerindeki kaplama, proses üzerinde temel rol oynamaktadır. Kaplama 900 °C' de arkin içerisinde CaO ve CO<sub>2</sub> şeklinde ayrışan belirli miktarda

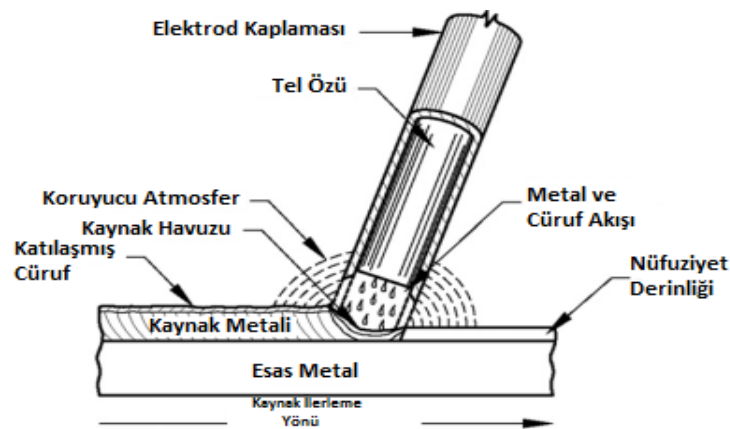
kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) içermektedir [35]. Kaynak davranışı ve dikişin görünüşü elektrodu kaplayan örtü tarafından belirlenir [12].

-Rutil Örtülü Elektrot: Rutil elektrotlar kaplamalarında yüksek oranda  $\text{TiO}_2$  (rutil) içermektedir. Bu sayede kolay ark tutuşması, temiz yüzeyler sağlamaktadır [37]. Bu elektrotların ince damlalı bir malzeme akışı vardır ve ince tırtıllı, düzgün dikişler elde edilir. Doğru akım (elektrot +) veya alternatif akımla kaynak yapılabilir. Cüruf kolay uzaklaştırılır. Bu özelliklerinden ötürü paslanmaz çelik kaynağında tercih edilirler [12].

-Bazik Örtülü Elektrot: Bu elektrotlar, kaplamalarında yüksek oranda  $\text{CaF}_2$  bulundurmaktadır [37]. Sadece doğru akımla (elektrot +) kaynak yapılabilir. Damlaları daha iridir, bu nedenle zor pozisyonlarda uygundur. Aralık kapama özelliği iyi olduğundan kök dikişleri için tercih edilir. Rutil elektrotlara göre kaynak dikişinin görünümü daha kabadır ve cüruf daha zor uzaklaştırılır [12].

Örtülü elektrodun üzerindeki örtünün, kaynak bölgesini atmosferin olumsuz etkilerinden korumasının yanında deoksidasyonu sağlaması, arkı stabil hale getirmesi, çeşitli alaşım elemanlarının kaynak metaline ilavesi gibi etkileri de bulunmaktadır [46].

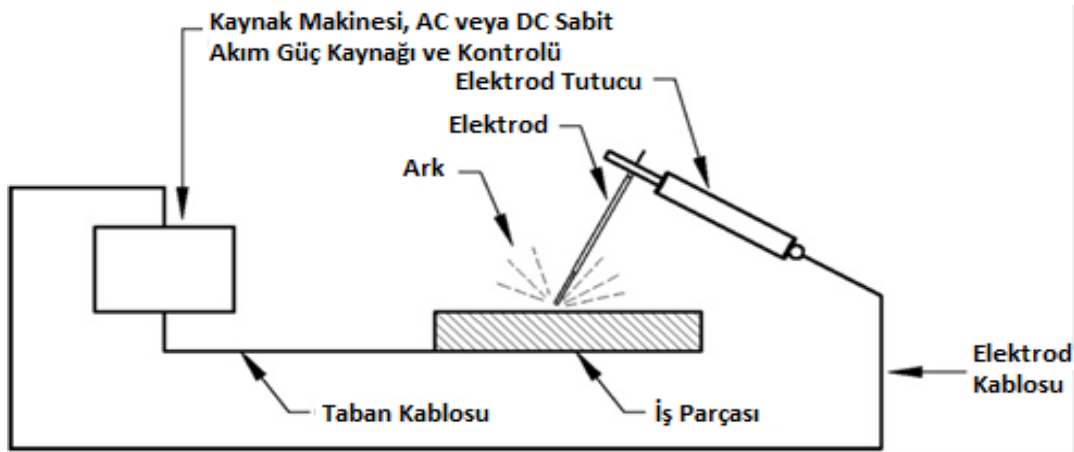
Kaynak, elektrotla iş parçası arasında tetiklenen ark ile başlamaktadır. Arkın ısıyla örtülü elektrot ergimekte [28]. Ark, iş parçası ile elektrot arasında kısa devre şeklinde ateşlenmektedir. Kaynak akımı, elektrot çapına, elektrot tipine ve yapılan kaynak çalışmasına göre değişim göstermektedir [39]. Bu kaynak yöntemi, bütün pozisyonlarında, kalınlıklarda ve kaynak ağzı şekillerinde kullanılabilir [51].



Şekil 3.42 Örtülü elektrot ark kaynağı prosesi [51]

Bu kaynak yönteminde, kaynak ekipmanları basit, taşınabilir ve ucuz olmaktadır. Bu sebeple örtülü elektrotla ark kaynak yöntemi, bakım, saha ve onarım işlemlerinde tercih edilmektedir. Ancak bu yöntemdeki koruyucu gaz alüminyum ve titanyum gibi reaktif metaller için yeterince temiz değildir [46].

Bu yöntemde kullanılan ekipmanlar oldukça basit ve ucuzdur. Ekipmanlardaki bu kolaylık uygulama basitliği sağlamaktadır. Bu yöntem yapısal uygulamalar gibi dış ortamlarda kullanıma uygundur [28].



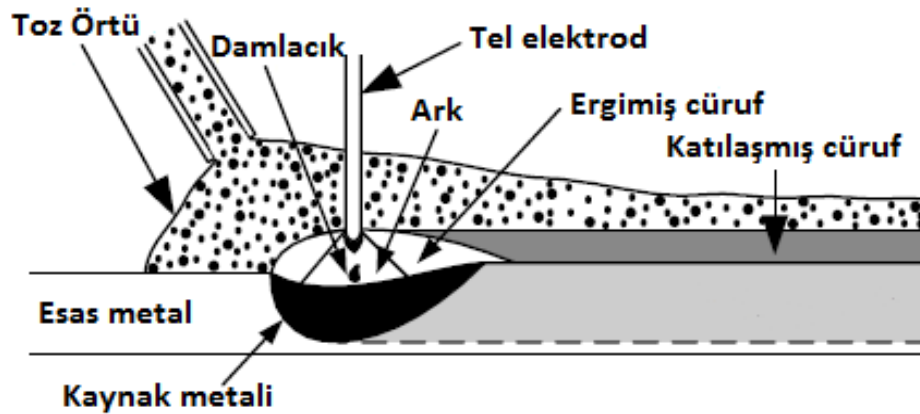
Şekil 3.43 Örtülü elektrotla ark kaynağı ekipmanları [51]

Kaynak işleminde kullanılacak akım değeri enerji kaynağından ayarlanmaktadır. DC ve AC olarak kaynak yapılabilmektedir. Kaynakta kullanılacak olan elektrotlar geniş bir çerçevede seçilebilmektedir [28].

### **Tozaltı Ark Kaynağı (SAW)**

Tozaltı kaynak yönteminde ergiyen bir toz koruma örtüsü, arkı ve kaynak bölgesini korumak için kullanılmasıyla diğer kaynak yöntemlerinden farklılık göstermektedir [31]. Bu yöntem, en çok kullanılan mekanize edilmiş kaynak yöntemidir. Tel çubuk (1.6 - 6.3 mm kalınlığında, genellikle 3.24 ile 4 arasındadır) bir bobinden beslenmektedir [23]. Elektrot, iş parçasına yakın tutulmalıdır [31]. Ark çubuğun ucuyla esas metal arasında oluşmakta ve elektrot ergimekte [23]. Oluşan ark, örtü nedeniyle göz ile görülememektedir [46]. Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan koruyucu örtü, kireç/florür olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Kompozisyonu şu şekildedir;  $\%25 \leq \text{CaO} + \text{MgO} \leq \%40$ ,  $\text{SiO}_2 \leq \%15$ ,  $\%20 \leq \text{CaF}_2 \leq \%35$  [35].

Tozaltı kaynak yöntemi kalın malzemelerin (10 mm ve üstü kalınlıklarda) yatay pozisyonda kaynağında kullanılmaktadır. Bu yöntemle oluşturulan kaynakların mekanik ve korozyon dayanımları diğer ark kaynak yöntemleri kadar iyidir. Koruyucu toz örtü kaynak bölgesinin özelliklerini ve kaynak edilebilirliği belirlemede önemli bir etkidir. Kaynak esnasında bu koruyucu örtünün bir kısmı kaynak metaline karışmakta, bir kısmı ise cürufu oluşturmaktadır [37]. Koruyucu örtünün kalınlığı genellikle 25 mm olmakta ve kaynak torcuyla beraber hareket eden bir haznededen beslenmektedir [23].



Şekil 3.44 Tozaltı kaynak prosesi [46]

Doğru akım elektrot pozitif kutuplama en çok kullanılan yöntemdir. Fakat çok yüksek kaynak akımlarında (900 A üzeri gibi...) ark üflemesini minimize etmek için AC tercih edilmelidir [46]. Toz altı kaynak yöntemi yarı otomatik veya tam otomatik olarak uygulanabilmektedir. Paslanmaz çeliklerin kaynağında genellikle tam otomatik yöntem kullanılmaktadır. Otomatik yöntemlerde kaynak akımı 2000 Amperlere kadar çıkabilmektedir [35].

Kalın paslanmaz çeliklerin kaynağında, yüksek enerjilerin kullanılması durumunda sigma fazının oluşumuna dikkat edilmelidir. Bu durum özellikle %25 Cr ve %20 Ni alaşımı için geçerlidir. Aynı zamanda %18 Cr ve %9 Ni sınıfı yüksek ferrit içeriği için dikkate alınmalıdır. 650 °C ile 900 °C yüksek sıcaklık aralığındaki çok pasolu kaynaklarda sigma fazı riski artış göstermektedir. Böyle durumlarda tavlama tavsiye edilmektedir [35].

Yüksek yığılma oranı, yüksek ark zaman faktörüne ulaşılması, yüksek kaynak kalitesi, arkın örtülü olması sebebiyle sıçramaların az olması ve kaynak bölgesinin iyi korunması, toza alaşım ilavesiyle kaynak metalinin yapısının kontrol edilmesi toz altı kaynak

yönteminin avantajları arasında sayılmaktadır. Yüksek oranda ergimiş cüruf bulundurması, sadece yatay pozisyonda uygulanabiliyor olması bu yöntemin dezavantajları arasındadır [28, 46].

Kaynak parametreleri, kaynak hızı, kutuplama, ark gerilimi, ark akımı, telin çapı, ilave telin açısı ve ilave tel sayısıdır [28].

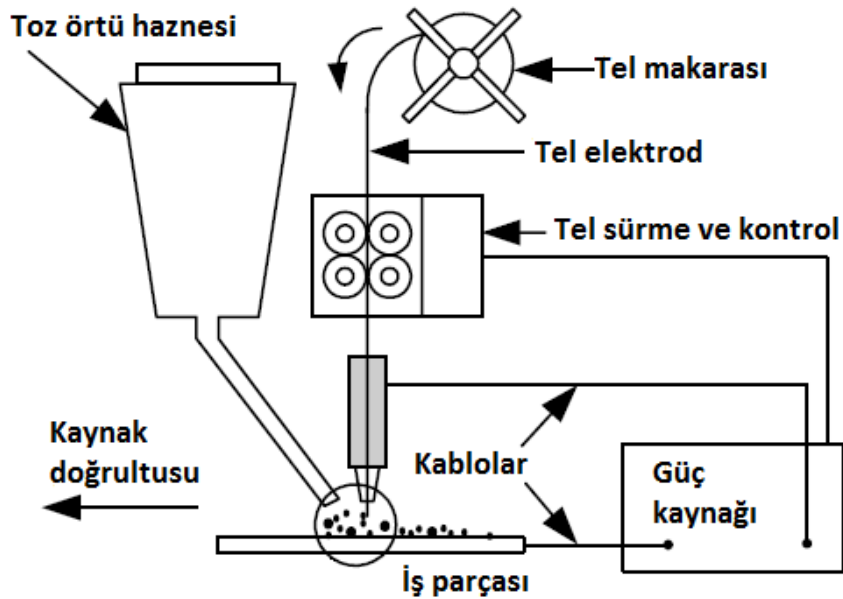
- Kaynak Hızı: Kaynak hızı, nüfuziyete ve kaynak genişliğini etkilemektedir. Yüksek kaynak hızları düşük nüfuziyet ve geniş kaynak dikişi oluştururken yavaş kaynak derin nüfuziyet ve dar kaynak dikişleri sağlamaktadır [28].

- Kutuplama: Kutuplama, nüfuziyeti etkilemektedir [28]. DCEP ve DCEN yöntemlerinin ikisinde kullanılabilir. En iyi ark stabilitesi ve iyi kaynak kesiti DCEP yönteminde elde edilmektedir [37]. Eğer elektrot pozitif olursa nüfuziyet elektrodun negatif olması durumundan daha derin olur [28].

-Elektrot Açısı: Elektrot açısı, nüfuziyet ve kaynak kesiti üzerinde etkilidir [28].

- Ark Akımı: Toz altı kaynak yönteminde genellikle yüksek akım değerleri kullanılmaktadır [37].

Tozaltı kaynak yönteminde, tel besleme ünitesi, tel sürme tertibatı, koruyucu örtü haznesi, enerji kaynağı ve torçdan oluşmaktadır.



Şekil 3.45 Tozaltı kaynağı ekipmanları [46]

Toz altı kaynak yönteminde kullanılan enerji kaynağı, yüksek akım üretme kapasitesine sahip olmalıdır [39]. Bu yöntemde kullanılan enerji kaynakları yatay ve düşey karakteristikli olabilmektedir [28]. DC enerji kaynağı, kolay ark başlangıcı sağlamaktadır. Ayrıca iyi nüfuziyet ve iyi kaynak hızları elde edilmektedir. AC genellikle büyük çaplı (>4 mm) teller için tercih edilmektedir [39].

İlave metalin içeriği kaynak metalinin mekanik ve kimyasal özelliklerine etki etmektedir [28]. Bobin halinde ve bakır kaplamalı olarak kullanılmaktadır. Dolu kesitli veya boru şeklinde bulunmaktadır. Katı kesitli hali genellikle orta ve düşük alaşımlı çelikler ve paslanmaz çeliklerde kullanılmaktadır [23]. Elektrot çapları 1.6 mm ile 6 mm arasında değişmektedir. Elektrodun seçiminde aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır.

- Kaynak metalinin dayanımı manganez ve silikon ilavesiyle artırılabilir.
- Molibden ve nikel gibi alışımlı elemanlarının ilavesiyle düşük sıcaklıklarda sertlik geliştirilebilmektedir [28].

Tozaltı kaynak yönteminde iki tip örtü kullanılmaktadır. Bunlar ergimiş halde veya aglomere şeklindedir. Örtü, arkı kararlı hale getirmekte, arkı ve kaynak banyosunu atmosferin etkilerinden korumakta, cüruf tabakasıyla beraber kaynak bölgesinin soğumasını dengelemekte ve deoksidasyonu sağlamaktadır [51]. Örtüler, asidik, nötr veya bazik olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır [23].

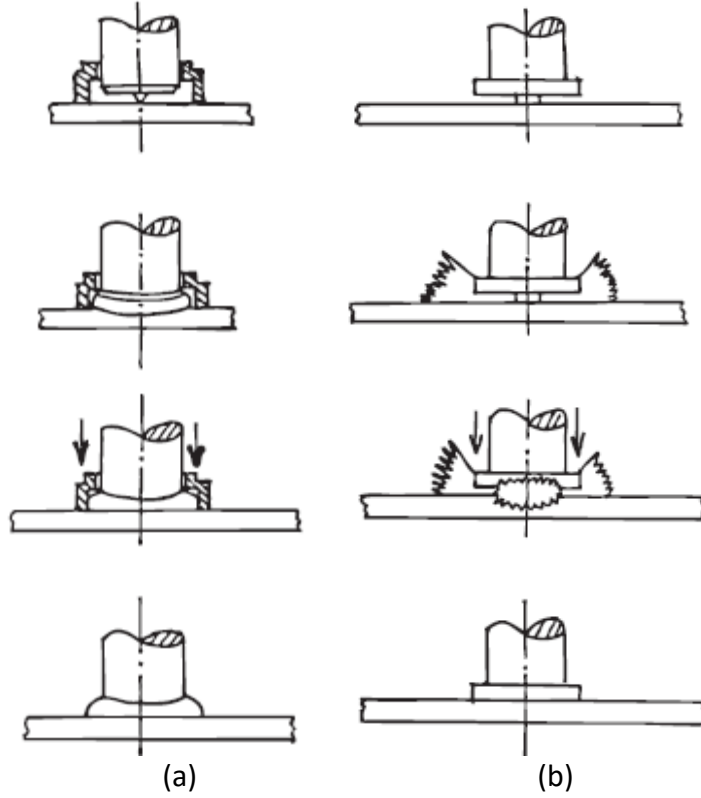
### **Saplama Kaynağı (SW)**

Bu yöntemde çubuk şeklinde parçalar geniş yüzeyler üzerine basınç kaynağı ile birleştirilir. Bağlantı, kaynak bölgesinin sıvı ve plastik şekil alabilir durumunda gerçekleşir. Saplama kaynağı uygulamaları arasında ark saplama kaynağı en çok kullanılan tekniktir [12].

Bu yöntemde ark, saplama ile birleştirilecek parça arasında oluşturulmaktadır. Her bir saplama, saplama tabancasına yerleştirilmekte ve birleştirilecek yüzeye iletilmeden seramik bir halka üzerinden kaydırılır. Tabanca tetiğine basıldığında saplama otomatik geri çekilmekte ve ark oluşmaktadır. Daha sonra saplama ile parça arasında ergime gerçekleşmektedir. Ark periyodunu tamamladığı zaman akım otomatik olarak kapanmaktadır ve saplama ergimiş kaynak metaline iletilmektedir [49].



Bu yöntemde ark uygulamasının yanı sıra kapasitör deşarj yöntemi de uygulanmaktadır. Bu uygulama ve metalürjik içerik de ark yöntemine benzerlik göstermektedir. Kaynak tabancası tetiklendiğinde saplamanın ucunda kapasitör tarafından kontrol edilen ve iş parçası ile saplamanın ergimesini sağlayan ark oluşur. Bu yöntem ağırlıklı olarak farklı metalik alaşımlar için kullanılır [35].

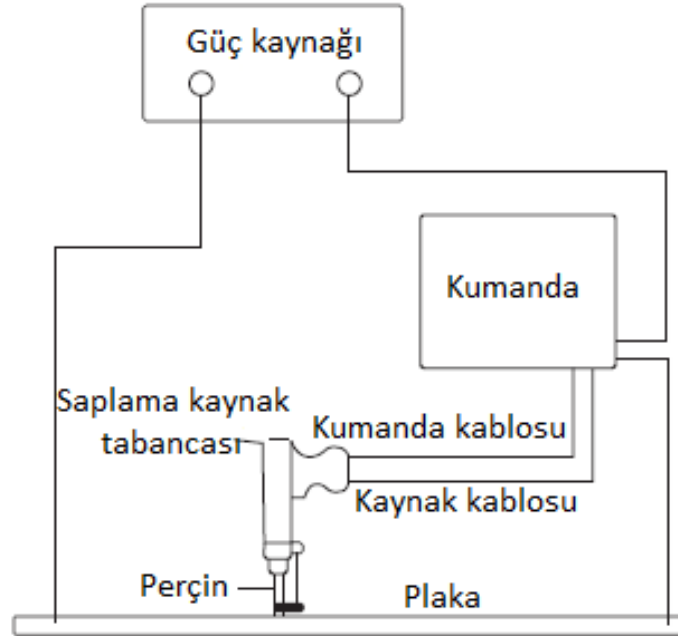


Şekil 3.46 (a) Ark saplama kaynağı (b) kapasitör deşarj saplama kaynağı [35]

Saplama kaynağının avantajları ise şunlardır;

- Ana parçaya sadece bir yandan yaklaşmak yeterlidir.
- Birleştirme için sızdırma problemi çıkaracak deliklerin açılması gerekmez.
- Çubuğun tüm kesitini birleştiren güçlü bir bağlantı oluşur.
- 0.8-25 mm çapında çubuklar için kullanılabilir (çok yönlü kullanım).
- Her kaynak pozisyonunda uygulanabilir.
- Kaynak süresi kısa olduğundan, yanma (bileşen kaybı) ve çarpılma az olur.
- Çubuğun ucunda bir flanş oluşturularak dayanım artırılabilir [12].

Östenitik paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin saplama kaynağı sırasında faz dönüşümü ve dolayısıyla sertleşme olmaz. Yöntemde soğumanın hızlı olması da önemli bir avantajdır, iç yapıda karbür çökmesi görülmez [12].



Kaynak tabancasının haricinde, enerji kaynağı ve arkı kontrol edebilmesini sağlayan kontrol donanımı bu kaynak yönteminin ekipmanları arasındadır [28].

### 3.4.2 Direnç ve İndüksiyon Yöntemleri

#### 3.4.2.1 Nokta Direnç Kaynağı (RSW)

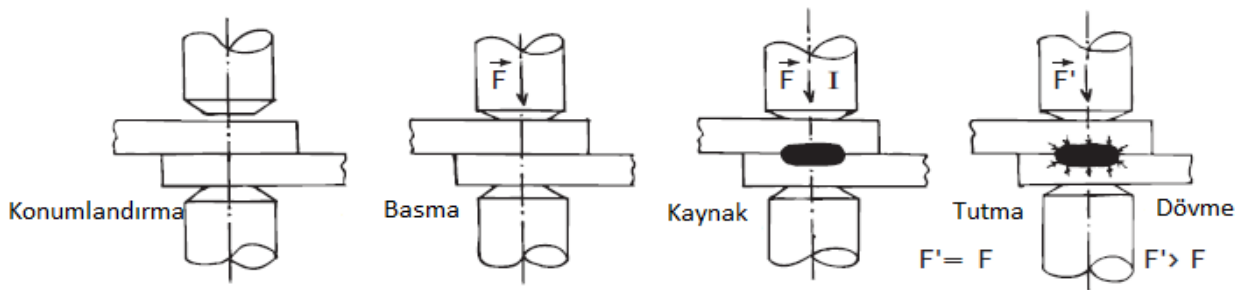
Nokta kaynağı en çok bilinen direnç kaynak yöntemidir. Ağırlıklı olarak ince malzemelerin birleştirilmesinde tercih edilir [28].

Bu yöntemle zahmetsiz ve tekrarlanabilir yüksek kaliteli birleştirmeler sağlanır. Östenitik paslanmaz çeliklerin elektrik iletkenliği ve ısı iletkenliği düşük olduğundan, direnç kaynağı için diğer çeliklere göre daha uygundur. Isı girdisi daha az olduğundan yüzey kalitesinde önemli bir bozulma olmaz. Ancak ısıl genleşmesi yüksek olduğundan çarpılma riski daha yüksektir [12].

Paslanmaz çeliklerin nokta kaynağında elektrot olarak 400°C sıcaklıkta sertliği en az 70 HB olan bakır alaşımları (CuCrZr ve CuCrBe alaşımları gibi) kullanılır. Elektrot uçlarının, ayarı kolay olduğundan genellikle yuvarlak olarak seçilir [12].

Bu yöntemde ergime işlemi, iş parçası içerisinde geçen akımın direnciyle oluşmaktadır. Bu yöntemin uygulamasında 4 temel basamak bulunmaktadır;

- Birleştirilecek malzemelerin konumlandırılması
- Birleştirilecek malzemelerin elektrotlar arasına alınması
- Düşük gerilim ve dalgalı akımla kaynak işlemi
- Elektrot tutma işleminden sonra belli kuvvet uygulanarak birleşme sağlanır [35].



Şekil 3.48 Nokta direnç kaynağı prosesi [35]

Nokta direnç kaynağının ince malzemelerin kaynağında diğer kaynak yöntemlerine göre bazı avantajları bulunmaktadır;

- İnce malzemelerin kaynağında diğer kaynak yöntemlerine göre daha az deformasyon meydana gelmektedir.
- Prosesin mekanize edilme oranı daha yüksektir.
- Otomatikleştirmeye uygundur.
- Düşük enerji ihtiyacı olmaktadır.
- Hızlıdır.
- İlave malzeme gerektirmemektedir [28].

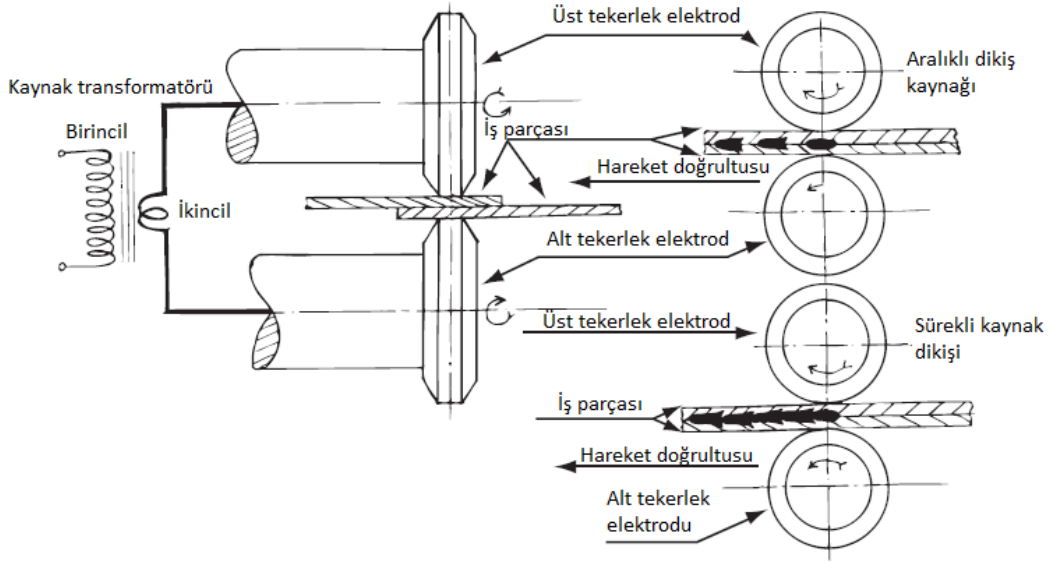
Bu kaynak yönteminde kaynak akımı, tutma zamanı, basma kuvveti, kaynak süresi, tutma zamanı ve elektrot çapı önemli kaynak parametreleridir. Kaynak akımı, kaynak metalinin dayanımı ve kalitesi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Çok yüksek kaynak

akımlarında dayanım düşebilmektedir [28]. Nokta kaynağında oluşan çekirdeğin büyüklüğü ve biçimi, akım şiddeti, süre ve elektrot kuvvetine bağlıdır. Süre arttıkça çekirdeğin kalınlığı ve çapı artar. Uygulamada kısa süreler tercih edilir [12]. Tutma zamanı malzeme kalınlığına göre değişim göstermektedir. Basma kuvveti oldukça önemlidir. Eğer çok düşük olursa kaynak dayanımı düşük olacaktır. Kaynak süresi kaynak akımının iş parçasına aktığı süreyi etkilemektedir. Kaynak işlemi esnasındaki tutma işlemi kaynak metali katılaşana kadar olmalıdır. Elektrot çapı, malzeme kalınlığıyla ilişkilidir [28].

Nokta direnç kaynağında, enerji kaynağı ve elektrot olmak üzere iki temel ekipman bulunmaktadır. Nokta direnç kaynağında kullanılan kaynak makineleri, temel olarak akımı sağlayan elektrik donanımı, akımı ve kaynak zamanını ayarlayan kontrol donanımı ve kaynak kuvvetini uygulayan mekanik sistemden oluşmaktadır. Nokta kaynağında kullanılacak olan elektrotların elektrik ve termal kapasitelerinin yüksek olması gerekmektedir [44].

#### **3.4.2.2 Direnç Dikiş Kaynağı (RSEW)**

Makaralı dikiş kaynağı (sürekli veya kesintili hareketli), yuvarlak veya düz yüzeyli elektrotlarla yapılabilir. Elektrot kuvveti sürekli uygulanır, akım kesintili olarak verilir [12]. Direnç dikiş kaynağının prensibi nokta dikiş kaynağıninkine benzerlik göstermektedir. Temel farklılık elektrottur. Bu elektrotlar tekerlek şeklinde bakırdan yapılmış ve bir sürücü sistemiyle tahrik edilmektedir [35]. Bu disk şeklindeki elektrotlar arasına birleştirilecek malzemeler yerleştirilir. Bu diskler kaynak dikişi oluşturarak ilerlerken kaynak akımı taşımaktadırlar [23]. Direnç dikiş kaynağı yöntemiyle elde edilen kaynaklar kesiksiz, düz ve dar olarak elde edilmektedir. Eğimli yüzeylere de uygulanabilmektedir. Genellikle yakıt kazanları ve soğutucuların belirli parçalarının imalatında kullanılmaktadır [23].

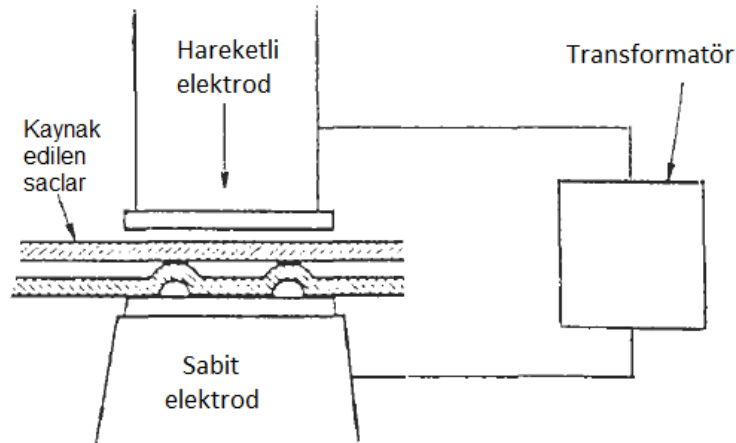


Şekil 3.49 Direnç dikiş kaynağı prosesi [35]

Direnç dikiş kaynağı ve nokta direnç kaynağının temel avantajları, elektrik direnciyle ısıtma sebebiyle ısı tesiri altındaki bölgede metalürjik değişimler sınırlıdır. Ayrıca sacların kaynağında, minimum seviyede deformasyon oluşmaktadır [35].

### 3.4.2.3 Projeksiyon Kaynağı (PW)

Bu kaynak yönteminde, malzemelerin kendi çıkıntılarında akımın yoğunlaşmasıyla oluşmaktadır. Birleştirilecek sac malzemeler üzerinde çeşitli şekillendirmeler yapılır. Elektrotlar, geniş yüzeye sahip ve bakır-tungsten gibi elektrik direnci yüksek malzemelerden imal edilmektedir [23]. Nokta direnç kaynağından daha az akım ve kuvvet uygulanmaktadır. Kaynak süresi benzer şekilli bir veya birkaç çıkıntılı birleştirmelerde aynıdır [35].



Şekil 3.50 Projeksiyon kaynağının prosesi [23]

Projeksiyon kaynağının prosesinin temel avantajları şunlardır.

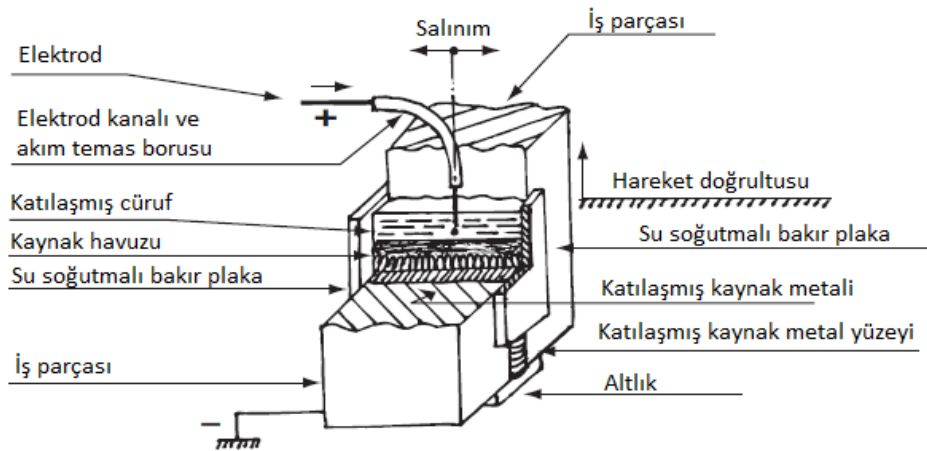
- Aynı anda birkaç kaynak noktası oluşturulabilmektedir.
- Düşük akım ihtiyacı sebebiyle elektrot ömürleri uzun olmaktadır.
- Kaynak görüntüsü nokta direnç kaynağına göre daha düzgün olmaktadır [23].

Bu kaynak yönteminin dezavantajları ise şunlardır.

- Kaynak tertibatı nokta direnç kaynağına göre daha fazladır.
- Kaynak parçalarının, birleştirmeye hazırlama maliyetleri nokta direnç kaynağına göre daha fazladır [23].

#### 3.4.2.4 Elektrocüruf Kaynağı (ESW)

Elektrocüruf kaynağı, ağır yapısal döküm parçaların kaynağında tercih edilmektedir [49]. Elektrocüruf kaynağı yatay pozisyonda veya en fazla 15°'lik bir açıyla yapılabilir. Proses iş parçasıyla elektrot arasında arkın tutuşturulmasıyla başlamaktadır. Örtü birleştirme bölgesine gönderilmekte ve ergime meydana gelerek cüruf banyosunu oluşturmaktadır [28]. Ergimiş cüruf banyosu, esas metalin kenarlarında ergime oluşturur ve kaynak banyosunu atmosferin etkilerine karşı korur [35]. Cürufun ergime noktası, elektrodun ve esas metalinkinden yüksek olmalıdır [39]. Ark kısa devre çevrimle oluşturulmaktadır ve akım, elektrot üzerinden ergimiş cüruf ile iletilmektedir. Parça kalınlığına bağlı olarak bir veya birden fazla ilave tel kullanılabilir [28].



Şekil 3.51 Elektrocüruf kaynağı prosesi [35]

Kaynakta kullanılan elektrot kompozisyonu, esas metalinkine benzer olmalıdır. En çok kullanılan elektrot çapları, 1.6, 2.4 ve 3.2' dir [35].

Elektrocüruf kaynağıyla oluşturulmuş kaynak parçasının metalürjik yapısı diğer füzyon kaynak yöntemlerinkinden farklıdır. Yavaş soğuma ve katılaşma tane irileşmesine sebep olabilmektedir [35]. Kaynak metalinin kalitesi, kaynak metalinin genişlik oranına, kaynak akımına ve gerilime, elektrot uzaması ve salınımına, cüruf derinliğine ve elektrot sayısı ile değişebilmektedir [39]. Elektrocüruf kaynağı aşağıdaki avantajlara sahiptir.

- Yüksek iletkenlik
- Kaynak ağzı hazırlamada düşük maliyet
- Kalın malzemelerin tek pasoda kaynağı
- Alın birleştirmelerinde açılmal distorsiyon oluşmaması
- Düşük enine çekme oranı
- Düşük hidrojen kırılmalığı riski
- Yüksek yığılma oranına sahip olması

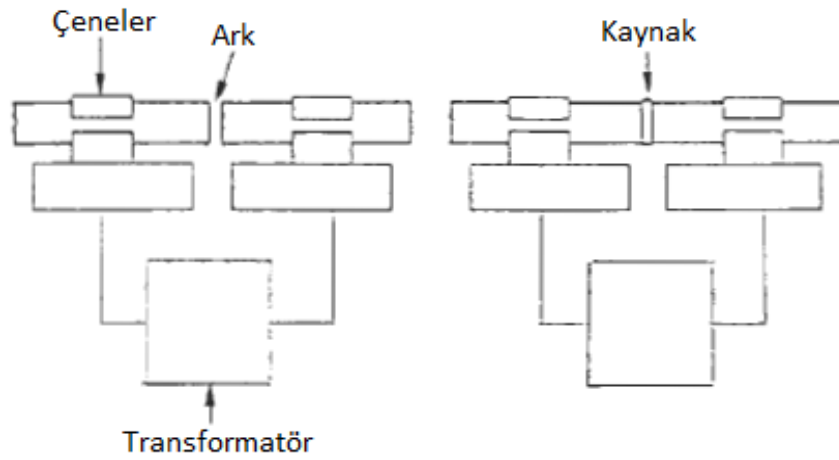
Elektrocüruf kaynağı bu avantajların yanında birtakım dezavantajlara da sahiptir.

- Yüksek ısı girdisi
- Isı tesiri altındaki ve kaynak bölgesindeki tane büyümesiyle oluşacak olan düşük sertlikle kaynak kalitesinin düşük olabilmesi
- Sadece yatay pozisyonda uygulanabiliyor olabilmesi [28, 46]

#### **3.4.2.5 Yakma Alın Kaynağı (FW)**

Bu kaynak yöntemi ağırlıklı olarak çubuk, boru gibi uzun parçaların kaynağında kullanılmaktadır [35]. Bu yöntemde birleştirilecek parçaların uçları birbirine temas ettirilmeden önce akım beslenmelidir. Temas halinde ilk olarak parlamayla beraber, ilk temas noktalarında ergime meydana gelir. Prosesin devamında parçalardan biri diğerine doğru hareket ettirilir. Yakma neticesinde metalin bir kısmı taşınır. Aynı zamanda temas noktalarında ısınma meydana gelir. Yeterli sıcaklık elde edildikten

sonra parçalar birbirine doğru aniden kuvvet uygulanarak birleştirilir ve akım kesilir. Böylece birleşme sağlanmış olur [23].



Şekil 3.52 Yakma alın kaynağı prosesi [23]

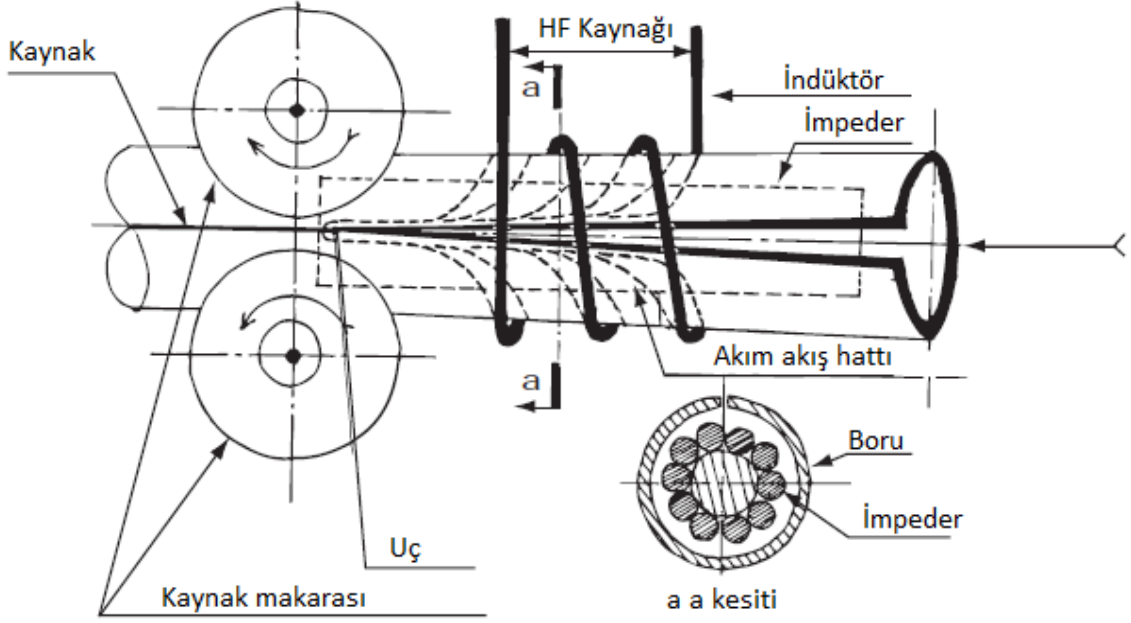
Yakma alın kaynağında, kaynak akımı ve gerilimi önemli kaynak parametreleri arasındadır. Bu parametreler, yakmanın oluşmasında, yakma hızında ve birleştirme için gereken kuvvetin değerinde etkilidir [35].

Bu kaynak yöntemi ağırlıklı olarak, raylı sistemlerin oluşturulmasında, bisiklet ve araçların jantlarında ve pencere çerçevelerinde tercih edilmektedir [23].

#### 3.4.2.6 Yüksek Frekanslı İndüksiyon Kaynağı (HFIW)

Bu kaynak yöntemi direnç kaynak yöntemi olarak kabul edilir. Bu kaynak yönteminde ısı, indüklenen bir iş parçasının dirençle ısınmasıyla elde edilmektedir. 400 kHz gibi yüksek frekansların kullanılması, malzeme yüzeyine yakın yerde veya akım taşıyan bir iletkenin iş parçasına yakın bir yerinde akımın yoğunlaşmasını sağlar. Kaynak işleminin tamamlanabilmesi için kuvvet uygulanması gerekir. Akım iş parçasına bloklar veya sürgülü ayaklar ile sağlanmaktadır [28]. Bu yöntemde çoklu rulo şekillendirme sistemi kullanılmaktadır [35].





Şekil 3.53 Yüksek frekanslı indüksiyon kaynağı prosesi [35]

Feritik paslanmaz çeliklere uygulanması durumunda, yüksek verimlilik sayesinde tane irileşmesini önlemektedir [35].

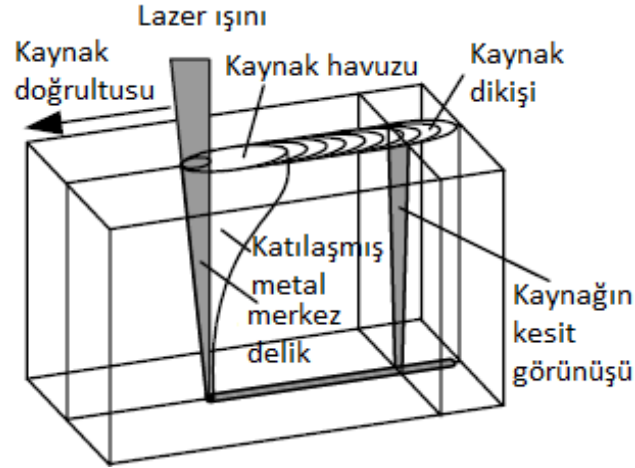
### 3.4.3 Radyasyon Enerji Yöntemleri

#### 3.4.3.1 Lazer Işın Kaynağı (LBW)

Alışlagelmiş yöntemlerin yanında, lazer ışın yöntemi yeni ve otomasyona elverişli bir ergitme kaynağı yöntemi olarak dikkati çekmektedir [12]. Lazer ışın kaynağı çoğunlukla ince malzemelerin kaynağında (<4 mm) tercih edilmektedir. Fakat paslanmaz çelikler lazer ışın kaynağıyla 10 mm' ye kadar kaynak edilebilmektedir [37]. Lazer ışın kaynağının en önemli özelliği, malzemeye minimum ısı girdisi sağlaması sebebiyle distorsiyonlar minimum seviyede olmaktadır [49].

Lazer ışını, bir lens veya ayna yardımıyla milimetrenin onda biri çapında yoğunlaştırılmaktadır. Bu yoğunlaştırılmış olan ışın malzeme yüzeyine iletildiğinde buharlaşmayla beraber ergime meydana gelir. Buharlaşan metal plazma oluşturmaktadır. Bu sayede enerji Emilimi daha fazla olmaktadır. Böylece prosesin verimi artmaktadır [28]. Odaklanmış ışın etkisiyle metal yerel olarak ergitilir ve bir anahtar deliği oluşumu ile derin kaynama etkisi elde edilir. Elde edilen kaynak dikişleri çok dardır, yüksek güçlü laserlerin kullanımı ile 15 mm' ye kadar levha kalınlıklarının

kaynakla birleştirilmesi mümkün olur [12]. Ayrıca lazer ışın kaynağında malzemeyle havanın reaksiyona girmesini sağlamak ve lensi sıçramalardan korumak için koruyucu gaz kullanılmaktadır [28].



Şekil 3.54 Lazer ışın kaynağı prosesi [46]

Bu kaynak yönteminde iki tip lazer kullanılmaktadır. CO<sub>2</sub> lazer (1..15 mm kalınlıklar için) ve Nd:YAG (0.2-4 mm kalınlıklar için) kullanılan lazerlerdir [12].

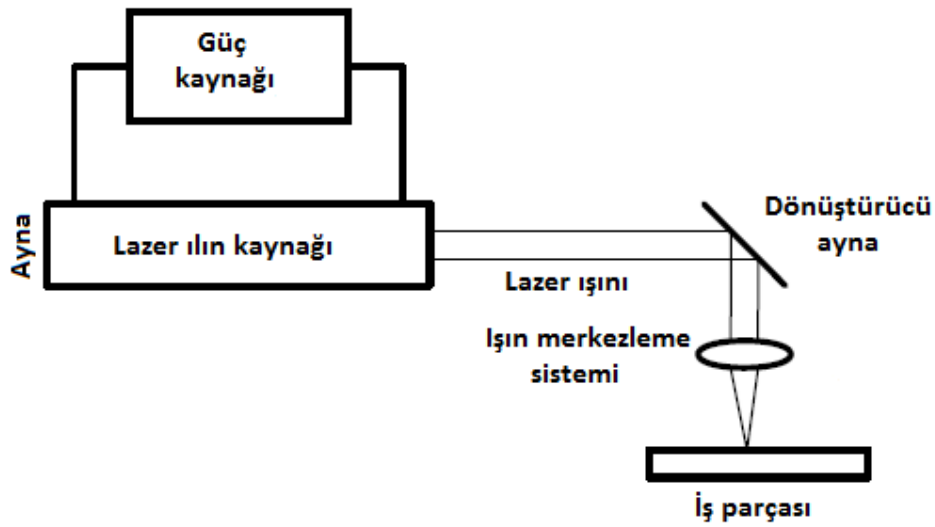
Lazer ışın kaynağı aşağıdaki avantajları ile ön plana çıkmaktadır.

- İş parçası için vakuma ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Lazer ışınında x-ray ışınları oluşmamaktadır.
- Lazer ışını kolayca odaklanabilmektedir.
- Kaynak bölgesi basit geometriye sahiptir.
- Genelde ilave malzemeye ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Distorsiyonlar oldukça azdır.
- Derinlik/genişlik oranı çok büyük dar kaynak dikişleri
- Isı tesiri altındaki bölge dardır [12, 39].

Bu avantajlarına rağmen kaynak donanımının çok maliyetli olması ve kaynak pozisyonunun titizlikle hazırlanmasının gerekmesi bu yöntemi dezavantajlı hale getirebilmektedir [46].

Lazer ışın kaynağında temel parametreler, ışın gücü ve ilerleme hızıdır. Bu parametrelerin yanında plazma oluşumunun kontrolü, kaynak gazı, esas metalin absorpsiyonu, nüfuziyete ve kaynak metalürjisine etki etmektedir. Güç yoğunluğunun artmasıyla birlikte nüfuziyet doğrusal olarak artmaktadır. Helyum ve argon koruyucu gaz kullanımında kaynak ilerleme hızının artması nüfuziyeti düşürmektedir. Lazer ışın kaynağında iki gaza ihtiyaç duyulmaktadır. Plazmanın kalkmasına yardımcı olan gaz ve atmosferik etkilere karşı koruma sağlayan gazlardır. Helyum ve argon helyum karışımı gazlar, koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır [44].

Lazer ışın kaynak donanımı, temel olarak enerji kaynağı, lazer ışın oluşturucu, mikroskop ve kondansatörden oluşmaktadır.

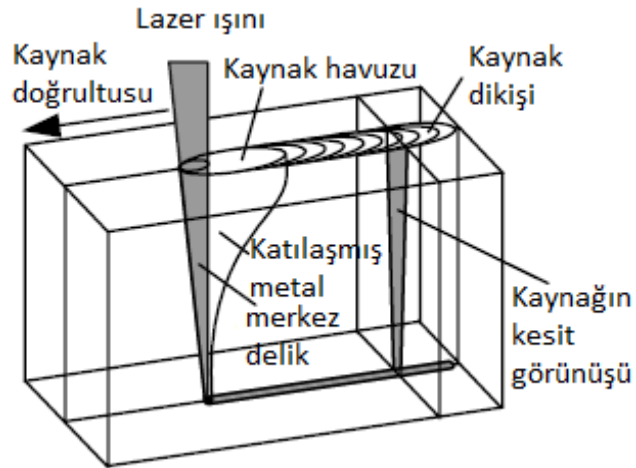


Şekil 3.55 Lazer ışın kaynağı donanımı [44]

### 3.4.3.2 Elektron Işın Kaynağı (EBW)

Elektron ışın kaynağında, derin ve dar nüfuziyet elde etmek için yüksek enerjili elektron ışınları kullanılmaktadır [28]. Elektron ışın kaynağında, kaynak bölgesinin derinlik genişlik oranı 20/1' dir. Paslanmaz çeliklerin kaynağı için oldukça avantajlı bir yöntemdir. Tek paso ile 0.5 mm' den 40 mm' ye kadar paslanmaz çelik malzemeler kaynak edilebilmektedir [35]. Elektron ışınları, lazer ışınlarından daha fazla enerjiye sahiptirler. Kaynak işlemi ışının havada absorbe olması sebebiyle vakum ortamında gerçekleşmektedir [28].

Elektron ışın tabancasının katodu negatif şarj edilmiş filamenttir. Termiyonik sıcaklığa kadar ısıtıldığında, bu filament elektron yaymaktadır. Bu elektronlar, negatif şarj edilmiş elektrot ile anot arasındaki elektrik alanı içerisinde ivmelendirilir. Elektronlar anot deliği içerisinde elektromanyetik bobin tarafından odaklanarak iş parçası yüzeyindeki bir noktaya gönderilir. Elektron ışının çok yüksek bir yoğunluğa sahip olması sebebiyle metali buharlaştırabilmektedir. Elektron ışını, 0.3 ile 0.8 mm arasındaki çaplarda odaklanabilmektedir [46].

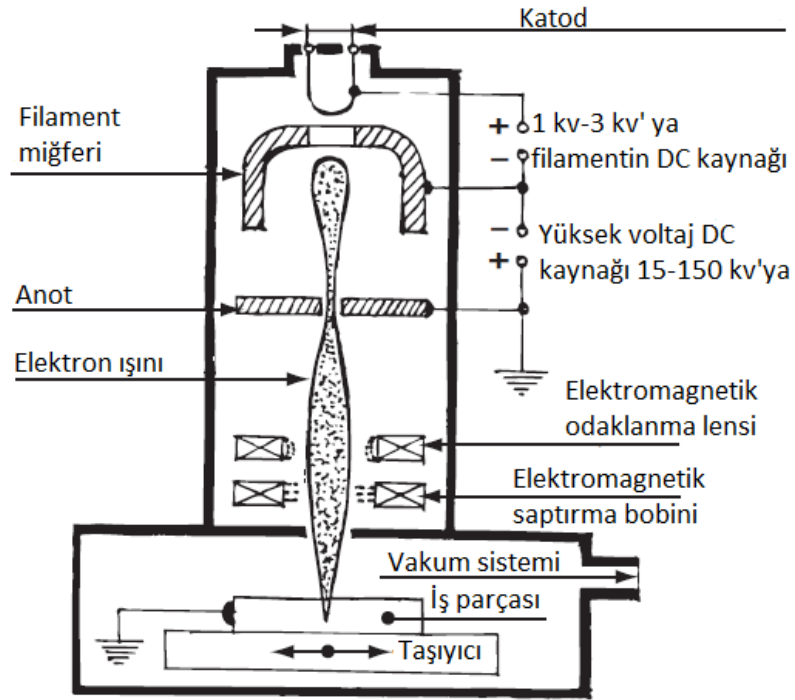


Şekil 3.56 Elektron ışın kaynağı prosesi [46]

Elektron ışın kaynağında diğer kaynak yöntemlerine göre birçok avantaj bulunmaktadır. Çok pasolu kaynak gerektiren yerlerde dahi tek pasıyla kaynak yapılabilmektedir. Birim uzunluktaki ısı girdisi düşüktür. Bu nedenle distorsiyonlar minimum seviyededir. Farklı özellikteki malzemeler kaynak edilebilmektedir [46].

Bu avantajlarının yanında kaynak donanımının pahalı olması, yüksek vakum ihtiyacı ve birleştirme bölgesinin titizlikle hazırlanması elektron ışın kaynağının dezavantajları arasındadır [28, 46].

Elektron ışın kaynağındaki elektron tabancası, yüksek enerji sağlamaktadır. Kaynak işleminin gerçekleştiği bir oda bulunmaktadır. Ayrıca yüksek vakum pompası vakum ortamını sağlamaktadır [28].



Şekil 3.57 Elektron ışın kaynağı donanımı [35]

**DENEYSEL ÇALIŞMALAR****4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler****4.1.1 TIG Kaynak Yönteminde Kullanılan Malzemeler**

TIG kaynağı ile yapılan deneysel çalışmalarda, oldukça geniş endüstriyel kullanım alanı bulunan AISI 304L östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Paslanmaz çelik malzemeler, 0.8 mm kalınlığında sac levha şeklinde hazırlanmıştır. Kullanılan AISI 304L malzemenin spektral analizi çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 0,8 mm AISI 304L malzemenin spektral analiz sonuçları

| Malzeme   | % C   | % Cr  | % Mn  | % Si  | % Ni  | % Mo  | % Nb  | % P   | % Fe  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AISI 304L | 0,017 | 17,90 | 1,451 | 0,409 | 8,149 | 0,054 | 0,026 | 0,030 | Kalan |

Deneyde kullanılan malzemeler, Prima Platino CP4000 CNC lazer kesim makinesinde, 300x100x0,8 mm boyutlarında aynı plakadan olacak şekilde 12 adet olarak kesilmiştir.

**4.1.2 MIG Kaynak Yönteminde Kullanılan Malzemeler**

MIG kaynak yöntemindeki deneysel çalışmalarda, AISI 304L östenitik paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Paslanmaz çelik malzemeler 2 mm kalınlığında, sac levha şeklinde hazırlanmıştır. Kaynak ilave malzemesi olarak, 1.2 mm kalınlığında ER309LSi ve ER316LSi olmak üzere iki farklı ilave tel kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin spektral analizi çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2 2 mm AISI 304L malzemenin, ER316LSi ve 309LSi ilave tellerin spektral analiz sonuçları

| Malzeme   | % C   | % Cr  | % Mn  | % Si  | % Ni  | % Mo  | % Nb  | % P   | % Fe  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AISI 304L | 0,018 | 17,90 | 1,351 | 0,442 | 8,34  | 0,052 | 0,021 | 0,028 | Kalan |
| ER316LSi  | 0,02  | 18,50 | 1,70  | 0,80  | 12,00 | 2,70  | -     | 0,03  | -     |
| ER309LSi  | 0,03  | 23,40 | 1,45  | 0,75  | 13,00 | 0,10  | -     | 0,025 | -     |

Deneyde kullanılan malzemeler, Prima Platino CP4000 CNC lazer kesim makinesinde 300x100x2 mm boyutlarında aynı plakadan olacak şekilde 12 adet olarak kesilmiştir.

## 4.2. Kaynak Yöntemlerinin Uygulanması

### 4.2.1 TIG Kaynak Uygulaması

Kaynak işlemi için özel olarak tasarlanmış otomatik kontrollü Procon marka TIG boy kaynak makinesi kullanılmıştır. Bu kaynak makinesi, ince ve orta kalınlıktaki paslanmaz çelik malzemelerin ilave telsiz olarak otomatik şekilde kaynak edilebilmesini sağlamaktadır. Kaynak makinesi x ve y ekseninde kaynak torcunun hareketine olanak sağlamaktadır. Bu eksenlerde %5 noktasal hassasiyetle pozisyonlama yapılabilmektedir. Kaynak akımı ve gerilimi, ilk gaz-son gaz ayarları ve pulse ayarları makine üzerinden kolaylıkla yapılabilmektedir. Dijital göstergeleri sayesinde kaynak gerilimi ve kaynak akımı hassas olarak ayarlanabilir. Bu cihazda kaynak akımı DC' de 4–300, AC'de 10-300 Amper aralığında ayarlanabilmektedir. Ark oluşumu yüksek frekans ile sağlanmıştır.

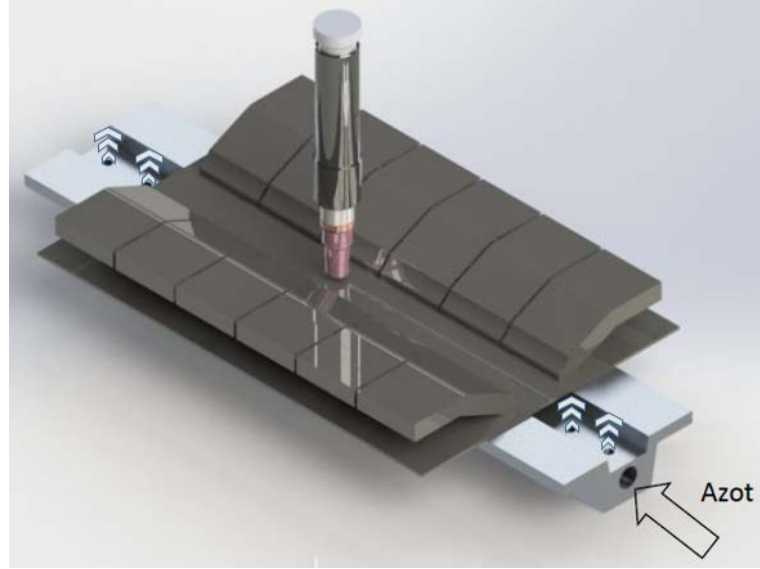


Şekil 4.1 TIG boy kaynak makinesi

Deneyde kullanılan malzemelere, kaynak işleminden önce 400 numara kum silisyum karbür (SiC) su zımparasıyla yüzey temizleme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra asetonla yüzeyler temizlenerek suyla yıkanmış ve hava fanı ile kurutulmuştur. Deneyde kullanılacak malzemeler alın altına getirilerek, arada hiç boşluk kalmayacak şekilde kaynak pozisyonuna hazırlanmıştır. Kaynak numuneleri her iki taraftan bakır esaslı makine ayakları ile pnömatik olarak sabitlenmiştir. Koruyucu gaz olarak ise argon gazı kullanılmaktadır. Uygulamada argon gazı 10 lt/dk'lık debi ile kullanılmış ve kullanılan argon gazı % 99,9 saflıktadır. Kullanılan nozul çapı 10 mm' dir. Kaynak işlemi esnasında

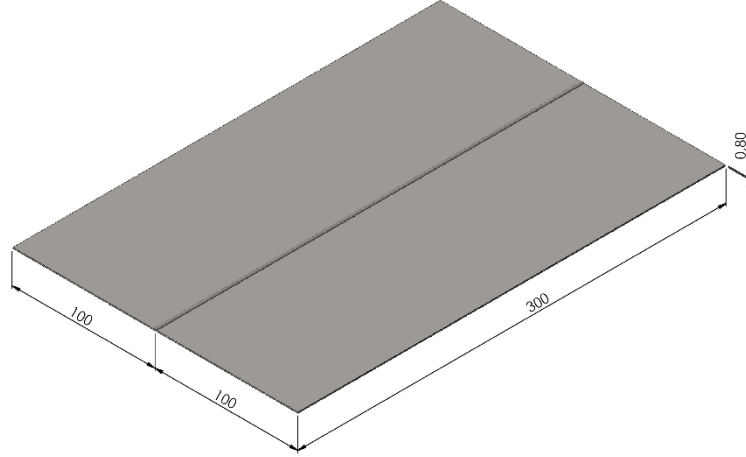


iş parçası ile elektrot arasındaki mesafe 2 mm olarak ayarlanmıştır. 2.4 mm çapında tungsten elektrot kullanılmıştır. Torç ile ana malzeme arasındaki açı 90°' dir. Kaynak işlemleri alın altına pozisyonda gerçekleştirilmiş ve toplam 6 adet kaynaklı numune hazırlanmıştır. 3 adet numunenin kaynak işleminde, kaynak dikşinin alt bölgesine altına 4 lt/dk debide azot gazı ile atmosferik koruma işlemi uygulanmıştır. Kaynak alt bölgesine gönderilen azot gazı sayesinde, atmosferik temasın önüne geçilmektedir. Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında kaynak altı gazı oldukça önem arz etmektedir. Gaz uygulaması olmayan yüzeylerde pürüz, oksitlenme veya sıçramalar olabilmektedir. Bakır ve seramik altlıkların dışında gaz uygulaması da performanslı bir çözüm sunmaktadır [53]. Kaynak işlemi tamamlanan numuneler mevcut ortamda soğumaya bırakılmıştır.

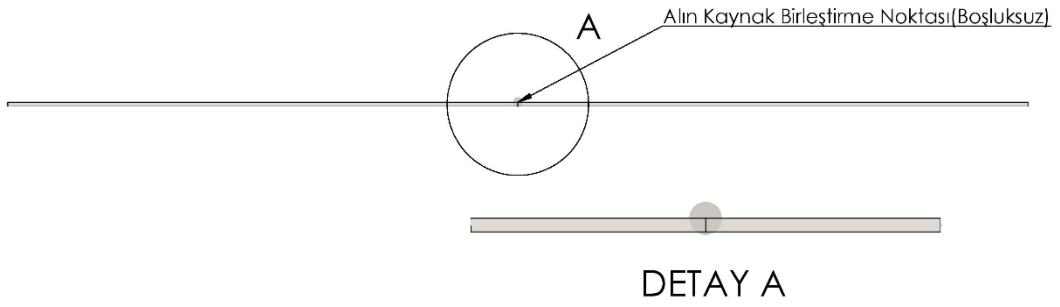


Şekil 4.2 Kaynak alt bölgesi azot gazı uygulaması

TIG deney çalışmalarında, azot uygulaması bulunan ve bulunmayan çalışmalar olmak üzere iki grup halinde gerçekleştirilmiştir. Bu her iki farklı grup çalışması içinde akım ve kaynak hızı parametreleri değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiş ve toplamda 6 adet deney numunesi elde edilmiştir.



Şekil 4.3 TIG kaynak numunesi



Şekil 4.4 TIG kaynak numunesinin kesiti

Çizelge 4.3' de kaynak işlemi esnasında kullanılan parametreler ve değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 TIG kaynak parametreleri

| Alt Koruyucu Gazı (Azot)            | Akım (A) | Kaynak Hızı (mm/dk) | Koruyucu Gaz (Argon) Debisi (lt/dk) | Alt Koruyucu Gaz (Azot) Debisi (lt/dk) | Gerilim (V) | Isı Girdisi (kJ/mm) |
|-------------------------------------|----------|---------------------|-------------------------------------|--|-------------|---------------------|
| Alt Kaynak Bölgesi Azot Uygulamalı  | 85       | 1100                | 10                                  | 4                                      | 14±1        | 0.038               |
|                                     | 100      | 1300                | 10                                  | 4                                      | 14±1        | 0.038               |
|                                     | 130      | 1500                | 10                                  | 4                                      | 14±1        | 0.043               |
| Alt Kaynak Bölgesi Azot Uygulamasız | 85       | 1100                | 10                                  | -                                      | 14±1        | 0.038               |
|                                     | 100      | 1300                | 10                                  | -                                      | 14±1        | 0.038               |
|                                     | 130      | 1500                | 10                                  | -                                      | 14±1        | 0.043               |

Kaynak sırasında her bir deney numunesi için meydana gelen ısı girdisi hesaplanmıştır. Isı girdisinin analitik olarak hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$Q = \frac{U \times I \times 60}{S \times 1000} \times \xi \quad (4.1)$$

V = Gerilim(V)

S = Kaynak hızı (mm/dk)

$\xi$  = Verim = 0.6

I = Akım (A)

Q = Isı girişi (kJ/mm)

Verim kullanılan kaynak yöntemiyle ilgilidir. TIG kaynak yöntemi için 0.6 olarak alınmıştır [54].

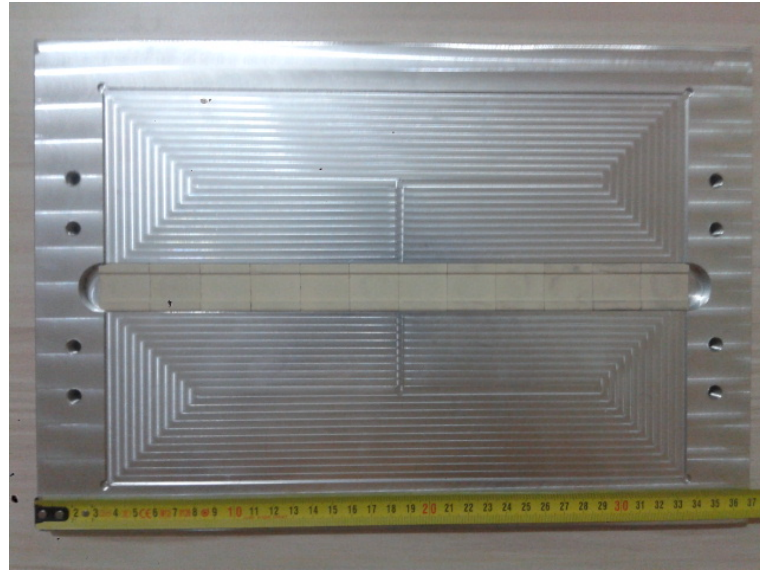
#### 4.2.2 MIG Kaynak Uygulaması

MIG kaynak uygulamasında, Fronius TransPulsSynergic 5000 marka dijital kaynak makinesi kullanılmıştır. Bu kaynak makineleri, mikro işlemci kumandalı ve dijital ayarlı güç kaynaklarına sahiptirler. Kaynak akımı ve gerilimi, ilk gaz-son gaz ayarları, pulse ayarları ve tel besleme hızı makine üzerinden kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Bu ayarlamalar dijital göstergeler ile hassas olarak yapılabilmektedir. 3x400 şebeke gerilimi ve  $\pm 15$  tolerans ile çalışma yapılmaktadır. Kaynak akımı DC' de 3 - 500 Amper aralığında ayarlanabilmektedir. Çalışma gerilimleri ise 14.2 – 39.0 V ve tel besleme hızı 0.5-22 m/dk. arasındadır. Ark oluşumu temas ile sağlanmıştır.

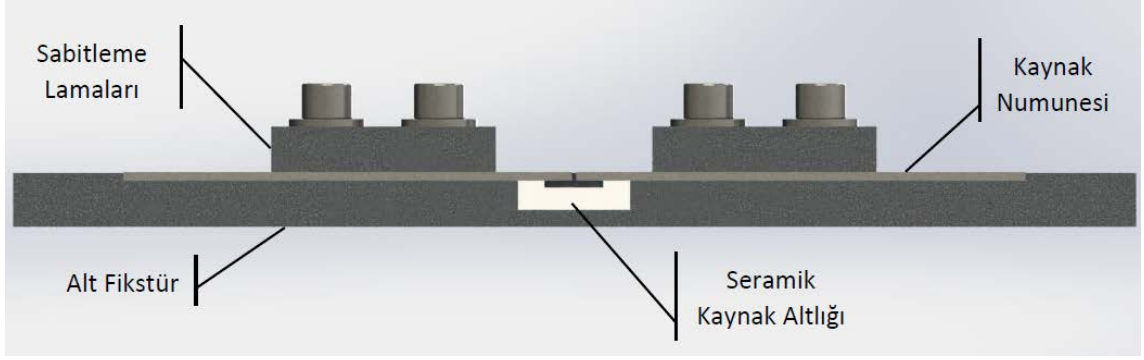


Şekil 4.5 MIG kaynak makinesi donanımı

Kaynak boşluğunun hassas olarak ayarlanması ve kaynak malzemesindeki distorsiyonları azaltmak amacıyla alüminyum malzemenen işlenen, fikstür kullanılmıştır. Fikstür, kaynak malzemesi ebatlarına ve seramik altlık boyutlarına uygun olarak CNC tezgahta talaşlı işlem yöntemiyle hazırlanmıştır. Alüminyum fikstürün orta kısmına seramik kaynak altlıkları kaynak dikişi boyunca konulmuştur.



Şekil 4.6 Kaynak fikstüründe kullanılan seramik altlık uygulaması



Şekil 4.7 Kaynak fikstürünün kesit görüntüsü



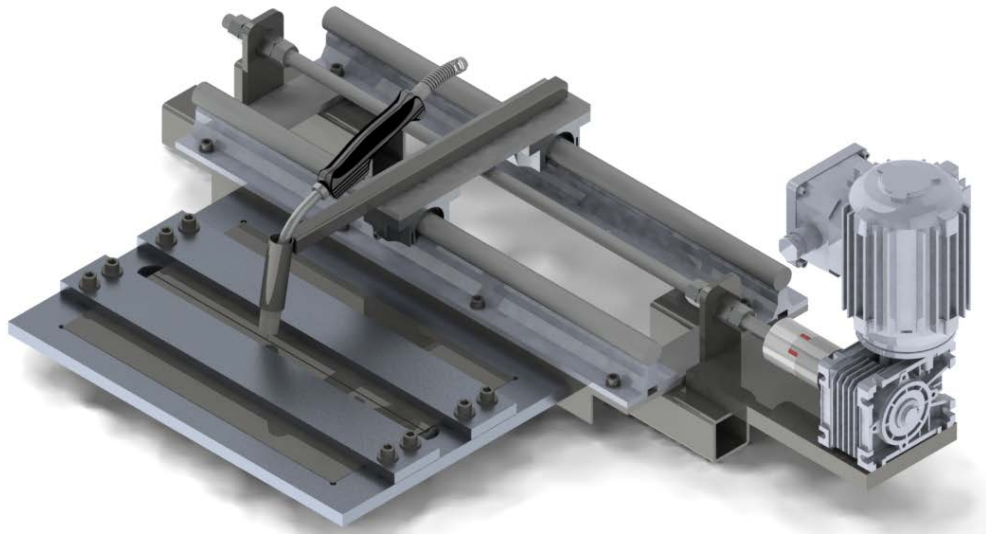
Şekil 4.8 Kaynak fikstürüne iş malzemesinin bağlanması

Deneyde kullanılan malzemelere, 400 numara kum SiC su zımparasıyla yüzey hazırlama işlemi uygulanmıştır. Daha sonra asetonla yüzeyler temizlenerek suyla yıkanmış ve hava fanıyla kurutulmuştur. Deneyde kullanılacak malzemeler alın altına pozilyonda, arada 1 mm boşluk ( $s=t/2$  s: kaynak boşluğu, t: kaynak malzemesi kalınlığı) kalacak şekilde daha önceden hazırlanmış alüminyum kaynak fikstürünün içine yerleştirilmiştir. Kaynak fikstürünün tam ortasına kaynak dikişinin altına gelecek şekilde seramik kaynak altlıkları konulmuş ve her kaynak işleminden sonra bu altlıklar, üzerindeki sıçrama ve serpintilerden tel fırça ve basınçlı hava yardımıyla temizlenmişlerdir.



Şekil 4.9 Kaynak işleminden sonra seramik altlığın temizlenmesi

Kaynak numuneleri her iki taraftan lamalar yardımıyla mekanik olarak sabitlenmiştir. Deneyde koruyucu gaz olarak ARCO-2, 10 lt/dk debide kullanılmıştır. Kullanılan nozul çapı 10 mm' dir. Kaynak işlemi esnasında iş parçası ile elektrot arasındaki mesafe 2 mm olarak ayarlanmıştır. İlave malzeme olarak, 1.2 mm çapında ER309LSi ve ER316Si olmak üzere iki farklı tel kullanılmıştır. Torç ile ana malzeme arasındaki açı 80°' dir. Her bir ilave tel için 3' er adet olmak üzere, toplam 6 adet kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynak işlemi için kullanılan torç, invertör kontrollü ve motorlu redüktör düzeneğiyle hareket alan bir mekanizmaya sabitlenmiştir. Bu mekanizmanın hareket hızı invertör yardımıyla hassas olarak kontrol edilmiştir.



Şekil 4.10 Torç taşıma aparatının 3 boyutlu CAD modeli



Şekil 4.11 Torç hareket mekanizması

Kaynak işlemi biten numuneler mevcut ortamda soğumaya bırakılmıştır. Numunelerdeki distorsiyonları azaltmak amacıyla sabitleme lamaları soğuma sırasında sökülmemiştir.



Şekil 4.12 Kaynak işlemi uygulanmış numune

Çizelge 4.4' de kaynak işlemi esnasında kullanılan parametrelerin çizelgesi gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 MIG kaynak parametreleri

| İlave Tel                     | Akım (A) | Kaynak Hızı (mm/dk) | Koruyucu Gaz (ARCO-2) Debisi (lt/dk) | Gerilim (V) | Isı Girdisi (kJ/mm) |
|-------------------------------|----------|---------------------|--------------------------------------|-------------|---------------------|
| ER316LSi ilave Tel ile Kaynak | 100      | 900                 | 10                                   | 17 ± 1      | 0.090               |
|                               | 100      | 750                 | 10                                   | 17 ± 1      | 0.108               |
|                               | 100      | 600                 | 10                                   | 17 ± 1      | 0.136               |
| ER309LSi ilave Tel ile Kaynak | 100      | 900                 | 10                                   | 17 ± 1      | 0.090               |
|                               | 100      | 750                 | 10                                   | 17 ± 1      | 0.108               |
|                               | 100      | 600                 | 10                                   | 17 ± 1      | 0.136               |

Kaynak sırasındaki akım, kaynak hızı ve gerilim parametreleri kullanılarak ısı girdisi hesaplanmıştır. Isı girdisinin analitik olarak hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$Q = \frac{U \times I \times 60}{S \times 1000} \times \xi \quad (4.2)$$

V = Gerilim(V)

S = Kaynak hızı (mm/dk)

$\xi$  = Verim = 0.8

I = Akım (A)

Q = Isı girişi (kJ/mm)

Verim kullanılan kaynak yöntemiyle ilgili olmakla beraber, MIG kaynak yöntemi için 0.8 olarak alınmıştır [54].

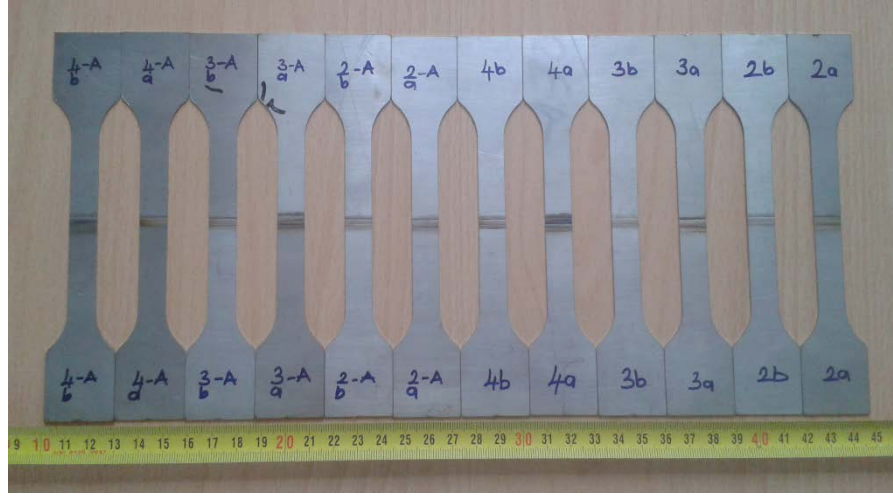
### 4.3. Mekanik Deneyler

#### 4.3.1 Çekme Deneyi

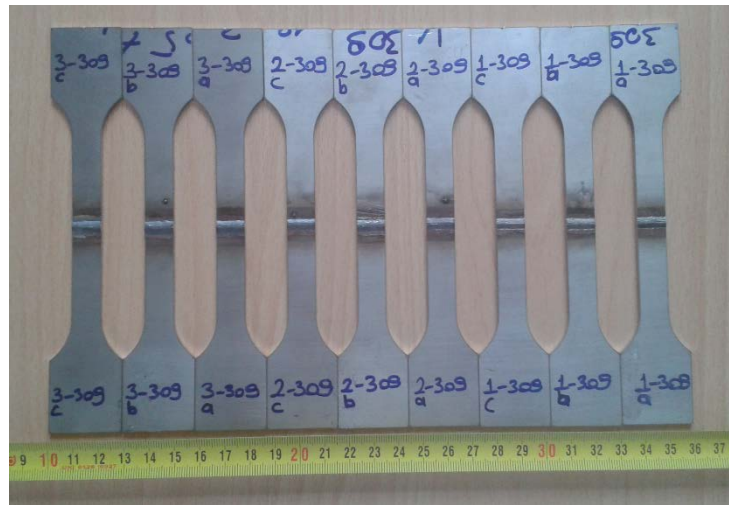
TS 287 EN 895 standardı, herhangi bir ergitme kaynağı işlemi ile yapılmış bağlantılar ihtiva eden her biçimdeki metalik malzemelerin, tahribatlı deneylerden enine çekme deneyini kapsamaktadır. Bu standart, bir alın kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımını ve kırılma yerini tespit etmek için yapılan enine çekme deneylerinde kullanılan deney



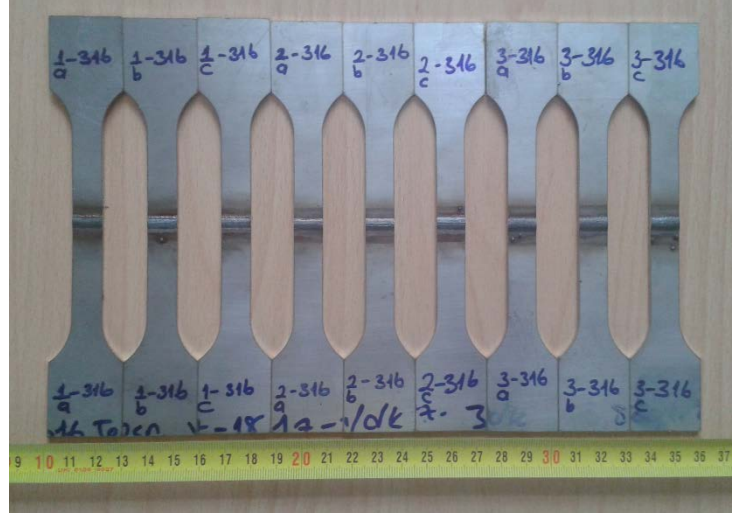
numunelerinin ölçülerini ve deney prosedürünü kapsamaktadır. Çekme testi, kaynaklı bir birleştirmeden, enine olarak alınan bir deney numunesine, ortam sıcaklığında ( $23\pm 5$  °C) kopana kadar artan bir çekme yükünün sürekli uygulanmasıdır. Deney numunesini çıkarmak için kullanılan mekanik veya ısıl işlemler deney numunesinin özelliklerini hiçbir şekilde değiştirmemelidir. Standartta verilen bilgiler doğrultusunda CNC lazer makinesiyle hazırlanan kaynaklı numunelerin, numune yüzeylerinde çentik etkisi yapacak izler giderilmiştir. Bu araştırmalar için gereken numuneler, TIG kaynak uygulaması için  $200\times 300\times 0.8$  mm' lik kaynak edilmiş altı plakadan ve MIG kaynak uygulaması için ise  $201\times 300\times 2$  mm'lik kaynak edilmiş altı plakadan lazer kesme işlemiyle çıkarılmıştır.



Şekil 4.13 TIG kaynağı çekme numuneleri



Şekil 4.14 MIG kaynak yöntemiyle ER309LSi ilave tel kullanılarak hazırlanmış kaynaklı çekme numuneleri

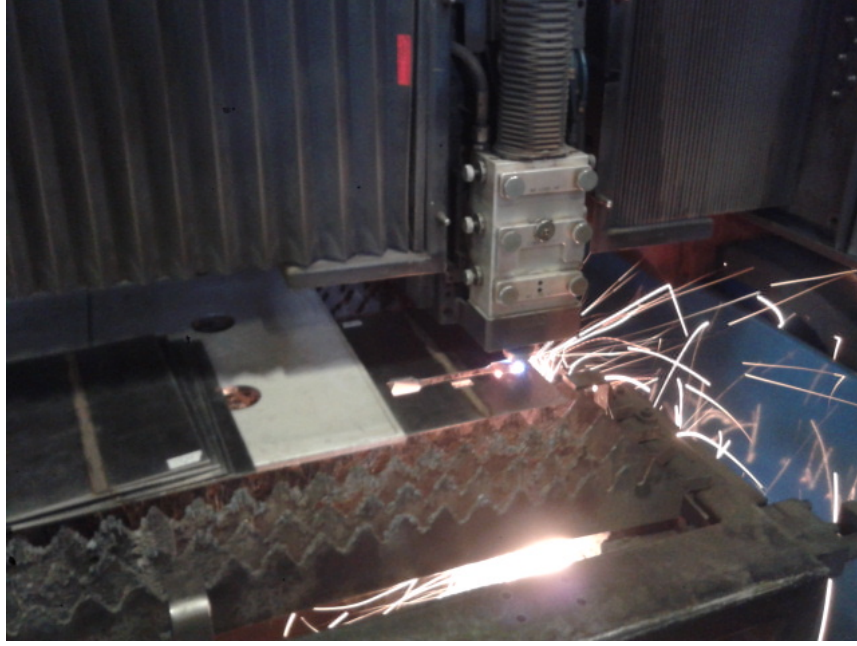


Şekil 4.15 MIG kaynak yöntemiyle ER316LSi ilave tel kullanılarak hazırlanmış kaynaklı çekme numuneleri

Kaynaklı malzemelerden çekme deney numunelerinin çıkarılması işleminde Prima marka CNC lazer kesim tezgahı kullanılmıştır.



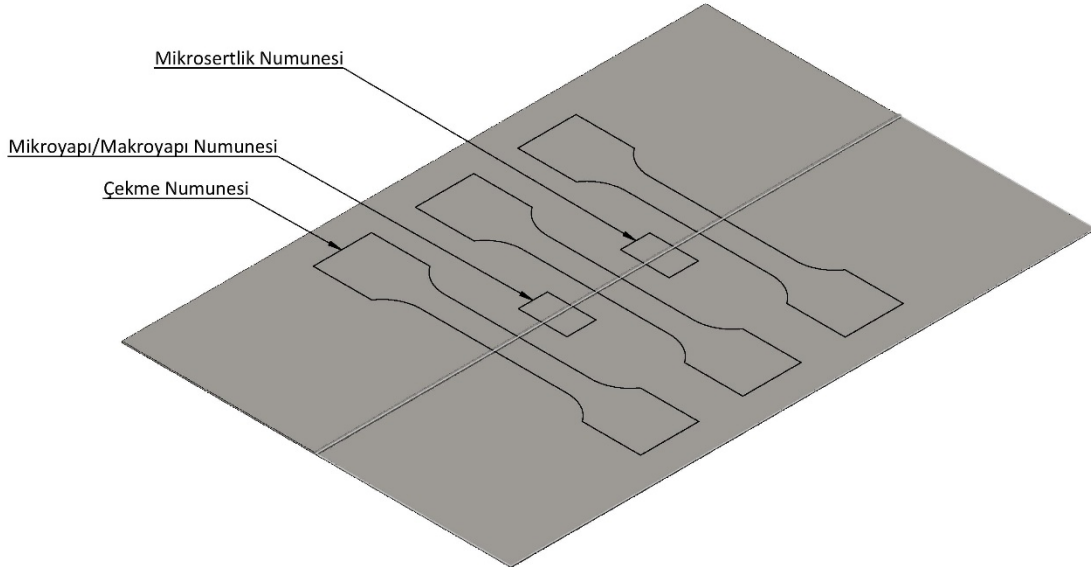
Şekil 4.16 CNC lazer kesim makinesi



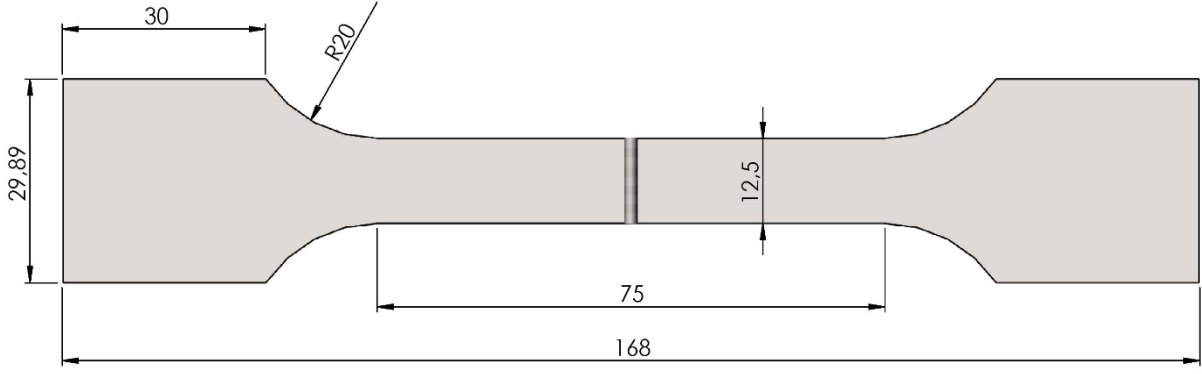
Şekil 4.17 Deney numunelerinin lazer kesim işlemi

Numunelerin çıkarılmasında literatürdeki standartlar kullanılmıştır. Şekil 4.18’ de numunelerin kesim işleminde kullanılan yerleşim resmi verilmiştir.

TIG deney numunelerinden 2 adet ve MIG kaynaklı deney numunelerinden 3 adet çekme, 1 adet mikroyapı/makroyapı ve 1 adet de mikrosertlik çalışması için numune çıkarılmıştır.



Şekil 4.18 Kaynak numunesinden alınan deney numuneleri



Şekil 4.19 Çekme numunesi boyutları

Farklı parametrelerin kullanılmasıyla kaynak edilmiş çekme numuneleri teste tabi tutulmuş ve ortalama değerler kullanılmıştır. Çekme numuneleri, oda sıcaklığında Alşa MCK marka cihaz ile 20 mm/dk ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.20' de çekme numunesinin yapıldığı Alşa MCK-100 çekme testi cihazı görülmektedir.



Şekil 4.20 Çekme testi cihazı

#### 4.3.2 Vickers Mikrosertlik Deneyi

Bir malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç sertlik olarak ifade edilir. Sertlik deneyinde, bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca veya kesici takıma karşı gösterdiği direnç ölçülür.

Bu deney TS 9913 EN 1043–1 numaralı metalik malzeme kaynaklarında tahribatlı deneyler – sertlik deneyi: Kaynaklı birleştirmelerde mikro sertlik deneyi adlı standarda göre hazırlamıştır.

Ölçümler şekil 4.21’ de gösterilen SHIMADZU HMV-G 21D marka cihazla yapılmış olup, elmas piramit uç ve 100 gr yük, 10 sn süre ile uygulanmıştır.

MIG kaynak numunelerinin sertlik ölçümlerinde, kaynak kesitinde ana malzemedan başlanılarak belirli aralıklarla ITAB, geçiş bölgesi, kaynak metali ve tekrar ana malzemedan toplam 13 noktadan ölçüm yapılmıştır.



Şekil 4.21 Mikro sertlik ölçme cihazı

#### 4.4. Makroyapı İncelemeleri

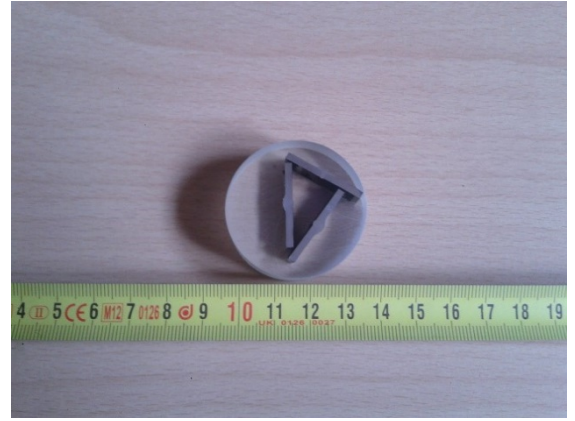
Makroyapı incelemelerinde, kaynak edilmiş her plakadan 1 adet 25x15 mm boyutlarındaki numuneler, CNC lazer makinesinde kesilerek hazırlanmıştır. Sırasıyla 180, 320, 600, 800, 1000 ve 2000 numara kum SiC su zımparasıyla yüzeyler zımparalanmış ve 6 mikron elmas süspansiyon ile su bazlı elmas yağlayıcı kullanılarak parlatma işlemi uygulanmıştır. Numunelerin zımparalama ve parlatma işlemleri otomatik uygulama yapabilen makinede, kademeli olarak 10 ile 30 N arasında baskı kuvvetleri ve 75 devir/dk döndürme hızları uygulanarak yapılmıştır.



Şekil 4.22 TIG kaynak çalışmalarının, makro yapı görüntüleme numunesi



(a)



(b)

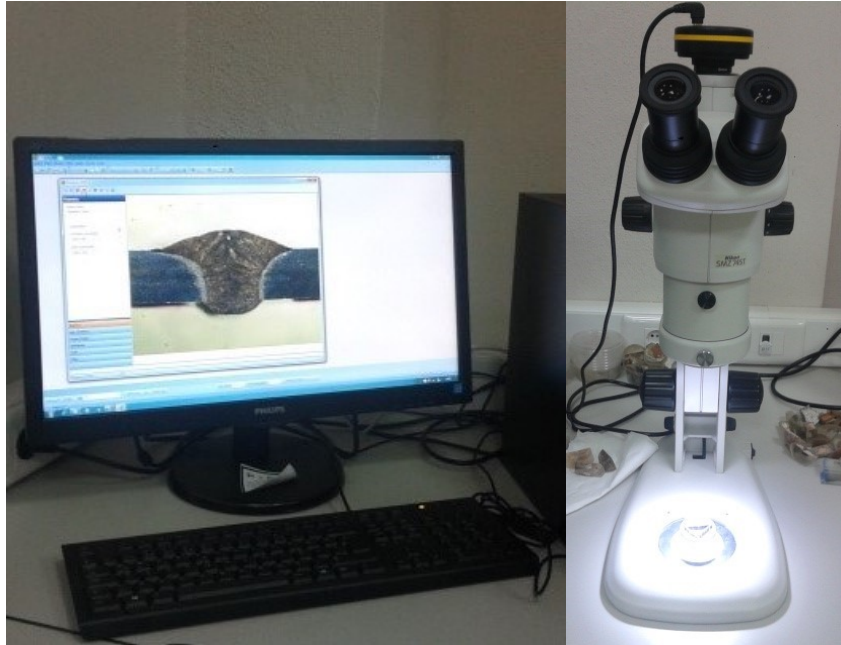
Şekil 4.23 (a) ER316LSi ilave telli (b) ER309LSi ilave telli MIG kaynak çalışmalarının makro yapı görüntüleme numunesi

Zımparalama ve parlatma işleminin ardından numuneler, Kallig's 1 çözeltisiyle (2 gr  $\text{CuCl}_2$ , 40 ml HCl, 40 ml etanol) daldırma yöntemi kullanılarak dağlanmıştır.



Şekil 4.24 Kalling's 1 çözeltisi

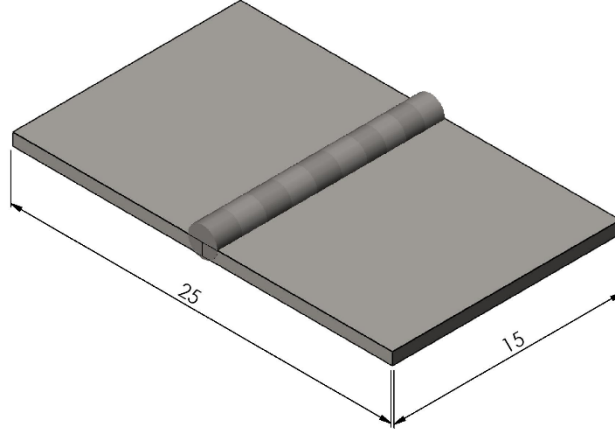
Daha sonra kesit görüntüsü alınarak, TIG kaynaklı numuneler için X25 ve MIG kaynaklı numuneler için X15 büyütme ile makro görüntüleri elde edilmiştir. Görüntüler aracılığıyla kaynak parametrelerinin etkileri değerlendirilmiştir. Görüntüleme işlemleri, şekil 4.25' de görülen Nikon SMZ 745T stereoskopik mikroskopta gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.25 Stereoskopik mikroskop

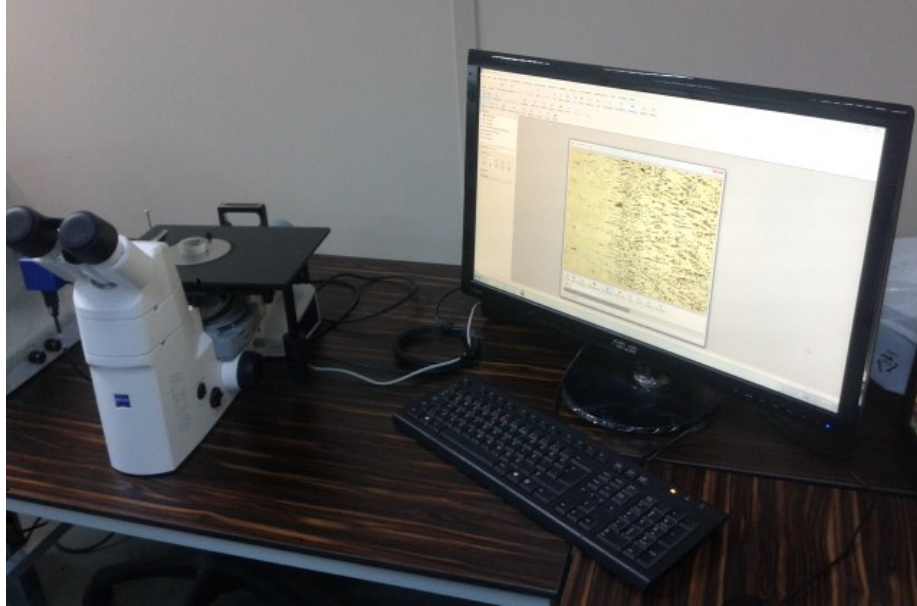
#### 4.5. Mikroyapı İncelemeleri

Mikroyapı incelemeleri için, kaynak bölgesine önden bakmak amacıyla hazırlanan kaynak metali, ITAB ve esas metalin görülebildiği her plaka için 1 adet numune hazırlanmıştır. Bu numuneler, kaynak deilmiş plakadan, kaynak dikişine dik yönde enine kesit alınmak suretiyle hazırlanmıştır.



Şekil 4.26 Mikroyapı/makroyapı görüntüleme numunesi

Dağlanmış deney numunelerinin ana metal, ITAB ve kaynak metali temsil bölgelerinden, mikro yapı değişikliklerini incelemek için farklı büyütmelerde görüntü alabilen CARL ZEISS Axio Vert.A1 MAT mikroskop kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler bilgisayar programı aracılığı ile dijital ortama aktarılmıştır.



Şekil 4.27 Ters metal mikroskobu



Çalışma sonucunda hazırlanan mikroyapı numuneleri, öncelikle soğuk bakalite alınmışlardır. Soğuk bakalite alınma işlemi için 1' e 3 oranında sırasıyla Corepox MEH – 2900 sertleştirici ve sıvılaştırıcı kullanılmıştır. Ayrıca TIG kaynaklı numunelerinin kaynak alt yüzeylerinin mikro yapı görüntülerinin alınması amacıyla, numunelere sıcak bakalite alma işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4.28 Sıcak bakalite alma presi



Şekil 4.29 Sıcak bakalite alınmış TIG kaynaklı numuneler

Bakalite alınan numuneler yüzeylerinin çizilmemesi için su zımparası ile zımparalanmışlardır. Numunelere öncelikle sırayla 180 ve 320 numaralı zımpara ile

kaba zımparalama yapılmıştır. İnce zımparalama kademesinde 600, 800, 1000 ve 2000 numaralı silisyum karbür (SiC) zımparalar kullanılmıştır.

Zımparalama işlemi bittikten sonra numunelerin mikroskopik incelemeleri için parlatılmaları gerekmektedir. Parlatma işleminde amaç düzgün yüzeyli, çizik olmayan ve ayna gibi bir görünüm sağlamaktır. Numuneler 6 mikron elmas süspansiyon ile su bazlı elmas yağlayıcı kullanılarak parlatılmıştır. Numunelerin zımparalama ve parlatma işlemleri otomatik uygulama yapabilen makinede, kademeli olarak 10 ile 30 N arasında baskı kuvvetleri ve 75 devir/dk döndürme hızları uygulanarak yapılmıştır. Başarılı parlatma işleminde, nihai parlatma kademesinden sonra numunenin yüzeyi ayna gibi görünür. Bununla beraber göz aldanmasına engel olmak amacıyla özellikle numunenin mikro yapı fotoğrafı çekilecekse parlatmanın yeterli olup olmadığı ancak, numunenin mikroskopta X100 büyütmede incelenmesi ile anlaşılır.



Şekil 4.30 TIG kaynak çalışmalarının mikro yapı görüntüleme numunesi



(a)



(b)

Şekil 4.31 (a) ER316LSi ilave telli (b) ER309LSi ilave telli MIG kaynak çalışmalarının mikro yapı görüntüleme numunesi

Parlatılmış numune yüzeyine uygun bir reaktif tatbik edilmesine dağlama denir. Dağlama ile parlatma sonunda görülemeyen mikro yapı özellikleri açığa çıkar. Numunelere, Kallig's 1 çözeltisiyle (2 gr  $\text{CuCl}_2$ , 40 ml HCl, 40 ml ethanol) daldırma yöntemiyle dağlama yapılmıştır. Dağlama, ayrıca fazların cinsini tayin etmede ve yönlenme etütlerinde kullanılmıştır. Dağlama işleminden sonra numune yüzeyleri su ile yıkanmış ve daha sonra alkol uygulaması yapılmıştır.



Şekil 4.32 Zımparalama ve parlatma cihazı

### DENEYSEL SONUÇLAR

#### 5.1 Mekanik Deney sonuçları

##### 5.1.1 Çekme Deneyi Sonuçları

###### 5.1.1.1 TIG Kaynak Çalışmasına Ait Çekme Deneyi Sonuçları

Her deney numunesinden 2' şer adet çekme deneyi yapılmış, geçerli kopma ve uzama % değerleri çizelge 5.1' de verilmiştir. TIG kaynaklı numunelerin en yüksek kopma değeri, 130 A, 1500 mm/dk parametreleri kullanılarak, kaynaklı bölgenin alt tarafına azot gazı uygulanmamış numunede 686.7 MPa olarak elde edilmiştir. Diğer taraftan en ideal bağlantı parametresi, azot uygulamalı ve uygulamasız olarak, 130 A 1500 mm/dk değerlerinde elde edilmiştir. 85 A 1000 mm/dk, 100 A 1300 mm/dk parametreleriyle alt kaynak bölgesi azot gazı uygulamalı ve uygulamasız numunelerde ise etkili birleşme veya yeterli nüfuziyetin sağlanamaması sebebiyle kaynak metalinden kopmalar meydana gelmiştir. Bu durum seçilen parametrelerin güvenilir değerler olmadığını göstermektedir.

Çizelge 5.1 TIG kaynak numunelerine ait çekme deneyi sonuçları

| Numune                                    |                   | Çekme Dayanımı/MPa | Uzama/%  |
|---|-------------------|--------------------|----------|
|   |                   | Değerler           | Değerler |
| Alt Kaynak Bölgesi Azot Gazı Uygulanmasız | 85 A, 1100 mm/dk  | 567.8              | 13       |
|   | 100 A, 1300 mm/dk | 592.1              | 10.7     |
|   | 130 A, 1500 mm/dk | 686.7              | 24.4     |
| Alt Kaynak Bölgesi Azot Gazı Uygulamalı   | 85 A, 1100 mm/dk  | 548.0              | 11.3     |
|   | 100 A, 1300 mm/dk | 560.2              | 8.3      |
|   | 130 A, 1500 mm/dk | 678.9              | 25       |



Şekil 5.1 Çekme testi sonrası TIG kaynaklı numuneler

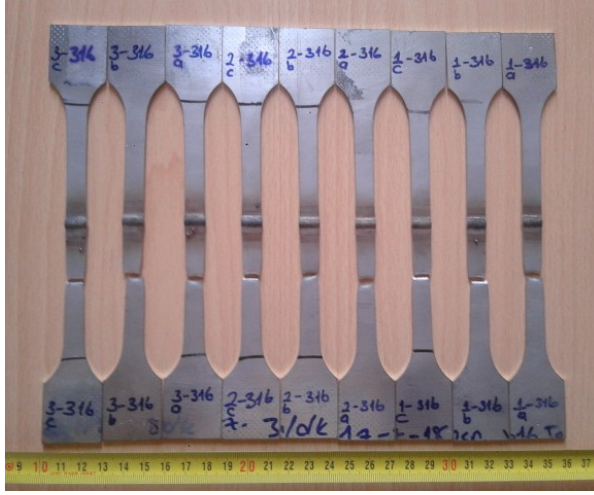
### 5.1.1.2 MIG Kaynak Çalışmasına Ait Çekme Deneyi Sonuçları

Farklı ilave tel ve parametreler kullanılarak hazırlanan, kaynak edilmiş malzemelerden 3' er adet çekme deney numunesi çıkarılmıştır. Deney sonuçlarındanda görüleceği üzere en fazla ısı girdisine sahip olan numuneler, en düşük çekme değerini oluşturmuştur. Ayrıca ER316LSi ve ER309LSi ilave tel kullanılarak aynı parametreler ile birleştirilen deney numuneleri karşılaştırıldığında, ER309LSi ilave tel kullanılarak birleştirilen numunelerin daha yüksek çekme değerlerine sahip olduğu görülebilir. Test sonuçlarında ortaya çıkan E316L ilave tel kaynaklı numunedeki gevrek yapı, ilave telde

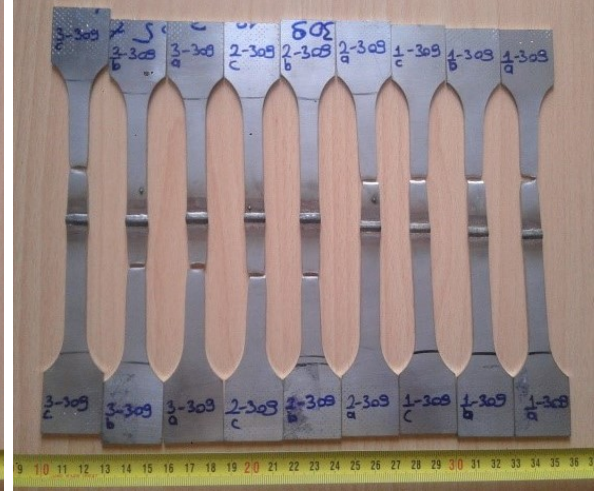
mevcut olan Mo' den neticesinde oluşmaktadır. Bütün numuneler kaynaklı bölgenin dışında, ana malzemeden kopma göstermiştir. Bu durum kaynaklı bölgenin çekme dayanımının esas metalinkinden fazla olduğunu ve kaynaklı bağlantıların emniyetli olduğunu göstermektedir. ER316LSi ve ER309LSi ilave tel kullanılarak birleştirilen numunelerden en yüksek çekme dayanımı 100 A 900 mm/dk parametreleri kullanılan numunelerde oluşmuştur.

Çizelge 5.2 MIG kaynak numunelerine ait çekme deneyi sonuçları

| Numune                        |                  | Akma Değeri/MPa |          | Çekme Dayanımı/MPa |          | Uzama/%  |          |
|-------------------------------|------------------|-----------------|----------|--------------------|----------|----------|----------|
|                               |                  | Değerler        | Ortalama | Değerler           | Ortalama | Değerler | Ortalama |
| ER316LSi ilave Tel ile Kaynak | 100 A, 900 mm/dk | 384.2           | 383.3    | 654.6              | 657.9    | 48.4     | 47.6     |
|                               |                  | 383.1           |          | 655.7              |          | 48.1     |          |
|                               |                  | 382.8           |          | 663.5              |          | 46.4     |          |
|                               | 100 A, 750 mm/dk | 389.4           | 382.4    | 651.1              | 654.2    | 44.6     | 45.4     |
|                               |                  | 377.6           |          | 652.2              |          | 46.2     |          |
|                               |                  | 380.4           |          | 659.4              |          | 45.6     |          |
|                               | 100 A, 600 mm/dk | 395.7           | 397.6    | 650.4              | 652.1    | 44.8     | 44.0     |
|                               |                  | 392.4           |          | 652.1              |          | 45.6     |          |
|                               |                  | 404.7           |          | 654.0              |          | 41.7     |          |
| ER309LSi ilave Tel ile Kaynak | 100 A, 900 mm/dk | 380.4           | 381.5    | 662.2              | 666.6    | 45.8     | 45.6     |
|                               |                  | 377.8           |          | 663.7              |          | 46.5     |          |
|                               |                  | 386.5           |          | 674.1              |          | 44.7     |          |
|                               | 100 A, 750 mm/dk | 331.2           | 341.4    | 654.6              | 661.8    | 49.2     | 51.2     |
|                               |                  | 387.4           |          | 661.4              |          | 46.6     |          |
|                               |                  | 305.7           |          | 669.4              |          | 57.8     |          |
|                               | 100 A, 600 mm/dk | 297.4           | 298.6    | 659.1              | 659.7    | 53.7     | 53.4     |
|                               |                  | 305.0           |          | 659.5              |          | 53.1     |          |
|                               |                  | 293.5           |          | 660.5              |          | 53.6     |          |

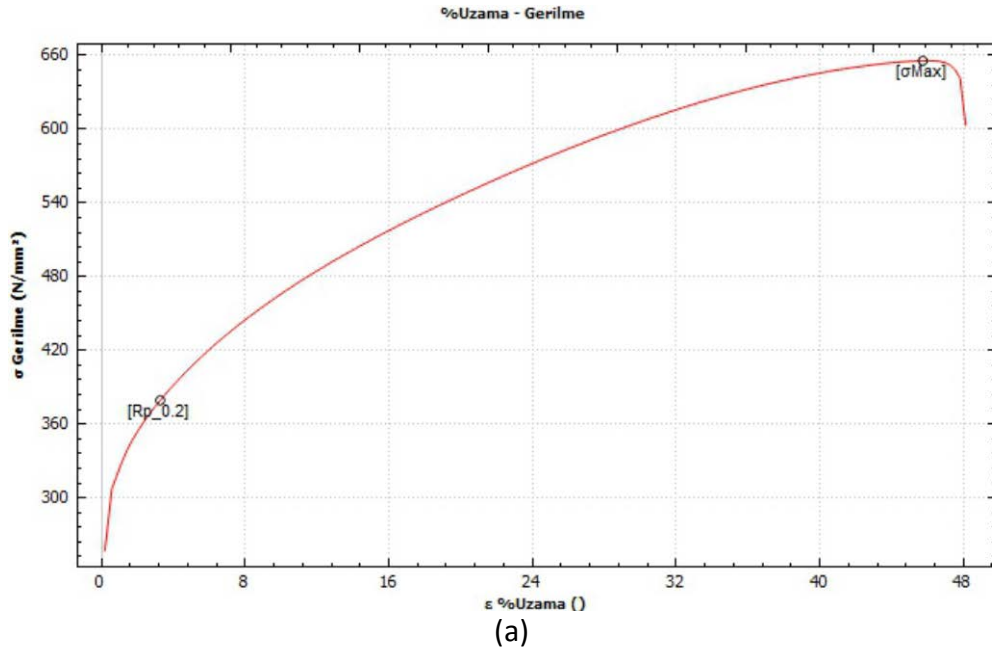


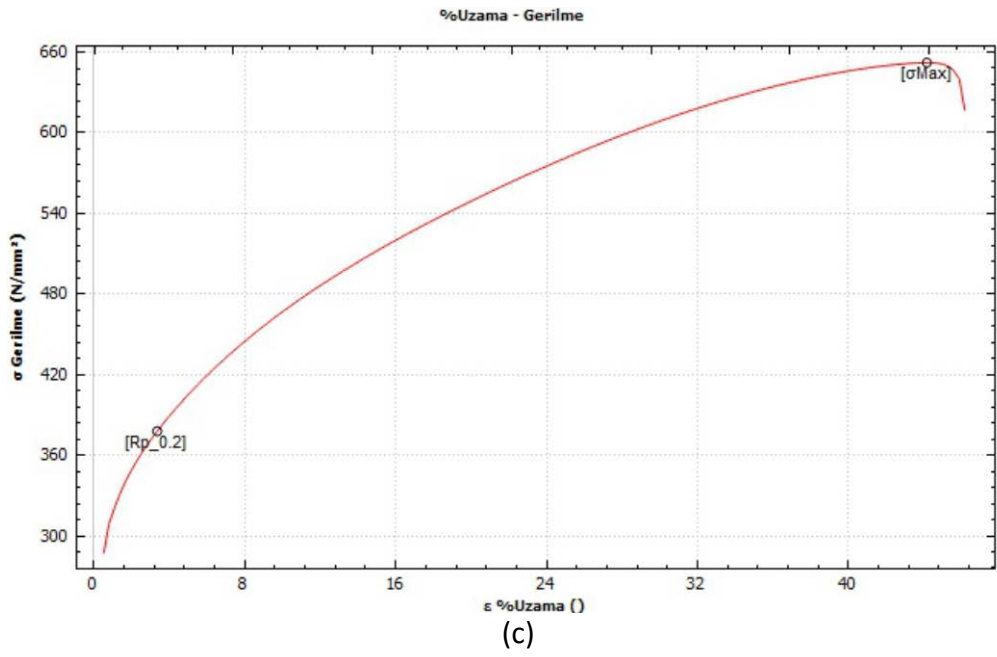
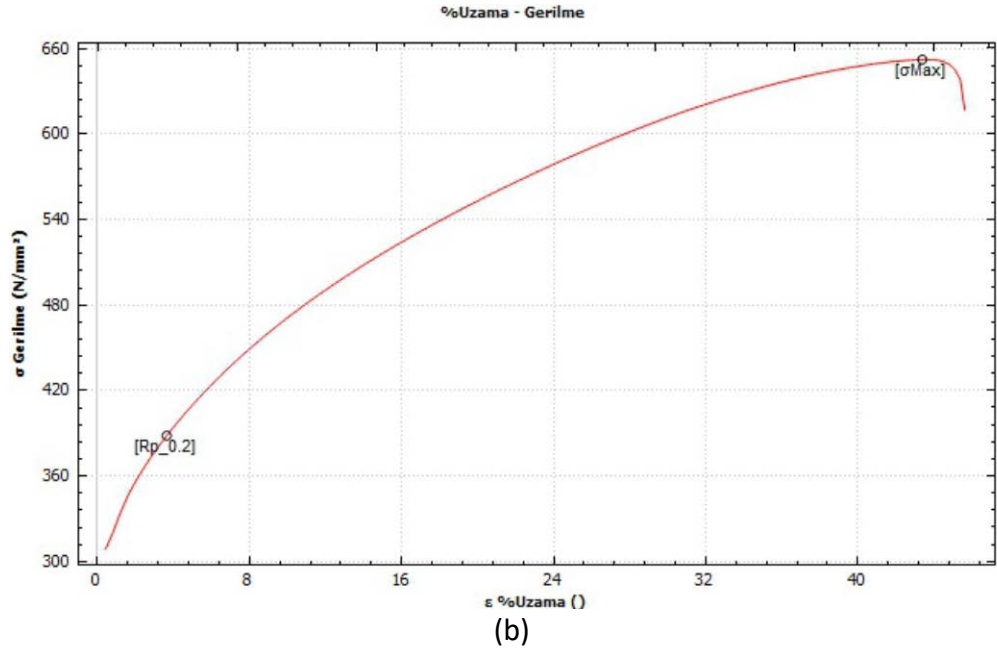
(a)



(b)

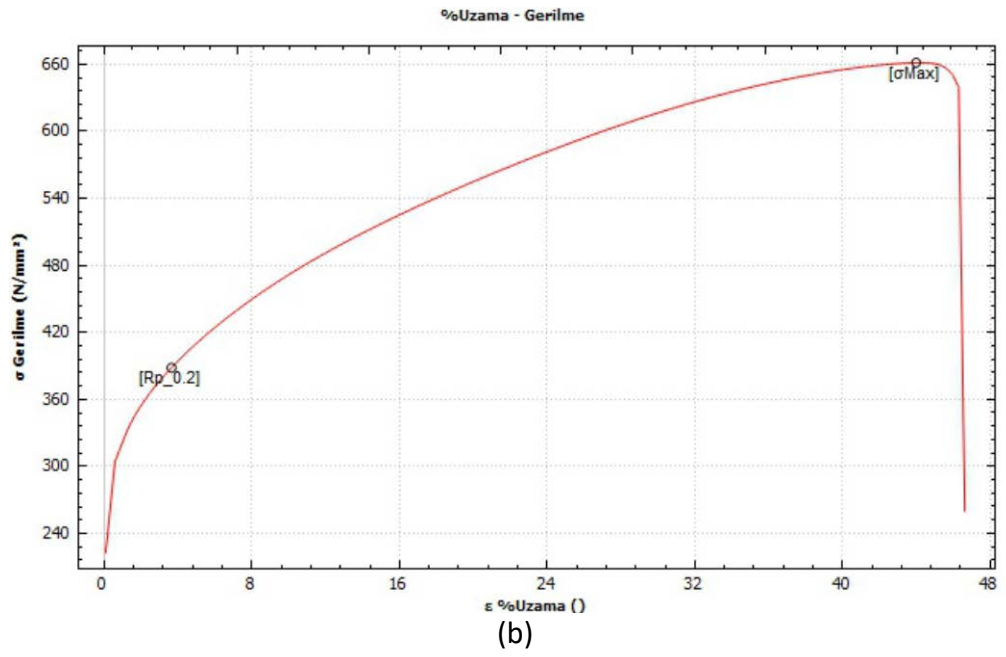
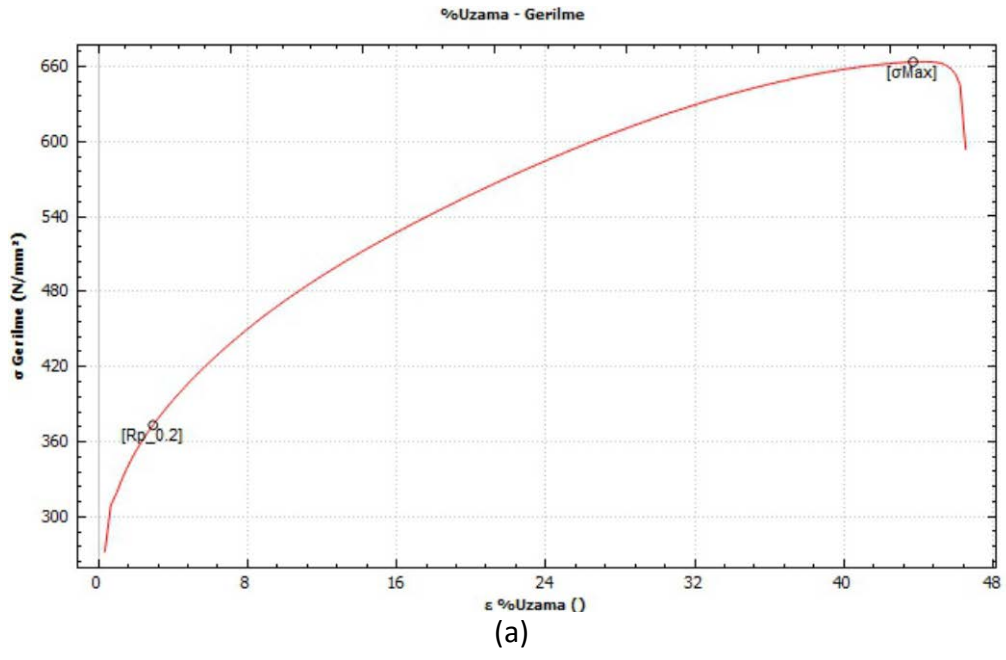
Şekil 5.2 Çekme testi sonrası MIG kaynaklı numuneler (a) ER316LSi ilave telli (b) ER309LSi ilave telli

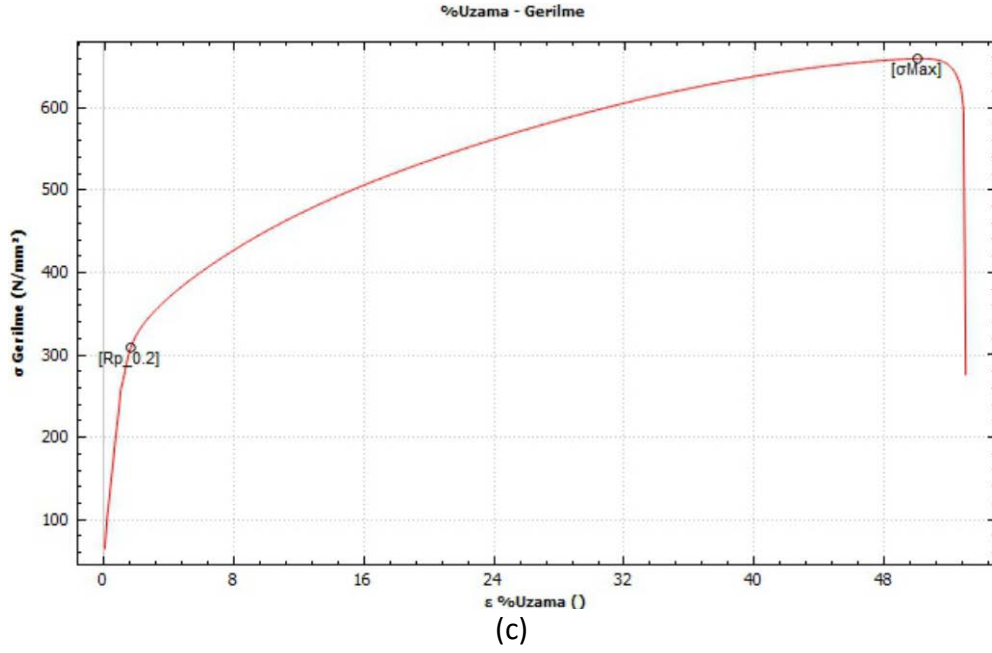




Şekil 5.3 ER316LSi ilave telli çekme numunesi sonuçları (a) 100 A 900 mm/dk (b) 100 A 750 mm/dk (c) 100 A 600 mm/dk







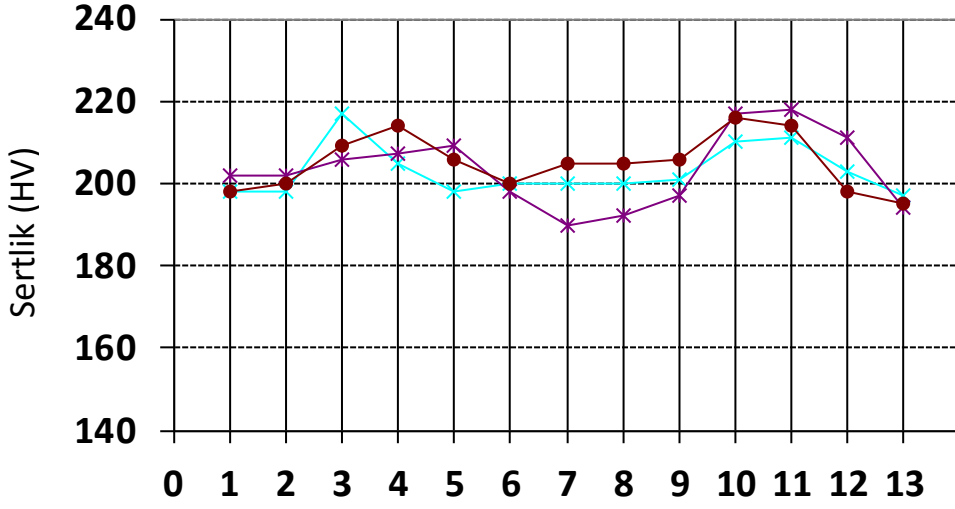
Şekil 5.4 ER309LSi ilave telli çekme numunesi sonuçları (a) 100 A 900 mm/dk (b) 100 A 750 mm/dk (c) 100 A 600 mm/dk

## 5.1.2 Vickers Mikrosertlik Deneyi

### 5.1.2.1 MIG Kaynak Çalışmasına Ait Vickers Sertlik Deneyi Sonuçları

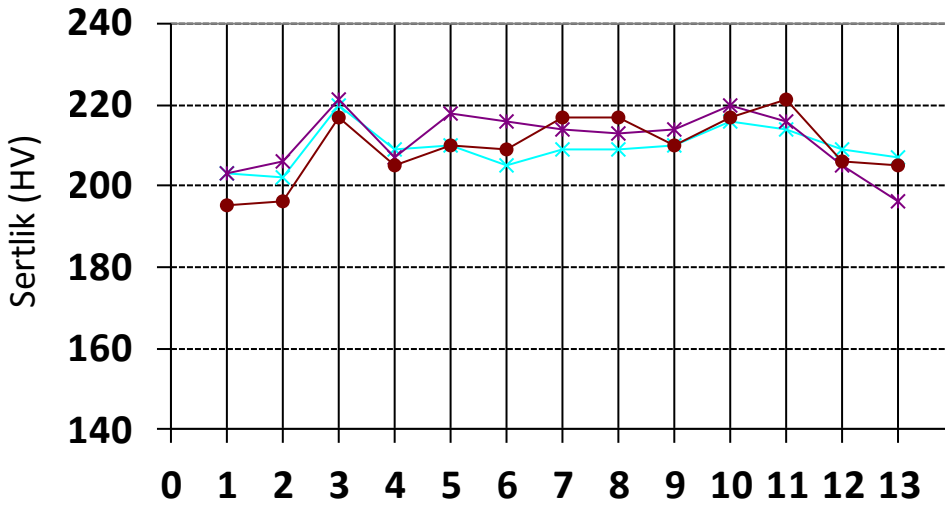
Sertlik sonuçlarına bakıldığında ER316LSi ilave tel kullanılarak birleştirilen kaynaklı numunenin, kaynak ve geçiş bölgesindeki sertlik değerinin ER309LSi ilave tel kullanılarak birleştirilen numuneden yüksek olduğu görülmüştür. Genel olarak bütün numunelerde, kaynak metali ve geçiş bölgesinin sertliği esas metalin sertliğinden yüksek çıkmaktadır. Numunelerin geçiş bölgesinde oluşan sertlik değeri, kaynak bölgesinden daha yüksek olmaktadır.

ER309LSi/100A/900mm/dk ER309LSi/100A/750mm/dk ER309LSi/100A/600mm/dk

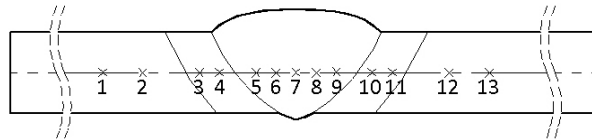


(a)

ER316LSi/100A/900mm/dk ER316LSi/100A/750mm/dk ER316LSi/100A/600mm/dk



(b)

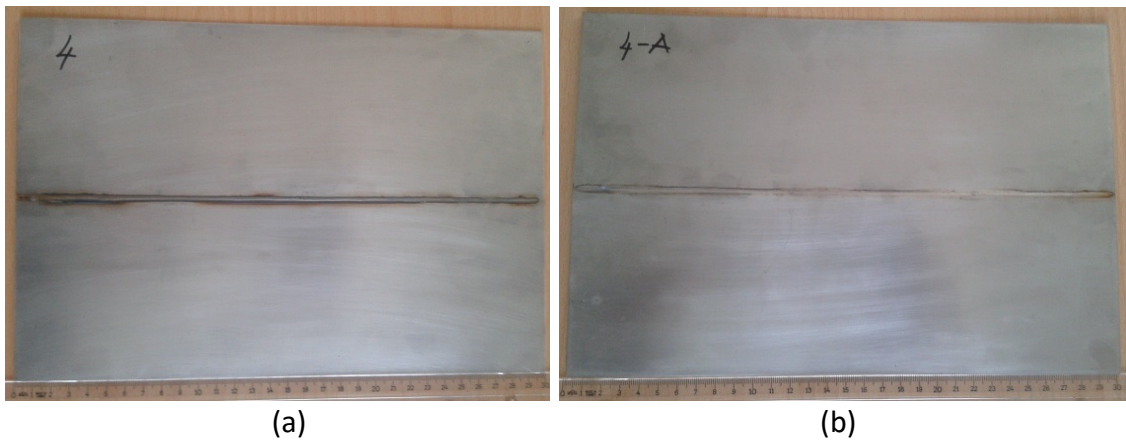


Şekil 5.5 Mikro sertlik sonuçları (a) ER316LSi ilave telli (b) ER309LSi ilave telli

## 5.2 Makroyapı İncelemeleri

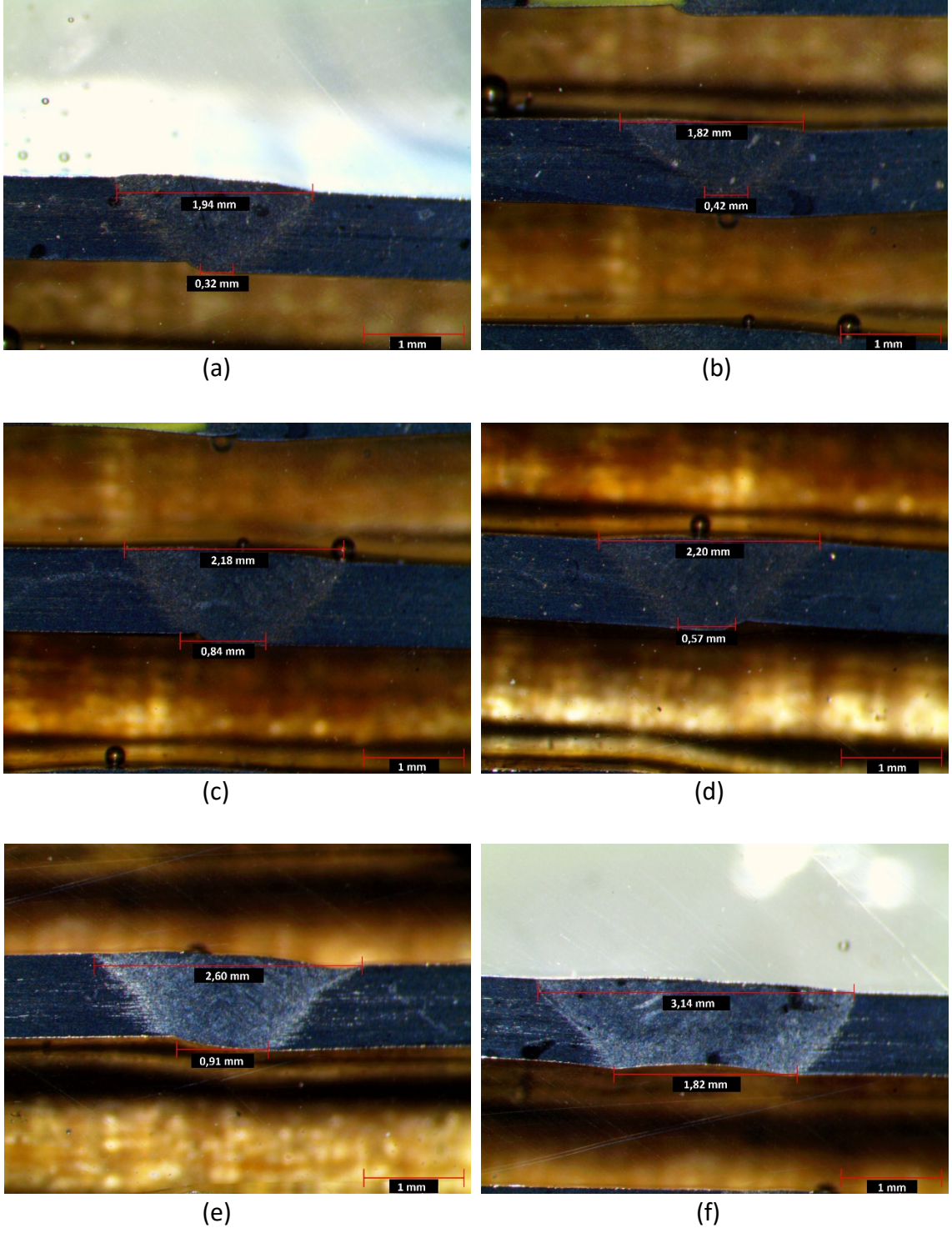
### 5.2.1 TIG Kaynak Çalışmasına Ait Makroyapı İncelemesi Sonuçları

Aynı parametreler kullanılarak birleştirilmiş kaynaklı numunelerin alt bölgesine uygulanan azot gazının etkileri göz ile kontrol edildiğinde, azot gazı uygulaması yapılmış deney numunelerinin yüzeylerinde meydana gelen kararmanın görülmediği veya yok denecek kadar az meydana geldiği tespit edilmiştir. Kaynak bölgesinde oluşan karar, numunenin ısı ve oksijene aynı anda maruz kalmasıyla oluşmaktadır. Renk değişimiyle paslanmaz çelik yüzeyindeki pasif tabaka, oksidasyon ve difüzyon prosesleri ile değişime uğramaktadır [55]. Azot gazı kullanılarak kaynak alt yüzeyine yönelik atmosferik koruma uygulaması, endüstriyel çalışmalarda kaynak sonrası temizlik işlemleri önemli ölçüde azalmaktadır.



Şekil 5.6 TIG kaynaklı numuneler a) azot uygulaması yapılmamış b) azot uygulaması yapılmış

Makro incelemeler çerçevesinde, farklı parametreler kullanılarak kaynak edilmiş numunelerin nüfuziyet şekli ve kaynak geometrisi incelenmiş, ölçülendirmeler stereo mikroskop yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sayede parametrelerin kaynak geometrisine olan etkileri değerlendirilmiştir.

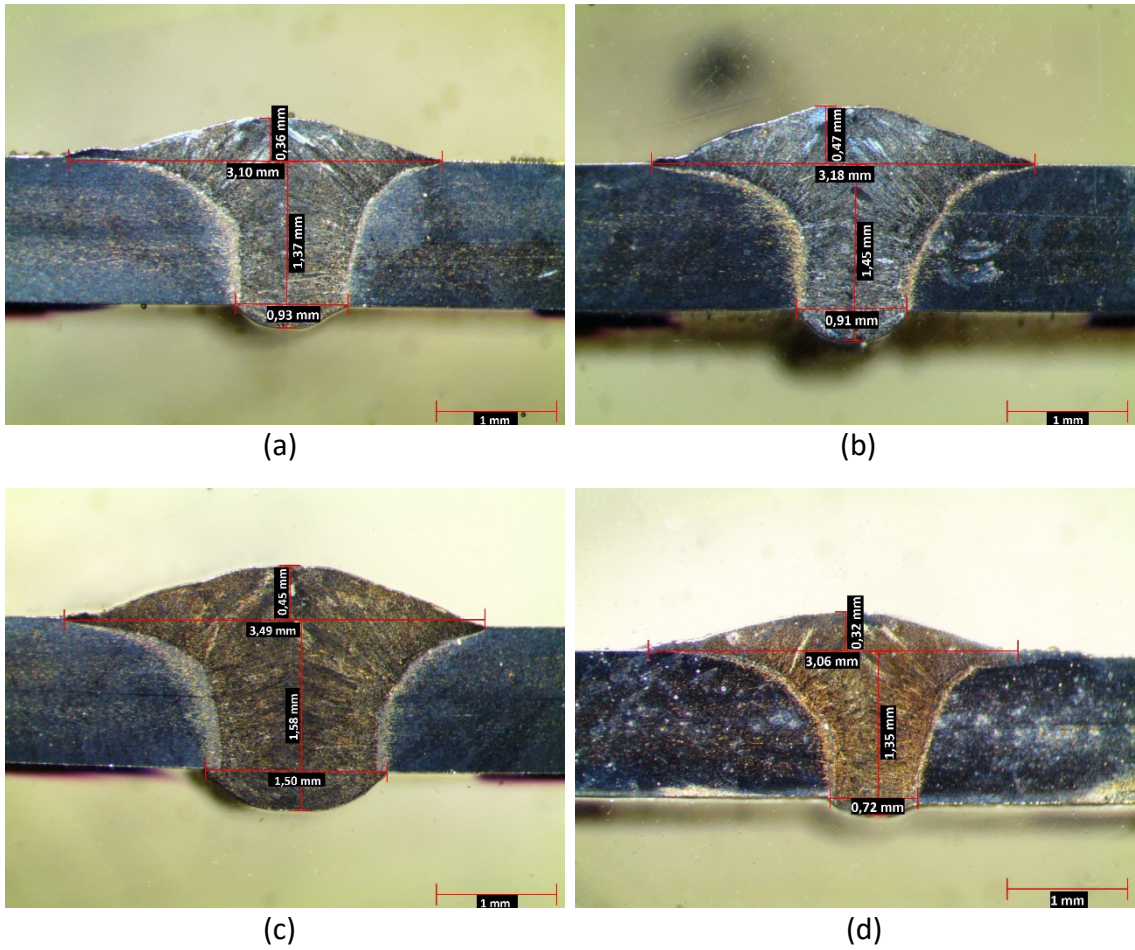


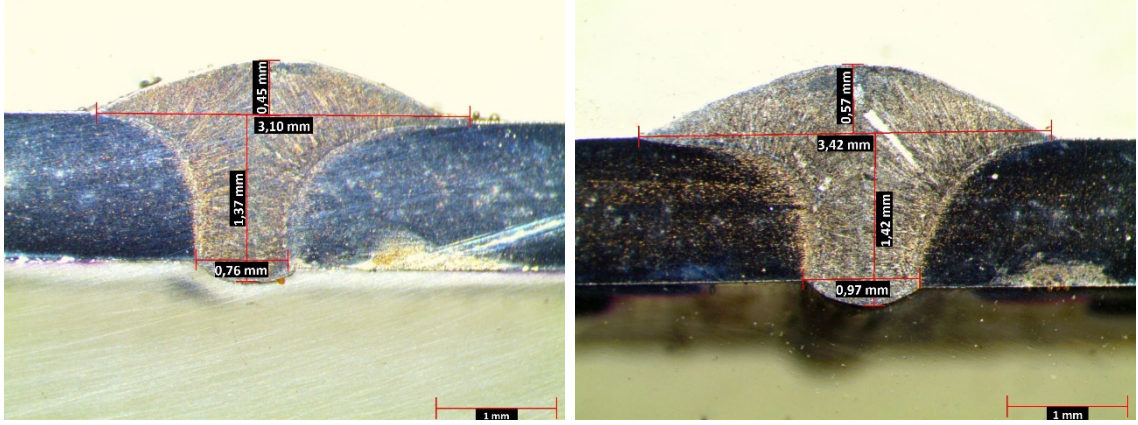
Şekil 5.7 a) 85 A 1100 mm/dk azot uygulamasız b) 85 A 1100 mm/dk azot uygulmalı c) 100 A 1300 mm/dk azot uygulamasız d) 100 A 1300 mm/dk azot uygulmalı e) 130 A 1500 mm/dk azot uygulamasız f) 130 A 1500 mm/dk azot uygulmalı

Makro görüntüler incelendiğinde, 85 A ve 1100 mm/dk parametreleriyle birleştirilen alt koruyucu azot gazı uygulamalı ve uygulamaz numunelerinde, kaynak alt bölgesinde yetersiz nüfuziyet veya kısmi nüfuziyet meydana gelmiştir. Bu parametreler ısı girdisinin en düşük olduğu parametreleri ifade etmektedir. Bu durumda kaynak emniyet koşulları oluşmadığı görülmektedir. İncelemeler sonucunda en yüksek kaynak alanının, 130 A 1500 mm/dk parametreleriyle birleştirilen numunelerde gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum kaynak metali alanının, numuneye olan ısı geçişiyle doğru orantılı olarak arttığını göstermiştir.

### 5.2.2 MIG Kaynak Çalışmasına Ait Makroyapı İncelemesi Sonuçları

MIG kaynağı ile birleştirilen numunelerin kaynak bölgesi makro düzeyde incelendiğinde, ısı girdisinin artışıyla beraber kaynak alanının arttığı ortaya çıkmıştır. Isı girdisiyle kaynak bölgesi alanındaki bu artış ER309LSi ve ER316LSi ilave tel kullanımının her ikisinde de gerçekleşmektedir.





(e)

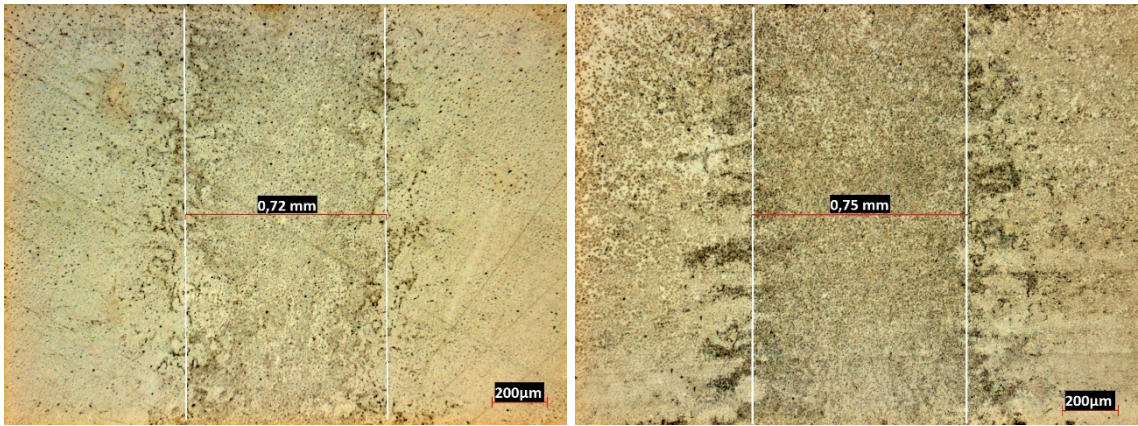
(f)

Şekil 5.8 a) 100 A 900 mm/dk 316LSi ilave tel b) 100 A 750 mm/dk 316LSi ilave tel c) 100 A 600 mm/dk 316LSi ilave tel d) 100 A 900 mm/dk 309LSi ilave tel e) 100 A 750 mm/dk 309LSi ilave tel f) 100 A 600 mm/dk 309LSi ilave tel

### 5.3 Mikroyapı İncelemeleri

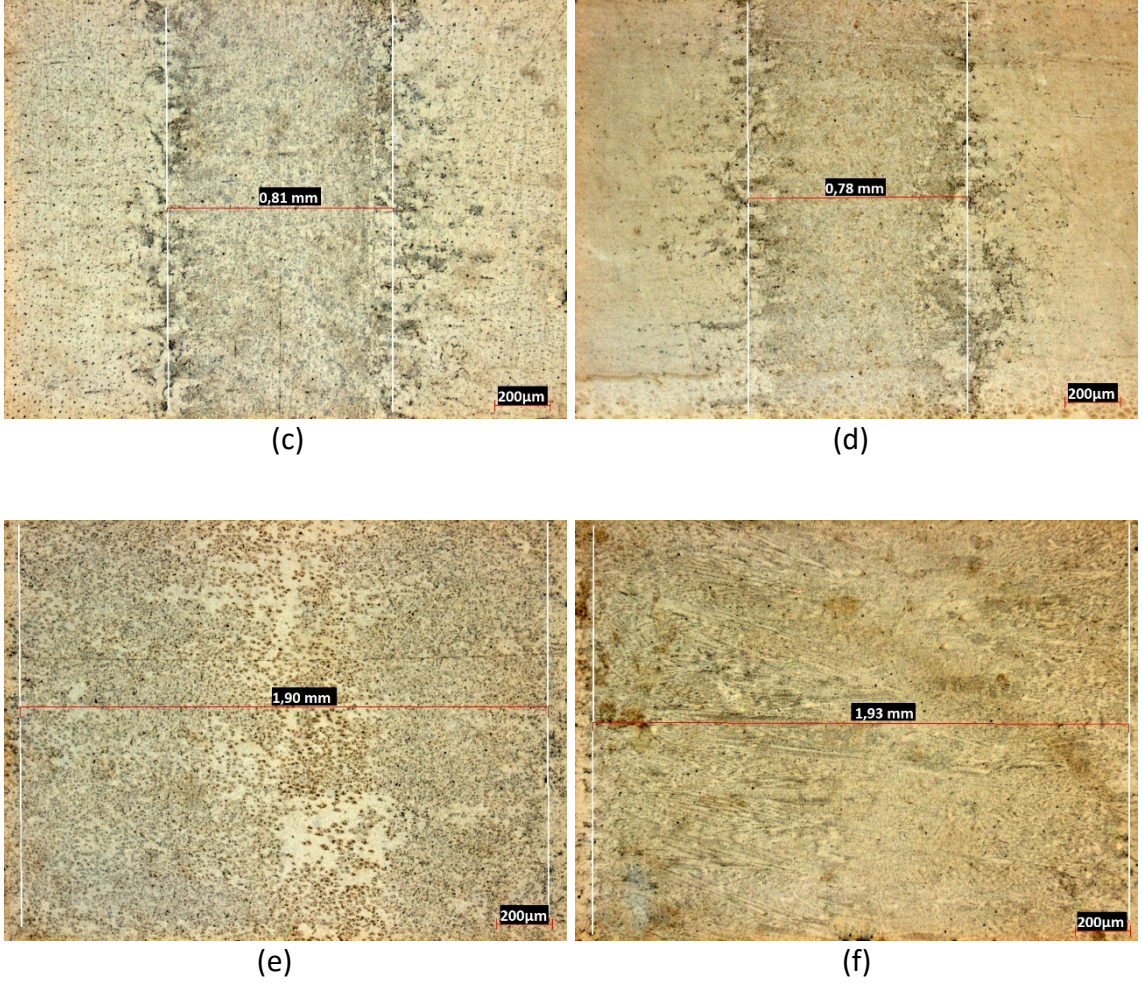
#### 5.3.1 TIG Kaynak Çalışmasına Ait Mikroyapı İncelemesi Sonuçları

TIG kaynaklı numunelerin kaynak alt bölgesinden alınan görüntüleri, mikroskopta incelenmiş ve yorumlar yapılmıştır. Kaynak alt bölgesinden görüntü almak amacıyla hazırlanan numunelerin, 50X büyütmede mikro yapıları incelenmiştir.



(a)

(b)



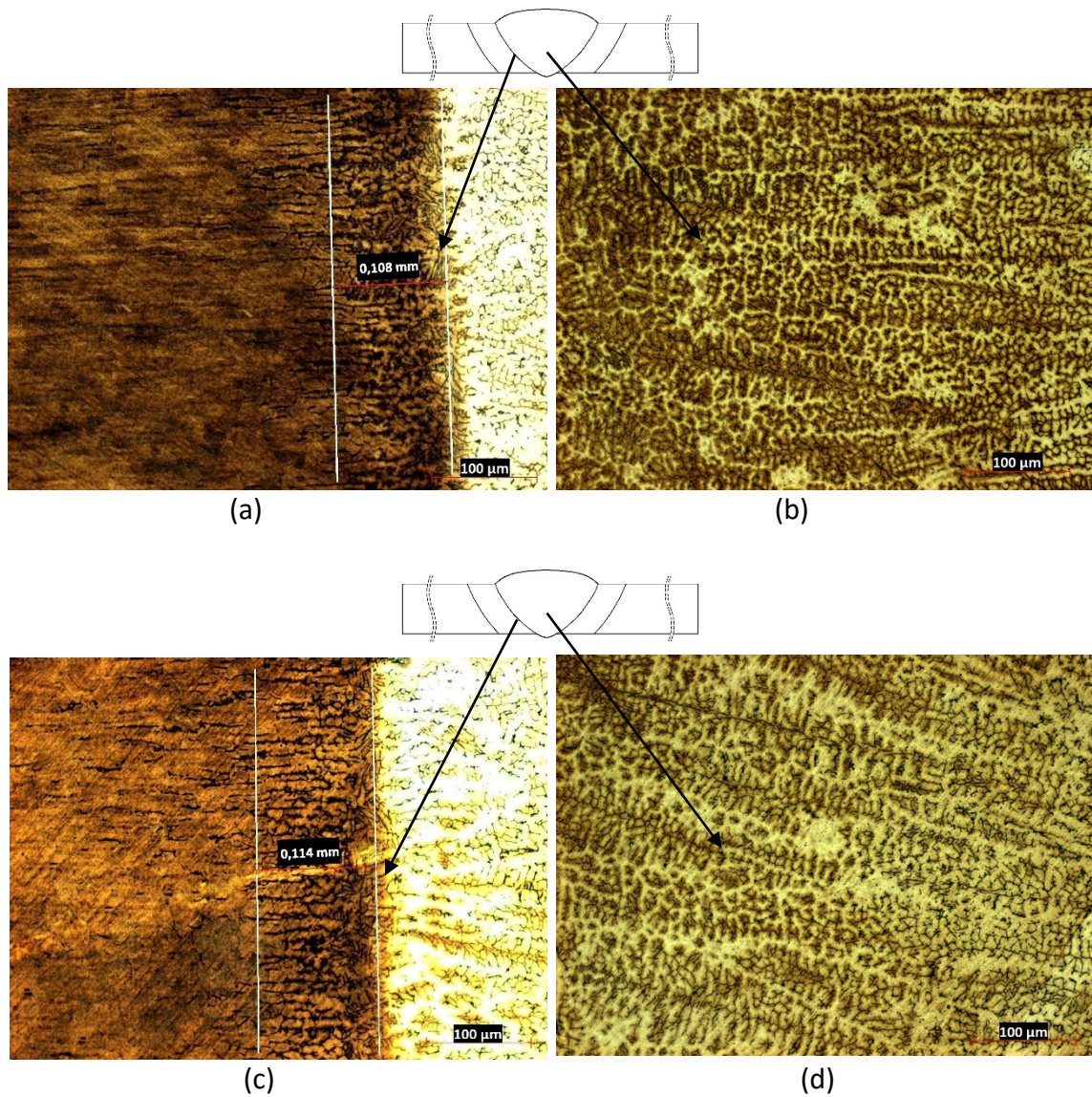
Şekil 5.9 a) 85 A 1100 mm/dk azot uygulamalı b) 85 A 1100 mm/dk azot uygulamasız c) 100 A 1300 mm/dk azot uygulamalı d) 100 A 1300 mm/dk azot uygulamasız e) 130 A 1500 mm/dk azot uygulamalı f) 130 A 1500 mm/dk azot uygulamasız

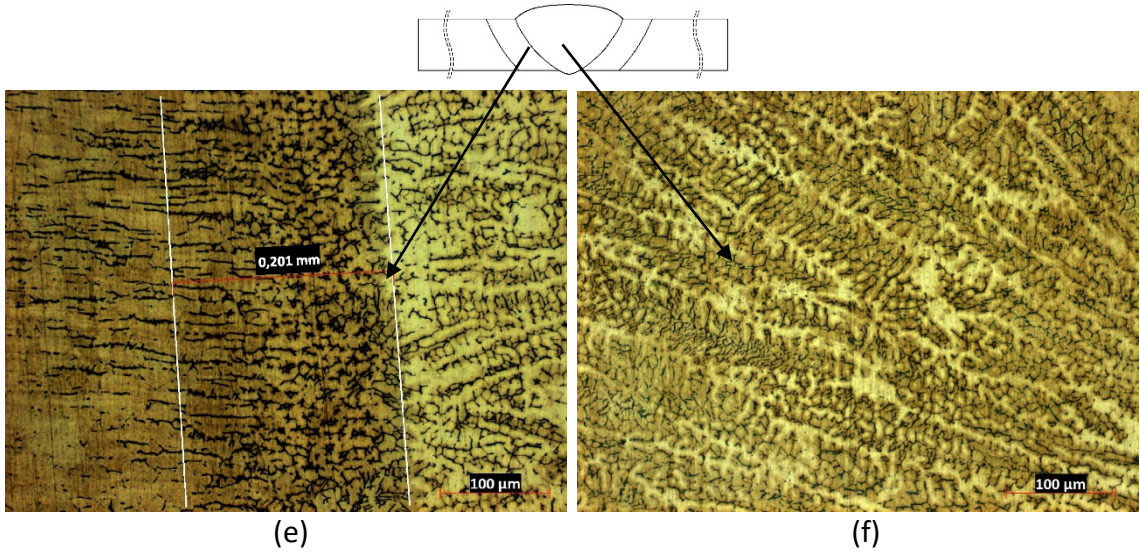
Kaynak alt bölgesinin mikro yapı incelemesinde numuneye olan ısı geçişinin artmasıyla ısı tesiri altındaki bölgenin genişlediği görülmüştür. 85 A 1100 mm/dk ve 100 A 1300 mm/dk parametreleriyle azot gazı uygulamalı ve uygulamasız olarak birleştirilen numunelerin ısı tesiri altındaki alanların, ısı girdisi değerlerinin birbirine yakın olması sebebiyle benzer yapıda olduğu görülmüştür. Bunun yanında azot gazı uygulaması yapılan numune alt yüzeylerinin, açık renkli bir görüntü oluşturduğu görülmektedir. Bu durum azot gazı ile sağlanan atmosferik korumanın bir sonucu olarak meydana gelmiştir.



### 5.3.2 MIG Kaynak Çalışmasına Ait Mikroyapı İncelemesi Sonuçları

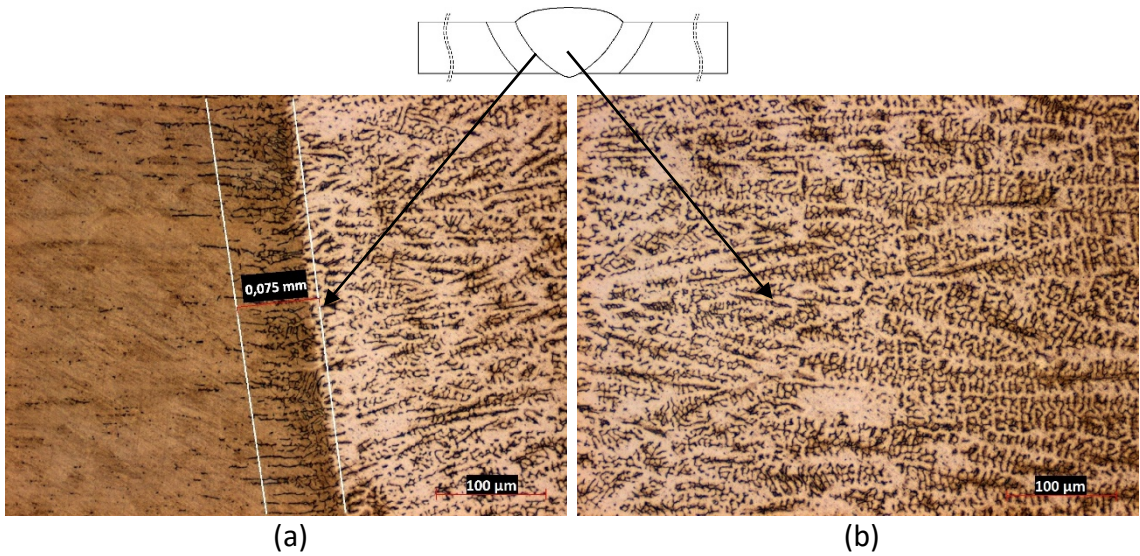
MIG kaynaklı numunelerin esas metal, ITAB ve kaynak metalindeki görüntüleri mikroskopta incelenmiş ve yorumlar yapılmıştır. Esas metal geçiş bölgesi ve kaynak metalinin bulunduğu bölgeden X200 büyütme ile görüntü alınmış ve detaylı olarak incelenmiştir. MIG kaynak numunelerinde, geçiş bölgesinde yapısal delta ferrit yapılarının oluşumu gözlenmiştir. Bu ferrit yapıları hadde yönünde oluşmuştur. Artan ısı girdisiyle beraber oluşumların sayısında da artış meydana gelmiştir [56]. Bu sayısal delta ferrit artışının yanında, ferrit uzunluklarının da artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

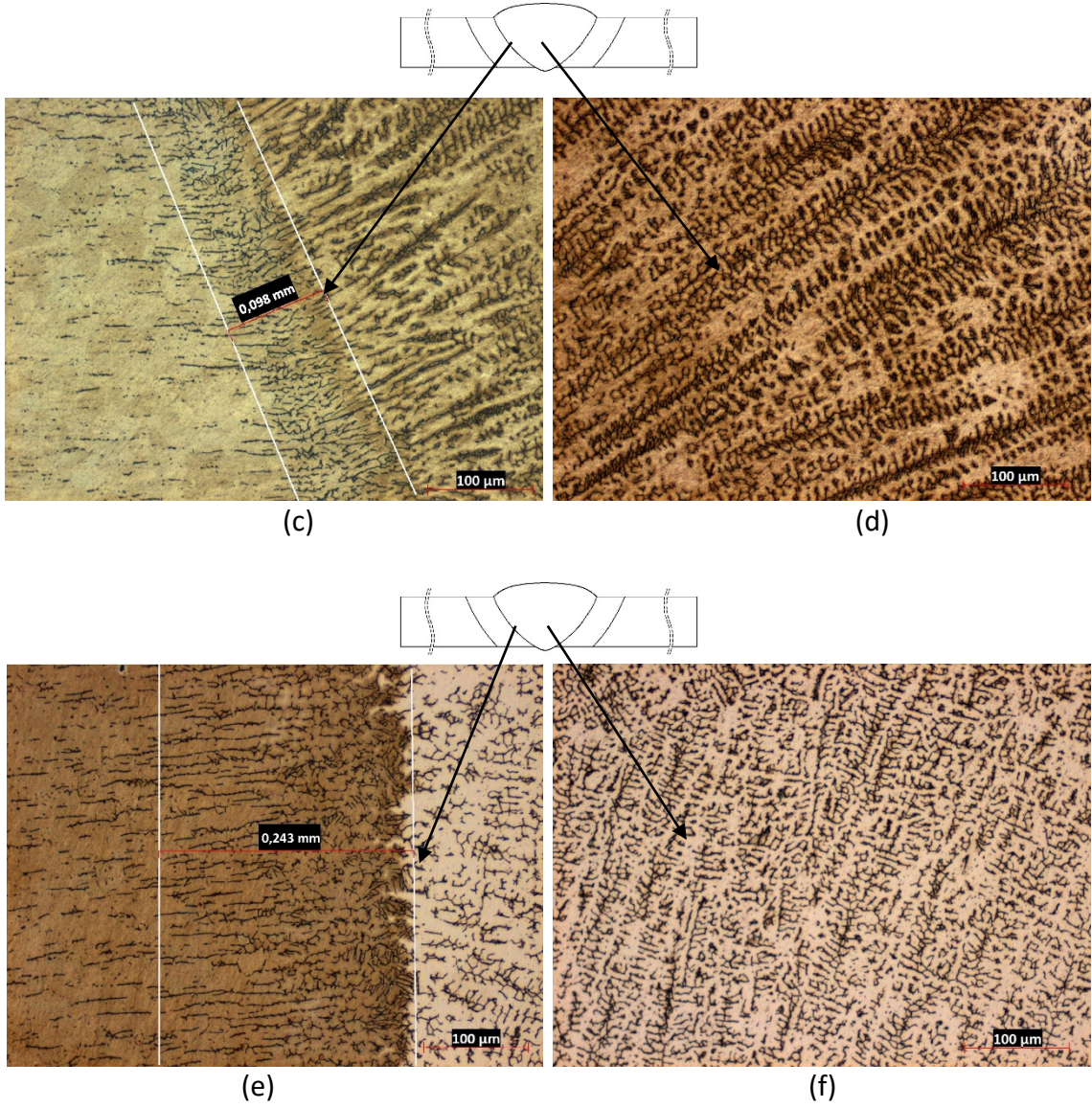




Şekil 5.10 100 A 900 mm/dk ER316LSi ilave telli numuneye ait (a) geçiş bölgesi (b) kaynak metali mikro yapısı, 100 A 750 mm/dk ER316LSi ilave telli numuneye ait (c) geçiş bölgesi (d) kaynak metali mikro yapısı, 100 A 600 mm/dk ER316LSi ilave telli numuneye ait (e) geçiş bölgesi (f) kaynak metali mikro yapısı

ER316LSi ilave tel ile yapılan MIG kaynaklı numuneler incelendiğinde geçiş bölgesinin, ısı girdisinin artışıyla genişlediği gözlemlenmiştir [56]. Bunun yanında delta ferritlerinde hadde yönünde oluştukları görülmektedir. Kaynak metalindeki  $\delta$  ferrit oranının %3-12 arasında olması, sıcak çatlama riski önlemektedir [57]. Geçiş bölgesinde oluşan delta ferritlerin ER316LSi ilave tel kullanılması durumunda, ER309LSi ilave tel kullanımına göre daha sürekli oluştukları görülmektedir. Bu durum, numunenin gerilmeli korozyon şartlarına daha fazla direnç oluşturmasını sağlamaktadır.





Şekil 5.11 100 A 900 mm/dk ER309LSi ilave telli numneye ait (a) geçiş bölgesi (b) kaynak metali mikro yapısı, 100 A 750 mm/dk ER309LSi ilave telli numneye ait (c) geçiş bölgesi (d) kaynak metali mikro yapısı, 100 A 600 mm/dk ER309LSi ilave telli numneye ait (e) geçiş bölgesi (f) kaynak metali mikro yapısı

## BÖLÜM 6

---

### SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. TIG kaynağı kullanılan numunelerdeki çekme sonuçları, 130 A 1500 mm/dk parametrelerinin kullanıldığı numunede uygun değerler vermiştir. Kaynak işlemi uygulanan bu numunelerde, birleşme tam olarak sağlanmıştır.

2. MIG kaynak uygulamalarında ER309LSi ilave tel kullanılan numuneler, ER316LSi ilave telle birleştirilen numunelere göre daha yüksek çekme değerleri göstermiştir. Ayrıca numunelere olan ısı geçişinin artmasıyla birlikte kopma değerlerinde düşüş saptanmıştır. MIG kaynaklı numunelerde kopmalar kaynak metali dışında meydana gelmiştir.

3. MIG kaynak uygulamalarında ise en yüksek sertlik değerleri sırasıyla geçiş bölgesi, kaynak metali ve esas metalde meydana gelmiştir. ER16LSi ilave tel kullanılarak yapılan kaynak işlemlerinde, kaynak dikişindeki sertlik değeri, ER309LSi ilave tel kullanılarak yapılan kaynaklı numunelerden yüksek çıkmıştır.

4. TIG kaynaklı numunelerde kaynak dikişinin alt bölgesine azot gazı ile atmosferik koruma uygulanması durumunda numune alt yüzeyinde renk değişimi, oldukça düşük oranda meydana gelmiştir. Numunelere ısı geçişinin artmasıyla birlikte kaynak alt bölgesinde görüntülenen ITAB' da, büyümenin meydana geldiği tespit edilmiştir.

5. MIG kaynaklı numunelerde ısı girdisinin artmasına paralel olarak, kaynak metali alanı artmıştır. MIG kaynak uygulamasında aynı parametreler kullanılması durumunda, ER316LSi ilave tel kullanılması ile oluşan kaynak alanı, ER309LSi ilave tel kullanımıyla elde edilen duruma göre daha fazla olmaktadır.

6. MIG kaynaklı numunelerde artan ısı girdisiyle delta ferrit oluşumu, artış göstermekte ve sürekli hale gelmektedir. MIG uygulamalarında ER316LSi ilave tel kullanılmış numunelerde meydana gelen delta ferritler, ER309LSi ilave tel kullanılan numunelere göre daha sürekli biçimde oluşmuştur.

### KAYNAKLAR

- [1] Cobb, H.M., (2010). The History of Stainless Steel, First Edition, ASM International, United States of America.
- [2] Lai, J.K. L., Shek, C.H., & Lo, K.H. (Eds.). (2012). Stainless steels: An Introduction and Their Recent Developments. Bentham Science Publishers, UAE.
- [3] Leffler, B., (1996). Stainless Steels and Their Properties, AvestaPolarit AB.
- [4] Meyrick, G. ve Robert H. Wagoner., (2001). "Physical Metallurgy of Steel, class notes and lecture material for MSE 651.01." The Ohio State University, USA.
- [5] Davis, J.R., (2000). Alloy Digest Sourcebook: Stainless Steels, ASM International, United States of America.
- [6] International Stainless Steel Forum, (2012). Stainless Steel in Figures, Brussels.
- [7] BS Stainless, What is Stainless Steel and Why Use It?, <http://www.bsstainless.com/news/2012/january/what-is-stainless-steel-and-why-use-it.html>, 20 Eylül 2013.
- [8] Ancon Building Products, The Use of Stainless Steel, <http://www.ancon.co.uk/about-ancon/the-use-of-stainless-steel>, 20 Eylül 2013.
- [9] Stainless Steel World, Overview of Typical Applications For Stainless Steels, <http://www.stainless-steel-world.net/basicfacts/ShowPage.aspx?pageID=451>, 21 Eylül 2013.
- [10] International Stainless Steel Forum, (2010). Stainless Steel in the Dairy Industry, Brussels.
- [11] Ancon Building Products, (2010). The Use of Stainless Steel in the Construction Industry, Sheffield.
- [12] Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., (2004). Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller, Yayın No: 1, İstanbul.

- [13] Shade, C., Causton, R., & Cimino-Corey, T. (2003). "Improved Stainless Steel Processing Routes", *Advances In Powder Metallurgy And Particulate Materials*, (2): 3-9.
- [14] Edelstahl, R. (2011). *Stainless Steel*, Yayın No:1, Lucefin S.p.A., Brescia.
- [15] Total Materia, Production of Stainless Steel, <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&LN=TR&site=kts&NM=220>, 24 Eylül 2013.
- [16] Singh, R., (2011). *Applied Welding Engineering: Processes, Codes and Standards*, UK: Butterworth-Heinemann.
- [17] BOC, (2007). *Welding Consumables-Stainless Steel*, New Zealand.
- [18] Praxair Technology, Inc., (1999). *Gas Metal Arc Welding of Stainless steel*, United States of America.
- [19] Mayer, K. (Eds)., (1998). *Mechanical Engineers' Handbook*, Second Edition, John Wiley & Sons.
- [20] Avallone, E. A., Baumeister, T., and Sadegh, A. (2006). *Marks' Standard Handbook For Mechanical Engineers (Standard Handbook for Mechanical Engineers)*. McGraw-Hill Professional.
- [21] American Iron and Steel Institute, Nickel Development Institute, (2004). *A Designers' Handbook Series (No. 9002), Welding of Stainless Steels and Other Joining Methods*.
- [22] Khurmi, R. S., and Gupta, J. K. (2004). *Machine Design*, S. Chand Publication, New Delhi.
- [23] Smith, E. H. (Ed.). (1994). *Mechanical Engineer's Reference Book*, Twelfth Edition, Butterworth-Heinemann.
- [24] Carinci, G.M., (2005). *Working With Stainless Steel, Fabricating & Metalworking*, [www.fandmmag.com](http://www.fandmmag.com), 24 Eylül 2013.
- [25] Specialty Steel Industry of the United States, Specialty Steel Institute of North America, Nickel Development Institute (Canada), American Iron, & Steel Institute. (1993). *Design Guidelines for the Selection and Use of Stainless Steel (No. 9014)*. Specialty Steel Industry of the United States.
- [26] Brinkman, C.R., (1979). *Properties of Austenitic Stainless Steels and Their Weld Metals: Influence of Slight Chemistry Variations*, ASTM International.
- [27] Gunn, R. N. (1997). *Duplex Stainless Steels: Microstructure, Properties and Applications*, Woodhead Publishing, Cambridge.
- [28] Weman, K. (2003). *Welding Processes Handbook*, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge.
- [29] Romer, A. E. (2008). "Welding Considerations for Stainless Steel Pipe", *Pipeline Congress*, 22-27 July 2008, Atlanta.
- [30] Chehaibou, A. (2006). "Metallurgical Weldability of Stainless Steels", *Welding International*, 20(7): 553-555.

- [31] LINCOLN, J. (2000). The Procedure Handbook of Arc Welding, Twelfth Edition, The Lincoln Electric Company, Ohio.
- [32] Vassilis, P., (2010). Welding Stainless Steel in Shipbuilding, National Technical University of Athens Department of Naval Architects and Marine Engineers, Athens.
- [33] Kotecki, D. and Armao F., (2003). Stainless Steels: Properties, How to Weld Them, Where to Use Them, The Lincoln Electric Company, U.S.A.
- [34] Olson, D. L. (1985). "Prediction of Austenitic Weld Metal Microstructure and Properties", Welding Journal, 64(10): 284-289.
- [35] Cunat, P. J. (2007). The Welding of Stainless Steels, Second Edition, Euro Inox, Luxembourg.
- [36] Karlsson, L. (2000). "Welding of Stainless Steels. Duplex and Superduplex Steels", Welding International, 14(1): 5-6.
- [37] Avesta Welding, (2004). The Avesta Welding Manual: Practice and Products for Stainless Steel Welding, Edita Vastra, Sweden.
- [38] International Paint Ltd., (2011). Surface Preparation: Metallic Surfaces, International Paint Ltd., United Kingdom.
- [39] Radhakrishnan, V. M. (2005). Welding Technology and Design, Second Edition, New Age International, New Delhi.
- [40] Anik, S., ve Vural, M. Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG), Yayın No: 3, Gedik Eğitim Vakfı Yayını.
- [41] AWS, Welding Handbook: Welding Processes, Part I, Ninth Edition, Volum 2, American Welding Society.
- [42] Pritchard, D. (1996). Soldering, Brazing & Welding: a Manual of Techniques, Crowood Press, UK.
- [43] Australian Welding Institute, Tig Welding – Method and Application.
- [44] Pires, J. N., Loureiro, A., and Bölmsjö, G. (2006). Welding Robots: Technology, System Issues and Application, Springer Science & Business Media, London.
- [45] Miller Electric Mfg. Co., (2012). Guidelines For Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Miller Electric Mfg. Co., U.S.A.
- [46] Kou, S., (2003). Welding Metalurgy, Second Edition, John Wiley & Sons, Canada.
- [47] Smith, R., and Mobley, R. K. (2011). Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers, Butterworth-Heinemann.
- [48] R-Tech Welding Equipment, (2009). Guide to Tig Welding, R-Tech Welding Equipment, UK.
- [49] Eyres, D. J., and Bruce, G. J. (2012). Ship construction, Seventh Edition, Butterworth-Heinemann, UK.



- [50] Tülbentçi, K. (1990). MIG-MAG eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı Yayını.
- [51] Stewart, M., and Lewis, O. T. (2012). Pressure Vessels Field Manual: Common Operating Problems and Practical Solutions, Gulf Professional Publishing.
- [52] Miller Electric Mfg. Co., (2012). Guidelines For Gas Metal Arc Welding (GMAW), Miller Electric Mfg. Co., U.S.A.
- [53] Farwer, A., and Scheller, W., (1998). "Backside Shielding for Welding of Stainless Steel Pipes", 2nd International Symposium "Orbital Welding in High Purity Industries", 9.10.1998, La Baule.
- [54] The Welding Institute, What is the difference between heat input and arc energy?, <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/material-faqs/faq-what-is-the-difference-between-heat-input-and-arc-energy/>, 02 Mayıs 2013.
- [55] BOC, (2013). Purging While Welding, New Zealand.
- [56] Unnikrishnan, R., Idury, K. S., Ismail, T. P., Bhadauria, A., Shekhawat, S. K., Khatirkar, R. K., & Sapate, S. G. (2014). "Effect of heat input on the microstructure, residual stresses and corrosion resistance of 304L austenitic stainless steel weldments", Materials Characterization.
- [57] Kotecki, D.J.: "Welding of Stainless Steel", ASM Handbook vol. 6, Welding and Brazing and Soldering (1993) 677-709.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Murat ALTUNTAŞ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 10.08.1985 Malatya  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : altuntasmurat2@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan                | Okul/Üniversite            | Mezuniyet Yılı |
|--------|---------------------|----------------------------|----------------|
| Lisans | Makine Mühendisliği | Sakarya Üniversitesi       | 2009           |
| Lise   | Fen Bilimleri       | Dede Korkut Anadolu Lisesi | 2003           |

### İŞ TECRÜBESİ

| Yıl       | Firma/Kurum  | Görevi            |
|-----------|--------------|-------------------|
| 2011-2014 | Enpaş Makine | Ar-Ge Mühendisi   |
| 2010-2010 | Vatan Makine | Tasarım Mühendisi |