



**T.C.**

**ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**316L PASLANMAZ ÇELİĞİN KAYNAK PROSESİ SONRASI OLUŞAN  
MEKANİK DAVRANIŞLARIN İNCELENMESİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Tayfun KARAGÖZ**

**Danışman  
Doç. Dr. İsmail TOPCU**

**ALANYA  
2024**



**T.C.**  
**ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**316L PASLANMAZ ÇELİĞİN KAYNAK PROSESİ SONRASI OLUŞAN**  
**MEKANİK DAVRANIŞLARIN İNCELENMESİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Tayfun KARAGÖZ**

**Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği**

**Program Adı: Nanobilim ve Nanomühendislik**

**Danışman**  
**Doç. Dr. İsmail TOPCU**

**ALANYA**  
**(2024)**

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Tayfun KARAGÖZ

## TEŐEKKÖR SAYFASI

Öncelikle tez konusu belirme sürecince bana en uygun ve doğru konuyu bulabilmem için gerekli yönlendirmeler ile beni destekleyen danışmanım sayın Doç. Dr. İsmail TOPCU hocama, lisansüstü öğrenim hayatım süresince eğitimi gerçekleştiren hocalarıma, tez yazmak için geçen süre zarfında desteklerini hiç eksik etmeyen ailem ve sevdiklerime sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.



## ÖZET

### 316L PASLANMAZ ÇELİĞİN KAYNAK PROSESİ SONRASI OLUŞAN MEKANİK DAVRANIŞLARIN İNCELENMESİ

Tayfun KARAGÖZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,

Temmuz, 2024 (85 Sayfa)

Bu tez çalışmasında günümüzün hızla gelişen ve gün geçtikçe ilerleyen imalat endüstrisinde paslanmaz çeliklerin kullanımı ve bu kullanım alanlarına göre malzeme seçimlerine yer yer değinilmiş olup hangi ortamda ve durumlarda malzemenin imal yöntemlerinin seçileceği hakkında kullanıcılara bilgi ve bir belge niteliğinde sunulmak istenmiştir.

Paslanmaz çelikler günümüzde mekanik davranışları korozyon dirençleri ve korozif ortamlardaki karalı halleri ile endüstride yaygın olarak kullanılmaya devam etmekte ve gün geçtikçe kullanımları ivmelenmeye başlamıştır. Bu çeliklerin de ortamlarda gösterdiği davranışlar imalat yöntemlerine bağlı olarakta değişmekte olup doğru imalat yöntemi seçilmediği takdirde iyi olan tüm yönleri kötüye evrilerek malzeme ömürleri azalarak istenmeyen kazalara ve sonuçlara yer verebilmektedir.

Bu çalışmanın yapılış amacı malzemelerin birleştirilmesi için tercih edilen TIG kaynak metodu ile birleştirilmesi sağlanan AISI 316L östenitik paslanmaz çeliklerde gerçekleşen mekanik davranışların ve mikroyapı değişikliklerini incelemektir. Deneysel çalışmalarda uygulanan tüm testler ve analizlerin sonunda ulaşılan veriler ile, AISI 316L plakalara 100 ve 120 amper akım parametresinde gerçekleştirilen TIG kaynağı ile birleştirmede numunelerin mekanik davranışlarında ve mikroyapılarında gözlemlenen değişimlerin avantaj ve dezavantajları değerlendirilerek 100 amper akım parametresinde kaynak uygulamasından sonra mekanik davranışlarının ve mikroyapılarının 120 amper akım parametresinde gerçekleştirilen kaynak uygulamasından üstün olduğu yorumu yapılabilir.

**Anahtar Sözcükler:** Östenitik paslanmaz çelikler, 316L, TIG kaynağı, Mekanik davranış, Mikroyapı.

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF 316L STAINLESS STEEL AFTER THE WELDING PROCESS**

Tayfun KARAGÖZ

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Alanya Alaaddin Keykubat University, Institute of Graduate Studies,

July, 2024

In this thesis study, the use of stainless steels in today's rapidly developing and advancing manufacturing industry and material selection according to these areas of use are mentioned from time to time, and it is intended to be presented to the users as information and a document about in which environments and situations the manufacturing methods of the material should be chosen.

Today, stainless steels continue to be widely used in the industry with their mechanical behavior, corrosion resistance and stability in corrosive environments, and their use has started to accelerate day by day. The behavior of these steels in environments also varies depending on the manufacturing methods, and if the correct manufacturing method is not chosen, all their good aspects can turn into bad and the life of the material can decrease, causing undesirable accidents and consequences.

The aim of this study is to examine the mechanical behavior and microstructure changes in AISI 316L austenitic stainless steels, which are joined by the TIG welding method preferred for joining materials. With the data obtained at the end of all the tests and analyzes applied in the experimental studies, the advantages and disadvantages of the changes observed in the mechanical behavior and microstructures of the samples in joining the AISI 316L plates with TIG welding performed at 100 and 120 ampere current parameters were evaluated, and after the welding application at the 100 ampere current parameter, their mechanical behavior and microstructure were superior to the welding application performed at the 120 ampere current parameter it can be interpreted that it is.

**Keywords:** Austenitic stainless steels, 316L, TIG welding, Mechanical behavior, Microstructure.

## İÇİNDEKİLER SAYFASI

### İÇ KAPAK SAYFASI

|                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI .....                                       | i    |
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....                 | ii   |
| TEŞEKKÜR SAYFASI.....                                             | iii  |
| ÖZET .....                                                        | iv   |
| ABSTRACT.....                                                     | v    |
| İÇİNDEKİLER SAYFASI .....                                         | vi   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                            | viii |
| TABLolar LİSTESİ.....                                             | xi   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....                             | xii  |
| 1. GİRİŞ .....                                                    | 1    |
| 2. LİTERATÜR .....                                                | 2    |
| 2.1. Paslanmaz Çelikler.....                                      | 2    |
| 2.2. Paslanmaz Çelik Türleri.....                                 | 3    |
| 2.2.1. Östenitik paslanmaz çelikler .....                         | 3    |
| 2.2.1.1. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür oluşumu.....  | 7    |
| 2.2.1.2. Sıcak çatlak oluşumu .....                               | 9    |
| 2.2.1.3. Sigma fazı oluşumu.....                                  | 12   |
| 2.2.1.4. 316L östenitik paslanmaz çelikler.....                   | 14   |
| 2.2.2. Ferritik paslanmaz çelikler .....                          | 16   |
| 2.2.3. Martenzitik paslanmaz çelikler .....                       | 20   |
| 2.2.4. Dupleks paslanmaz çelikler.....                            | 23   |
| 2.2.5. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler ..... | 25   |
| 2.3. Paslanmaz Çeliklerin Üretim Prosesleri .....                 | 28   |
| 2.4. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri.....               | 31   |
| 2.5. Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri .....               | 33   |
| 2.6. Paslanmaz Çeliklerde Korozyon .....                          | 34   |
| 2.6.1. Korozyon tanımı.....                                       | 34   |
| 2.6.2. Korozyon oluşumuna etki eden etkenler .....                | 37   |
| 2.6.2.1. Kimyasal bileşimin korozyon oluşumuna etkisi .....       | 37   |
| 2.6.2.2. Uygulanan ısı işlemlerin korozyon etkisi .....           | 38   |
| 2.6.2.3. Kaynak uygulamasının korozyon etkisi .....               | 40   |
| 2.6.2.4. Yüzey kalitesinin korozyon etkisi .....                  | 40   |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.2.5. Seçilen tasarım ve imalat yönteminin korozyona etkisi.....         | 41 |
| 2.6.3. Paslanmaz çeliklerde gerçekleşen korozyon tipleri .....              | 41 |
| 2.6.3.1. Galvanik korozyon .....                                            | 41 |
| 2.6.3.2. Aralık korozyonu .....                                             | 43 |
| 2.6.3.3. Pitting (çukur) tipi korozyonu.....                                | 45 |
| 2.6.3.4. Taneler arası korozyon .....                                       | 47 |
| 2.7. 316L Östenitik Paslanmaz Çeliklerde TIG Kaynak Yöntemi.....            | 49 |
| 2.7.1. TIG kaynak makinesi ekipmanları .....                                | 51 |
| 2.7.2. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar .....                      | 52 |
| 2.7.3. TIG kaynak yönteminin avantajları .....                              | 55 |
| 2.7.4. TIG kaynak yönteminin dezavantajları .....                           | 55 |
| 3. YÖNTEM.....                                                              | 56 |
| 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kaynak Yöntemi .....                  | 56 |
| 3.1.1. Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan numunelerin hazırlığı..... | 59 |
| 3.2. Çekme Testi .....                                                      | 61 |
| 3.3. Üç Nokta Eğme Testi.....                                               | 62 |
| 3.4. Mikrosertlik Ölçüm Yöntemi.....                                        | 63 |
| 3.5. Mikroyapı İncelemeleri.....                                            | 64 |
| 4. BULGULAR.....                                                            | 66 |
| 4.1. Çekme Test Sonuçları .....                                             | 66 |
| 4.2. Üç Nokta Eğme Test Sonuçları.....                                      | 70 |
| 4.3. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları .....                                     | 74 |
| 4.4. Mikroyapı Çalışmaları .....                                            | 76 |
| 5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                         | 79 |
| 6. KAYNAKLAR .....                                                          | 82 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                              | 85 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.1</b> Paslanmaz çeliklerin mikroyapı görüntüleri (Aran ve Temel, 2003).....                                                                                                       | 3  |
| <b>Şekil 2.2</b> Östenitik paslanmaz çelik grupları .....                                                                                                                                    | 5  |
| <b>Şekil 2.3</b> Östenitik paslanmaz çelik mikro yapısı.....                                                                                                                                 | 7  |
| <b>Şekil 2.4</b> kritik ısı bölgesinde krom karbür oluşum bölgesi görüntüsü .....                                                                                                            | 8  |
| <b>Şekil 2.5</b> Östenitik paslanmaz çelikte (a) kaynak dikişi ve kesit görüntüsü, (b) tane sınırları, (c) tane sınırında karbür çökmesi (Odabaş, 2004).....                                 | 8  |
| <b>Şekil 2.6</b> Krom ve nikel kimyasal bileşimine sahip östenitik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür oluşumuna bağlı olarak krom elementi azalma şeması (Kaluç, 1999) ..... | 9  |
| <b>Şekil 2.7</b> Schaeffler diyagramı .....                                                                                                                                                  | 11 |
| <b>Şekil 2.8</b> Katılaşma fazının sınırları ile WRC-1992 diyagramı.....                                                                                                                     | 11 |
| <b>Şekil 2.9</b> 20 Cr / 10 Ni'li ve % 3 Ferrit içeren Paslanmaz Çelik (x 1700).....                                                                                                         | 13 |
| <b>Şekil 2.10</b> Farklı derecelerde ısı işlem gören 780°C'de 300 saat boyunca bekletilen östenit mikroyapı içerisinde bulunan ferrit oranının gerçekleştirdiği etki .....                   | 14 |
| <b>Şekil 2.11</b> Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapı görüntüsü.....                                                                                                                     | 18 |
| <b>Şekil 2.12</b> Bazı ferritik paslanmaz çeliklerin kalite grupları .....                                                                                                                   | 19 |
| <b>Şekil 2.13</b> Martenzitik paslanmaz çeliklerin mikroyapıları.....                                                                                                                        | 20 |
| <b>Şekil 2.14</b> Kalitelerine göre martenzitik paslanmaz çelik sınıflandırılma grafiği .....                                                                                                | 21 |
| <b>Şekil 2.15</b> Dupleks paslanmaz çeliklerde mikroyapı.....                                                                                                                                | 24 |
| <b>Şekil 2.16</b> Dupleks paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması .....                                                                                                                       | 25 |
| <b>Şekil 2.17</b> Yaşlandırma sertleşmesi oluşum şeması .....                                                                                                                                | 26 |
| <b>Şekil 2.18</b> Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelik türleri .....                                                                                                            | 27 |
| <b>Şekil 2.19</b> Paslanmaz çeliklerin üretim şeması .....                                                                                                                                   | 28 |
| <b>Şekil 2.20</b> 20–100°C sıcaklıklarda farklı paslanmaz çelik türlerinin ve karbon çeliklerinin ısı iletim grafiği .....                                                                   | 32 |
| <b>Şekil 2.21</b> 20–800°C sıcaklıkta paslanmaz çelik türleri ve karbon çeliğinin de uzama davranışı.....                                                                                    | 32 |
| <b>Şekil 2.22</b> 20°C sıcaklıkta paslanmaz çelik türleri ile karbon çeliğinin özgül elektrik iletme dayanımı.....                                                                           | 33 |
| <b>Şekil 2.23</b> Galvanik tip korozyon oluşumu .....                                                                                                                                        | 42 |
| <b>Şekil 2.24</b> Galvanik korozyon örneği (William and David, 2013).....                                                                                                                    | 43 |
| <b>Şekil 2.25</b> Aralık tipi korozyon oluşumu.....                                                                                                                                          | 44 |
| <b>Şekil 2.26</b> Paslanmaz çeliklerde aralık korozyonu (William and David, 2013).....                                                                                                       | 45 |
| <b>Şekil 2.27</b> Farklı şekil ve ebatlarda gerçekleşen çukur korozyon tipleri.....                                                                                                          | 46 |
| <b>Şekil 2.28</b> Çukur korozyonu oluşum şeması .....                                                                                                                                        | 47 |

|                                                                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.29</b> Paslanmaz çelik tane sınırı karbür çökmesi.....                                                                                                                                                          | 48 |
| <b>Şekil 2.30</b> Krom karbür oluşum şeması.....                                                                                                                                                                           | 49 |
| <b>Şekil 2.31</b> TIG kaynağı şematik gösterimi .....                                                                                                                                                                      | 50 |
| <b>Şekil 2.32</b> TIG kaynak donanımları (1) Enerji bağlantı kablosu (2) Makine güç kaynağı (3) Torc hortumu (4) Şasi bağlantı kablosu (5) Torc (6) Şase pensesi (7) Kaynak parçası (8) Kaynak teli (9) Koruyucu gaz ..... | 51 |
| <b>Şekil 2.33</b> Soy gazın cinsine göre kaynak bölgesinde uyguladıkları koruma .....                                                                                                                                      | 53 |
| <b>Şekil 3.1</b> Deneysel çalışma için kullanılan TIG kaynak makinesi Fimer TT205 İnverter AC-DC .....                                                                                                                     | 56 |
| <b>Şekil 3.2</b> Deneysel çalışma için kullanılan TIG kaynağı tungsten elektrotu.....                                                                                                                                      | 57 |
| <b>Şekil 3.3</b> Deneysel çalışma için kullanılan ER316L TIG ilave kaynak teli .....                                                                                                                                       | 58 |
| <b>Şekil 3.4</b> Fiber lazer kesim makinesinde kesilip kaynak için hazırlanan plakalar .....                                                                                                                               | 59 |
| <b>Şekil 3.5</b> 120 (A) ve 100 (B) amper kaynak parametreleri için numunelerin 3 boyutlu çizim ile anlatımı .....                                                                                                         | 60 |
| <b>Şekil 3.6</b> Mekanik davranışların incelenmesi için numune yerleşimi .....                                                                                                                                             | 61 |
| <b>Şekil 3.7</b> Çekme test cihazı MTS 100kN .....                                                                                                                                                                         | 61 |
| <b>Şekil 3.8</b> Çekme testi için numune ölçüleri.....                                                                                                                                                                     | 62 |
| <b>Şekil 3.9</b> Üç nokta eğme testi uygulanış biçimi .....                                                                                                                                                                | 63 |
| <b>Şekil 3.10</b> Üç nokta eğme test numunesi ölçüleri .....                                                                                                                                                               | 63 |
| <b>Şekil 3.11</b> HWMMT-X3 Vickers sertlik ölçüm cihazı görüntüsü.....                                                                                                                                                     | 64 |
| <b>Şekil 3.12</b> Olympus CX21 optik mikroskop .....                                                                                                                                                                       | 65 |
| <b>Şekil 4.1</b> Çekme testi için 120 amperde hazırlanmış 3 adet numune .....                                                                                                                                              | 66 |
| <b>Şekil 4.2</b> Çekme testi için 100 amperde hazırlanmış 3 adet numune .....                                                                                                                                              | 66 |
| <b>Şekil 4.3</b> Çekme testi için yerleştirilen numune .....                                                                                                                                                               | 66 |
| <b>Şekil 4.4</b> 120 amper ile kaynaklanmış numuneler gerilme-gerinim (%) grafiği.....                                                                                                                                     | 67 |
| <b>Şekil 4.5</b> 100 amper ile kaynaklanmış numuneler gerilme-gerinim (%) grafiği .....                                                                                                                                    | 68 |
| <b>Şekil 4.6</b> 120 ve 100 amper numunelerin ortalama gerilme-gerinim (%) grafiği .....                                                                                                                                   | 70 |
| <b>Şekil 4.7</b> 120 ve 100 amper kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri .....                                                                                                                               | 70 |
| <b>Şekil 4.8</b> 120 ve 100 amper kaynaklı hazırlanmış numunelerin görüntüleri.....                                                                                                                                        | 71 |
| <b>Şekil 4.9</b> MTS test cihazında üç nokta eğme testi ile 180° eğme uygulanan numune ...                                                                                                                                 | 71 |
| <b>Şekil 4.10</b> Üç nokta eğme test sonucu numunelerin deformasyon incelemesi.....                                                                                                                                        | 71 |
| <b>Şekil 4.11</b> 100 amper ile kaynaklı numunelerin üç nokta eğme test grafiği .....                                                                                                                                      | 72 |
| <b>Şekil 4.12</b> 120 amper ile kaynaklı numunelerin üç nokta eğme test grafiği .....                                                                                                                                      | 73 |
| <b>Şekil 4.13</b> 120 ve 100 amper ile kaynaklı numunelerin üç nokta eğme test grafiği.....                                                                                                                                | 73 |
| <b>Şekil 4.14</b> 120 ve 100 amper ile kaynaklı numunelerin mikrosertlik grafiği .....                                                                                                                                     | 74 |
| <b>Şekil 4.15</b> Numunelerin Olympus marka optik mikroskobu ile görüntülenmesi .....                                                                                                                                      | 76 |

**Şekil 4.16** 120 amper akım kaynak parametresi ile hazırlanan mikroyapı numunesinin optik mikroskop görüntüsü; (a) Kaynak metali, (b) Kaynak geçiş bölgesi, (c) Ana malzeme ..... 77

**Şekil 4.17** 100 amper akım kaynak parametresi ile hazırlanan mikroyapı numunesinin optik mikroskop görüntüsü; (a) Kaynak metali, (b) Kaynak geçiş bölgesi, (c) Ana malzeme ..... 77



## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1</b> AISI 316L paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi .....                                   | 15 |
| <b>Tablo 2.2</b> Argon oksijen dekarburizasyon sistemi imalat aşamaları (Lippold, 1992) ...            | 30 |
| <b>Tablo 2.3</b> Paslanmaz çelik türlerinin sahip olduğu fiziksel özellikleri .....                    | 31 |
| <b>Tablo 2.4</b> Paslanmaz çeliklerin farklı ortamlardaki korozyon dirençleri.....                     | 35 |
| <b>Tablo 3.1</b> Deneysel çalışmada kullanılan 316L östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi..... | 56 |
| <b>Tablo 3.2</b> Deneysel çalışmada kullanılan TIG kaynak makinesi Fimer TT205'in özellikleri .....    | 57 |
| <b>Tablo 3.3</b> Deneysel çalışmada kullanılan ER316L kaynak telinin kimyasal bileşimi ...             | 58 |
| <b>Tablo 3.4</b> Deneysel çalışmada kullanılan ER316L kaynak telinin mekanik özellikleri               | 58 |
| <b>Tablo 3.5</b> Deneysel çalışmada kullanılan kaynak parametreleri.....                               | 59 |
| <b>Tablo 3.6</b> Deneysel çalışmada AISI 316L oda sıcaklığında mekanik özellikleri .....               | 62 |
| <b>Tablo 4.1</b> 120 amper ile kaynaklanmış numuneler çekme test sonuçları .....                       | 67 |
| <b>Tablo 4.2</b> 100 amper ile kaynaklanmış numuneler çekme test sonuçları .....                       | 68 |
| <b>Tablo 4.3</b> 120 ve 100 amper numunelerin ortalama değer çekme test sonuçları.....                 | 69 |
| <b>Tablo 4.4</b> 100 amper ile kaynaklı numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları.....                 | 72 |
| <b>Tablo 4.5</b> 120 amper ile kaynaklı numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları.....                 | 72 |
| <b>Tablo 4.6</b> 120 ve 100 amper ile kaynaklı numunelerin ortalama çekme testi sonuçları              | 73 |
| <b>Tablo 4.7</b> 120 ve 100 amper ile kaynaklı numunelerin mikrosertlik test sonuçları.....            | 75 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

### Simgeler

|                |                                       |
|----------------|---------------------------------------|
| A              | Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )        |
| F              | Kuvvet                                |
| Cr             | Krom                                  |
| C              | Karbon                                |
| Mo             | Molibden                              |
| Mn             | Mangan                                |
| Ni             | Nikel                                 |
| Si             | Silisyum                              |
| S              | Kükürt                                |
| t              | Malzeme kalınlığı (mm)                |
| L <sub>c</sub> | Test uzunluğu                         |
| L <sub>0</sub> | Başlangıç uzunluğu                    |
| s              | Nominal alın kaynağı kalınlığı, (mm)  |
| °C             | Santigrat olarak sıcaklık ölçü birimi |
| e              | Elektron                              |
| γ              | Östenit                               |
| σ              | Sigma fazı                            |
| α              | Ferrit                                |
| Ω              | Direnç ölçü birimi (Ohm)              |
| μm             | Mikron                                |

### Kısaltmalar

|      |                                            |
|------|--------------------------------------------|
| A    | Amper                                      |
| ABD  | Amerika Birleşik Devletleri                |
| AC   | Alternatif akım                            |
| AISI | American iron and steel institute          |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| AWS  | American welding association               |
| BM   | Base material                              |
| DC   | Doğru akım                                 |
| EN   | Euronorm                                   |

|      |                             |
|------|-----------------------------|
| GSMH | Gayri safi milli hasıla     |
| HV   | Vickers sertlik             |
| HAZ  | Heat Affected Zone          |
| HCL  | Hidroklorik asit            |
| ITAB | Isı tesiri altındaki bölge  |
| TIG  | Tungsten inert gas          |
| MPa  | Megapascal                  |
| KN   | Kilonewton                  |
| TS   | Türk standardı              |
| TSE  | Türk Standartları Enstitüsü |
| V    | Volt                        |
| WZ   | Welding zone                |

## 1. GİRİŞ

Dünya hızla gelişmekte ve endüstri hızla büyümektedir. Bu hızlı büyüme ve gelişmenin önündeki en büyük engel endüstride kullanılan malzemelerin korozyon problemi ve malzeme dayanımıdır. Tüm ortam koşullarına karşı korozyon direnci ve malzeme dayanımı en iyi malzeme östenitik paslanmaz çelikler olduğu için kullanım alanları genişlemekte ve hızla artmaktadır. Günümüz endüstrisinde kullanılan metallerin birleştirilmesi için kullanılan kaynak yöntemleri ile malzemelerin moleküler yapısı içerisinde gerçekleşen değişimler sonucu kaynak bölgelerinden başlamakla beraber korozyon dirençlerinde azalma ve mukavemet düşüşleri gerçekleşmektedir.

İki farklı malzemenin herhangi bir birleştirme yöntemi, ısıtılma işlemi veya herhangi bir dış etken karşısında maddenin moleküler yapısı içerisinde bu işlemlere karşı gösterdiği tepkiye malzeme mekanik davranışı olarak adlandırılır. Malzeme üzerine uygulanan bu değişikliklere karşı malzemenin gösterdiği tepkiyi inceleyebilmek amacıyla bazı ölçme yöntemleri kullanarak davranışları inceleyebiliriz (Topcu, 2019).

Bu tezin konusu olan AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğinin yapılan farklı kaynak parametreleri esnasında yapılan işlemin malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikleri anlayabilmemiz ve inceleyebilmemiz için çekme, sertlik ve ITAP bölgesinde oluşan kimyasal bileşim dağılımının malzemenin mikroyapısına olan mekanik etkisini anlamamızı sağlayacaktır.

Bu tespit çalışmalarını yaparken iki farklı malzemenin de kaynak bölgesinde malzemenin moleküler yapısındaki elementlerin dağılımını, kaynak için kullanılan dolgu malzemesinin moleküler yapısı, kullanılan kaynak yöntemi ve ısı girdisi gibi parametrelerin bilinmesi gerekmektedir.

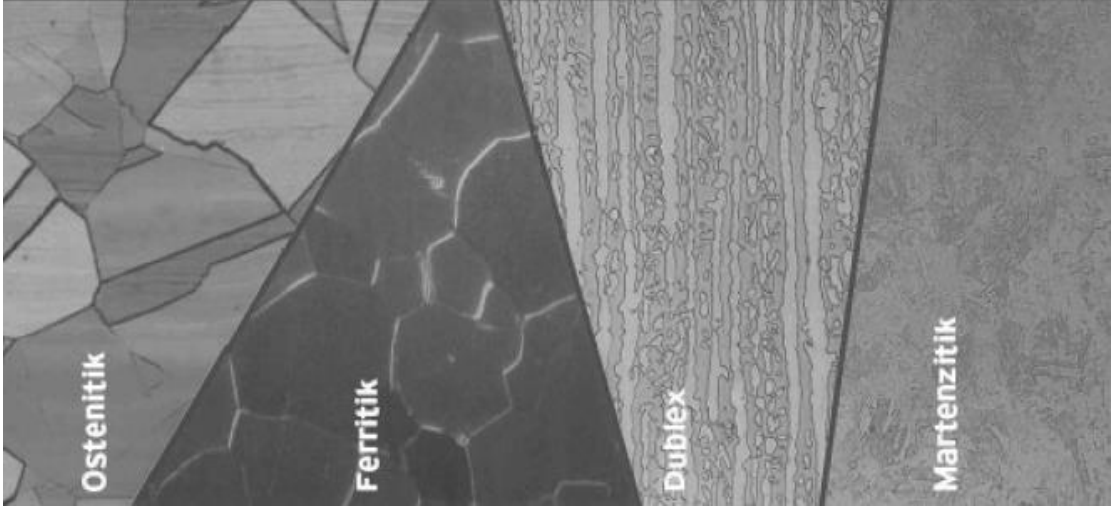
AISI 316L östenitik paslanmaz çeliği üzerinde gerçekleştirilen bu deneylerin, araştırmaların ve bilimsel çalışmaların nedeni bölgemizde ve dünyamızda kendine özellikle korozyon direnci ve malzeme kullanım ömrünün uzun olması gibi karakteristik özelliklerinin belirgin olması nedeni ile birçok alanda kendine kullanım alanı bulması gibi önemli etkenlere sahip olmasıdır.

## 2. LİTERATÜR

### 2.1. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin buluşu son zamanlara ait olmayıp Faraday, demirin içeriğine krom ihtiva edildiğinde oksidasyona karşısında yüksek dayanımlı bir alaşım meydana geldiğini 1822 yılında bizlere göstermiştir. Mallet ise krom elementi içeren çeliklerin bazı ortam koşullarında korozyon direncinin kuvvetli olduğunu 1938 yılında keşfetmiştir. 1900’lü yılların sonlarına kadar krom içeren çeliklerin sadece ısıtılmış sülfirikasit kaplarında kullanıldığı bilinmektedir. Monnartz çeliklere krom ilave edilmesi ile oksit yapan ortamda pasifleşmenin belirgin bir halde ortaya çıktığını 1904 yılında keşfetmiştir. Bu krom ilaveli çeliklerin korozyona karşı direnci yüzeylerinde oluşan oksit tabakasından dolayı olduğu yapılan çeşitli araştırmalar sonucu kanıtlanmıştır (Yalçın ve Koç, 1998). Ancak oluşan bu tabaka metal alaşımlarının her durumda korozyon direncine sahip olabilmelerin tek sebebi olmayıp bu durum için de pek yeterli olmadığı araştırmalarca belirlenmiştir. Paslanmaz çelikleri korozif ortamlara karşı yüksek dirence sahip olmalarını sağlamak için içerisinde bulunan krom ve nikel gibi elementlerin alaşımdaki oranlarını arttırarak içeriğinde bulunan diğer bir alaşım elementi olan karbonun oranını düşürmek gerekir (Ürgen ve Çakır, 1990). Paslanmaz çeliklerin içerdikleri %12 oranındaki krom elementi diğer alaşım elementlerinden oldukça fazla olması nedeniyle diğer çeliklerden ayrılmasına neden olmaktadır. Alaşım elementi olan krom elementinin oranın artması nedeniyle aşırı ısı nedeniyle oluşacak oksidasyona karşı dirençleri oldukça artmaktadır. Paslanmaz çelikleri şu 3 ana grupta inceleyebiliriz:

- Östenitik paslanmaz çelikler,
- Ferritik paslanmaz çelikler,
- Martenzitik paslanmaz çelikler.



Şekil 2.1 Paslanmaz çeliklerin mikroyapı görüntüleri (Aran ve Temel, 2003)

Paslanmaz çeliklerin yapılan kaynağın türü malzemenin metalurjik durumuna pek etki etmemekle beraber metalin alaşım element oranları ve soğuma hızına bağlı olarak bu durumlarda değişiklik görülebilir. Östenitik paslanmaz çeliklerin bileşimlerinde, krom elementi %12-25 oranında ve nikel elementi %8-25 oranında bulunan paslanmaz çelikler arsında en fazla kullanılan çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çeliklerin içeriğinde bulunan mangan, nikel ve krom elementlerinin oranları toplamda %24'e yakın ya da üzerindedir ve bileşim içerisindeki krom elementi içeriği %16 – 18 arasındadır. Bileşim içerisinde yer alan krom elementi korozyona karşı direnci ve oksidasyonu engellemeyi gerçekleştirir. Mangan ve nikel elementleri ise östenitik fazın soğuma hızına karşın oda koşullarında bile kararlı yapıda kalmasını sağlar. Östenitik paslanmaz çeliklerde kaynak yapılan bölgede yani ITAB bölgesinde ana malzemeye göre bu bölgelerdeki malzeme bileşim dağılımı yani mikroyapılarında farklılıklar görülerek az miktarda ferrit içerdiği gözlemlenebilir (Şekil 2.1). Farklı kaynak teli elektrot kullanımı kaynak dolgu malzemesi içerisindeki elementlerin farklı dağılımından dolayı ya da dolgu metalinin kalınlığına ya da kaynak çeşidine göre ana metalin metalurjik yapısında farklılıklara neden olabilir. Bu sebeplerden dolayı malzemenin kimyasal bileşimini belirlemek için Schaeffer ve De Long diyagramlarından faydalanmak mümkündür.

## 2.2. Paslanmaz Çelik Türleri

### 2.2.1. Östenitik paslanmaz çelikler

Kimyasal bileşimlerinde %8-%25 nikel, %12-%25 krom ve %20'ye kadar mangan içerirler. Mangan ve nikel elementi daha önce bahsedildiği üzere malzeme bileşiminde östenit oluştururlar. Kullanım alanlarına göre ve oluşturuldukları alaşım

elementlerine göre en fazla çeşitliliğe sahip paslanmaz çelik gurubudur paslanmaz çeliklerin içerisinde %90'lık bir gurubu oluştururlar. Yüksek ve oda sıcaklığında dahil bu tür paslanmaz çelikler yüzey merkezi kübik yapıları sayesinde östenitik iç yapılarını koruyarak ısıl işlemle sertleştirilemezler. Tokluk, şekil değiştirme ve süneklik özellikleri düşük sıcaklıklarda da olmak üzere istenilen durumlarda olacaktır. Östenitik paslanmaz çeliklerin mukavemetlerini arttırabilmek soğuk şekillendirme ile mümkün olacaktır.

Manyetik özellikleri düşük olup mıknatıslanma gözlenmez.

Karbon çeliklerinden daha az termal iletkenliğe ve daha fazla elektriksel dirence sahip olan östenitik paslanmaz çeliklerde ergime noktası ise daha düşüktür (Woollin, 1994).

Koroziif ortamlarda daha fazla korozyon direncine sahip olan östenitik paslanmaz çeliklerde korozyon direncini arttıran krom elementinin ferrit yapıcı etkisi ve östenit yapıcı alaşım elementleri ilave edilmesi ile sağlanır (Castner, 1992).

Östenitik paslanmaz çeliklerin sıcaklığı yüksek ortamlarda korozyona karşı dayanımını arttırmak için nikel ve krom elementlerinin kimyasal bileşimdeki oranlarını yükseltmek yeterli olacaktır.

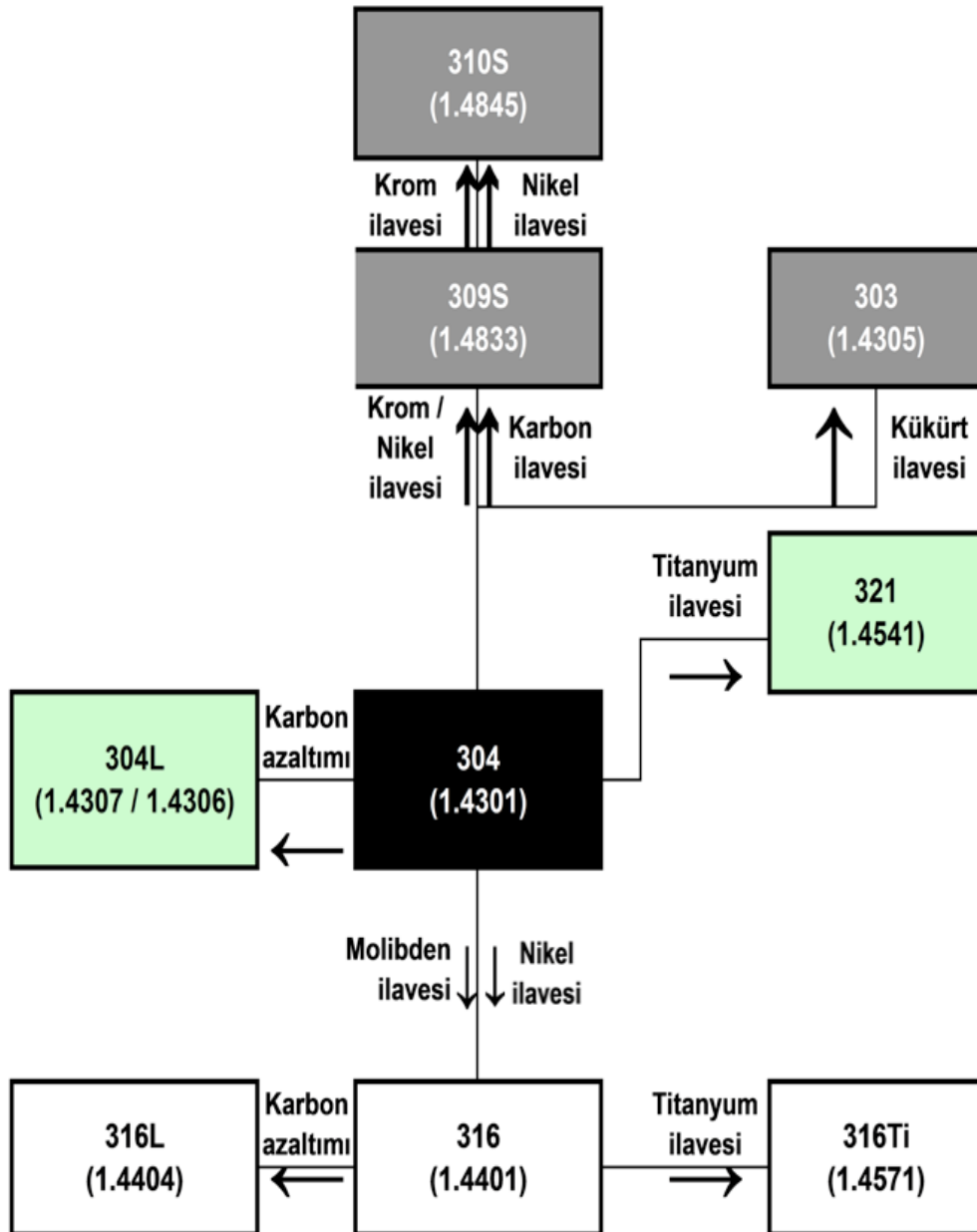
Gerilme tipi korozyonunu engellemek amacı ile ise nikelin bileşimlerdeki oranlarının yükseltilmesi yeterlidir. Molibden elementinin kimyasal bileşime eklenmesi ile organik ve inorganik asitlere karşı olan direnci yükseltilir ve ezik ve çatlak oluşan bölgelerdeki meydana gelebilecek olan korozyon engellenir. Östenitik paslanmaz çeliklerin önde gelen başlıca özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Korozyona karşı olan dirençleri en yüksek çeliklerdir,
- Sünek yapısı sayesinde kolay şekil verilebilirler,
- Kaynak kabiliyetleri içerdikleri alaşım elementleri sayesinde iyi seviyededir,
- Uzun ömürlü olup bakımı kolaydır,
- Düşük ısıl ortamlarda dahi yüksek mekanik özelliğe sahiptirler,
- Anti manyetikler.

Bu özellikleri sayesinde kendilerine geniş kullanım alanları bulan östenitik paslanmaz çelikleri aşağıda belirtilen alanlarda sıklıkla kullanılmaktadırlar;

- Makine sanayisinde,
- İmalat sektöründe,
- Asansör parçalarında,
- İnşaat sektöründe,

- Dekorasyon ve içmimarî çalışmalarda,
- Gıda sektöründe,
- Mutfak aletlerinde,
- Kimya sektöründe,
- Yay imalatında,
- Otomobil parçalarında,
- Gemi ve yat ekipmanlarında.



Şekil 2.2 Östenitik paslanmaz çelik grupları

Şekil 2.2’de östenitik paslanmaz çelikleri oluşturan malzeme sınıfları detaylıca gösterilmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerde korozyonu engelleyebilmek adına krom elementinin ferrit yapıcı etkisi ile östenit oluşturuca alaşım elementleri kimyasal bileşime eklenerek engellenir. 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerde ise molibden elementi eklenerek 316 ve 317 kalite paslanmaz çeliklerin üretilmesi klor içeren ortamlarda noktasal korozyonun önüne geçer.

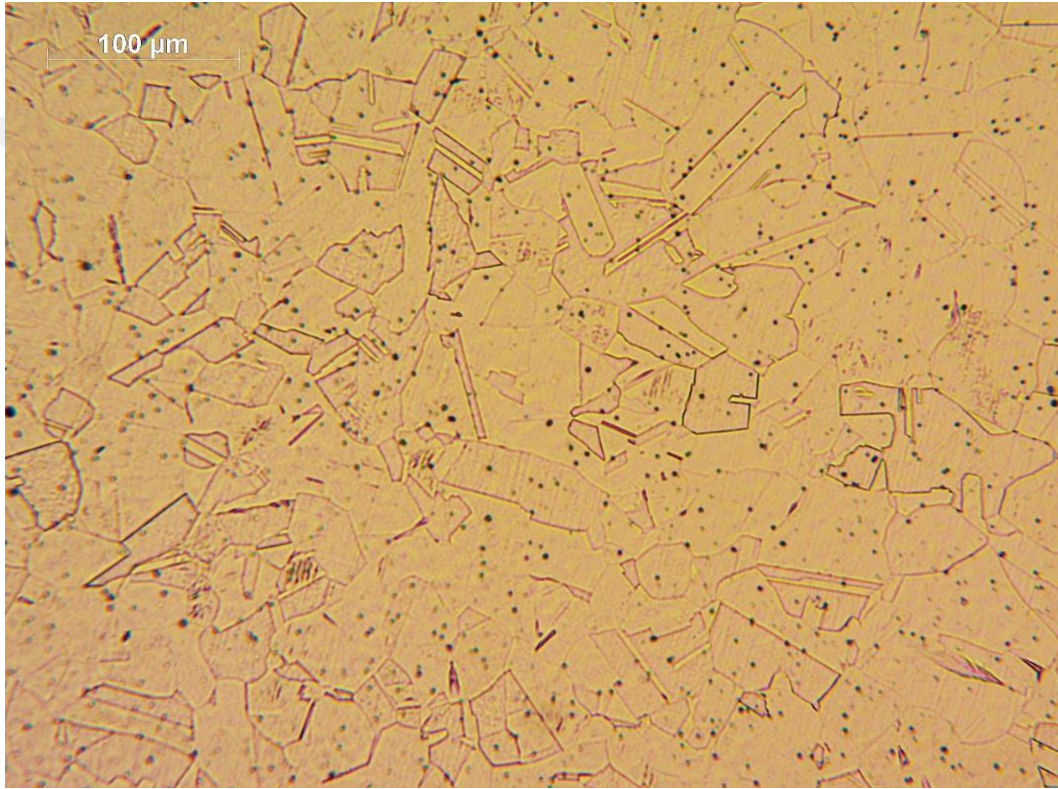
309 ve 310 kalite östenitik paslanmaz çelikler kimyasal bileşimlerinde bulunan yüksek krom oranına sahip alaşımlar yüksek sıcaklıklarda ve oksidasyona sebep olan ortamlarda kullanılabilir. Kimyasal bileşimlerinde yüksek nikel oranına sahip paslanmaz çelik alaşımları da indirgeyişi ve asit ihtiva eden ortamlarda genellikle kullanılırlar. Fakat bu amaca uygun olarak yüksek bir östenitik yapıcı olmasını sağlamak amacı ile alaşımdaki karbon elementi oranı yükseltilemez. Bunun nedeni bu element karbür oluşumunun önünü açar ve korozyona karşı direnci düşürür.

Nikel elementinin bileşimdeki oranı arttırılarak karbon elementi yerine kullanılacak oksitleyici ve indirgeyici asitlere karşı direnç sağlanarak karbür oluşumu engellenebilir. Östenitik paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşimlerdeki nikel elementinin bileşimdeki oranının yüksek olması durumunda nikel. Yaklaşık olarak %6 - %20 oranlarında azot elementi içeren alaşımlara süper östenitikler olarak adlandırılabilir. 321 ve 347 kalite çeliklerde karbon elementinin stabilizasyonu ve yüksek sıcaklıkta gerçekleşecek taneler arası korozyonu engellemek amacı ile kimyasal bileşimlerine titanyum ve niyobyum eklenir. 309 ve 304 kalite paslanmaz çeliklerde taneler arası oluşacak korozyonu engellemek amacı ile bileşimdeki karbon elementinin karbon elementi oranının düşük tutularak engellenmesi sağlanır.

Östenitik paslanmaz çelik türlerinde mukavemeti yükseltmek amacı ile genel olarak soğuk şekil verme yöntemi kullanılabilir. Östenitik paslanmaz çeliklerde pekleşme ferritik paslanmaz çeliklere oranla daha yüksektir. Bu işlem esnasında şekil değiştirme martenzit yapısı gerçekleşip manyetiklik oluşur. Mukavemeti arttırmanın bir başka yolu da alaşımlama oluşturmaktır. Buna bağlı olarak azot ve karbon elementi etkili alaşım elementlerindendir. Kükürt içermeyen korozif ortamlarda östenitik paslanmaz çelikler ferritik paslanmaz çeliklerde daha güzel sonuçlar gözlemlenir. Alaşıma molibden elementi eklenmesi ile östenitik paslanmaz çeliklerin organik ve mineralli asit ortamına karşı daha dirençli olması sağlanır. Östenitik paslanmaz çelikler ısıya ve korozif

ortamlara daha dayanıklı olup yüksek sıcaklıklarda malzeme davranışları en iyi paslanmaz çeliklerdendir. Buna karşın sıcak yırtılmaya meyillileri vardır. Östenitik paslanmaz çelikler sünek ve tok oldukları için ısı girdisi ile sertleşme göstermediklerinden kaynaklı imalatlar için tercih sebebidirler. Fakat kaynak bölgesi soğutulduğu zaman karbür çökmesi meydana gelmemesi için stabilize edilmiş malzeme çeşitleri tercih edilmelidir. Isı iletimleri düşük olup genleşmeleri yüksek olduğundan dolayı kaynak esnasından çarpılmaları şekil değişimlerini önlemek amacı ile düşük ısı ile kaynaklanabilirler.

Şekil 2.3'te östenitik paslanmaz çeliklere ait mikroyapı gösterilmektedir.

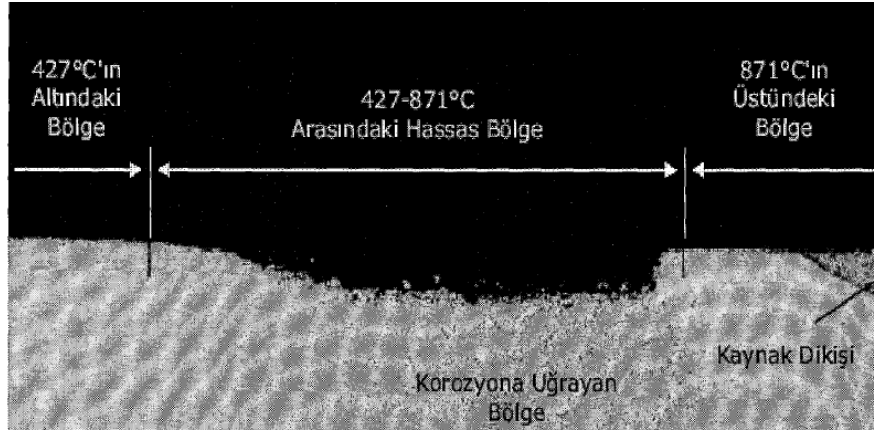


Şekil 2.3 Östenitik paslanmaz çelik mikro yapısı

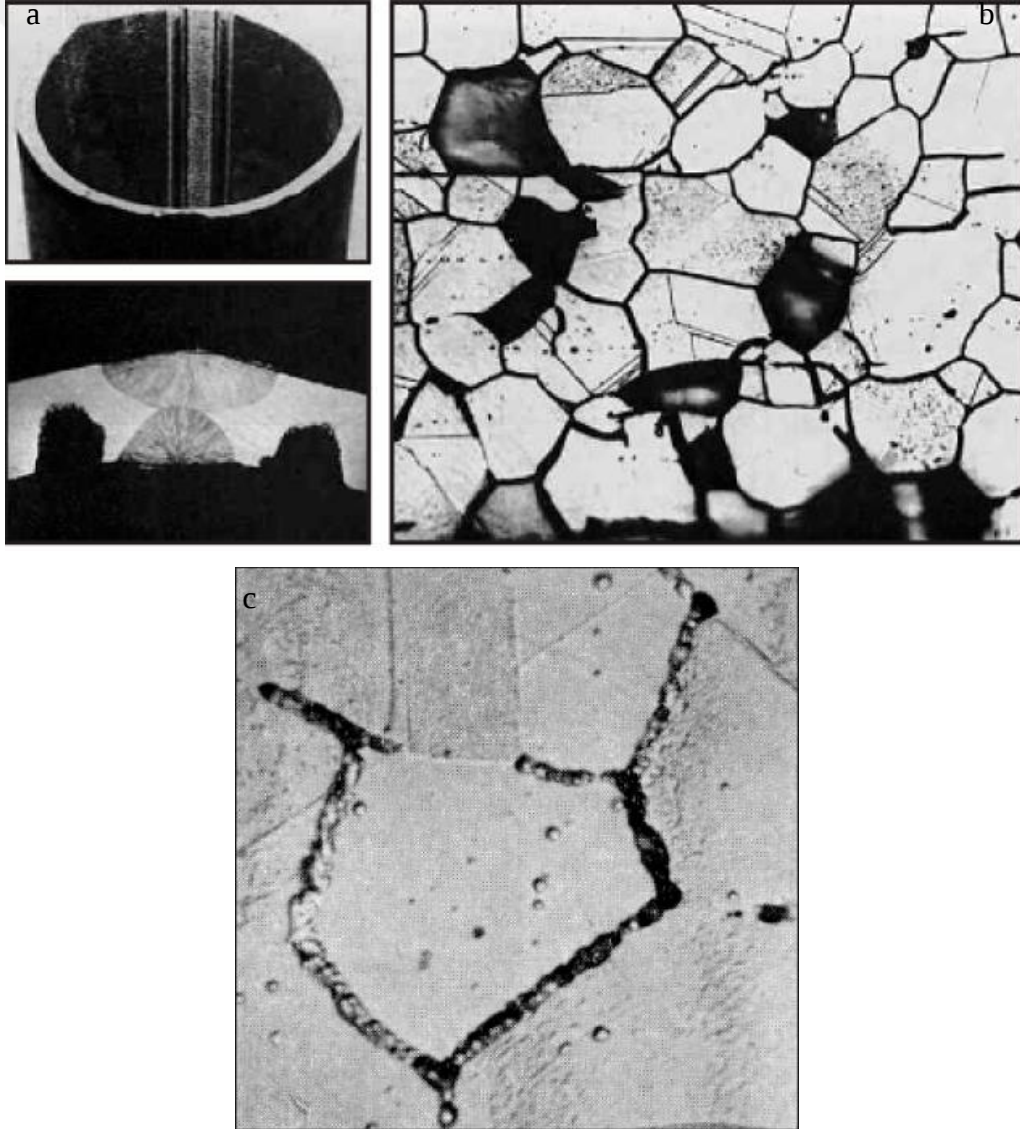
#### 2.2.1.1. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür oluşumu

Östenit paslanmaz çelikler de en önemli sorunlardan biri de krom karbür çökmesidir. 427 ile 871°C arasında kritik ısı olarak bilinen sıcaklıklarda yüksek enerjiye sahip tane sınırları kısmında ayrılıp yan yana sıralanan krom elementi bakımından zengin karbürler malzemenin korozyon yapıcı ortamlarda bulunması durumunda taneler arası korozyon oluşumuna ve tane ayrılması durumuna sebep verir (Şekil 2.4). Şekil 2.5'te krom karbür oluşumunun meydana geldiği bölgeler incelenmişti. Karbür iç yapısına

geçen krom elementi nedeni ile kimyasal bileşim içerisinde bulunan krom elementinin alaşımdaki oranının %12'nin aşağısına inmesinden dolayıdır.



Şekil 2.4 kritik ısı bölgesinde krom karbür oluşum bölgesi görüntüsü



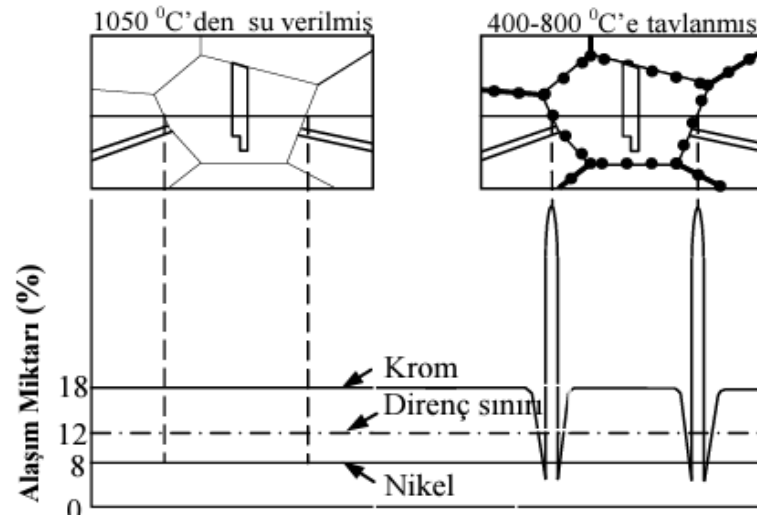
Şekil 2.5 Östenitik paslanmaz çelikte (a) kaynak dikişi ve kesit görüntüsü, (b) tane sınırları, (c) tane sınırında karbür çökelmesi (Odabaş, 2004)

Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesini önlemek amacı ile bazı yollar izlenebilir. Bunlar;

Östenitik paslanmaz çelik kimyasal bileşimi içerisine stabilizör görevi gören elementler eklenerek iç yapıları kararlı hale getirilebilir. Bu stabilizör elementlerin karbona olan ilgisi krom elementinden yüksek olan elementler olmalıdır. Bu elementler titanyum ve niobyum gibi alaşım elementleri olabilir. Bu elementlerin kimyasal bileşime eklenmesi sayesinde yüksek ısı girdilerinde bile krom karbür oluşumunun önüne geçecek şekilde karbon bağlarlar.

Çok düşük karbonlu çelikler kullanmakta uygun olabilir. Östenitik paslanmaz çeliklerde 650°C sıcaklıkta çözünebilir karbon elementi oranı yaklaşık olarak %0,05 civarındadır. Karbonun bileşimdeki oranı çözülebilen karbon miktarından düşük olması durumunda çözünen karbon karbür oluşturamaz. Bu değerden az olursa çözünen karbon, karbür oluşturamaz.

Östenitik paslanmaz çeliklerde bu durumu önlemek amacı ile çözme tavlama uygulaması gerçekleştirilebilir. Malzemeyi 1050 ile 1150°C arasında ısı girdisi uygulayarak tavlama gerçekleştirilir ve çökelek oluşturmuş karbürler çözündürülür (Şekil 2.6). Hızlı bir soğutma uygulayarak yeniden oluşacak olan çökelmeler engellenir (Odabaş, 2004).



Şekil 2.6 Krom ve nikel kimyasal bileşimine sahip östenitik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür oluşumuna bağlı olarak krom elementi azalma şeması (Kaluç, 1999)

#### 2.2.1.2. Sıcak çatlak oluşumu

Östenitik paslanmaz çeliklerde sıcak çatlak oluşumunun baştaki sebebi, fosfor kükürt gibi bileşim elementlerinin tane sınırlarında oluşturduğu toplanma yöneliminin fazla olması ve düşük sıcaklıklarda erimeye yatkın olmasıdır. Bu elementler kaynak

bölgesinde veya yanında ise ısı girdisi ile tane sınırlarına doğru birikmeye başlarlar ve kaynak bölgesi soğumaya başladığı zaman çekme gerilmeleri oluşacağından dolayı bu bölgelerde çatlak oluşturmaya başlar. Sıcak çatlağın gelişiminin engellenmesi dolgu malzemesi ve ana metalin kimyasal analizinin östenitik matrikste az miktarda ferrit ihtiva eden mikro yapı oluşturularak sağlanabilir. Ferrit, fosfor ve kükürt elementlerini kendi kontrolüne alan ve ferritik-östenitik mikro yapıya sahip tane sınırları meydana getirerek sıcak çatlağın meydana gelmesinin önüne geçer. Sıcak çatlak oluşumunun önüne geçebilmek adına fosfor ve kükürt elementlerinin bileşimdeki oranının azaltılarak gerçekleştirilebilirken malzemenin üretim maliyeti de buna zıt oranla artacaktır. Ferrit oranının yüzde 4'ler de bulunması sıcak çatlak oluşum riskini azaltacaktır. Ferrit yapısının olup olmadığına özel kalibre edilen manyetik bir ölçüm aleti ile belirlenmesi sağlanabilir. Dolgu metalinin ve ana malzemenin kimyasal bileşimini bilerek ve bu bileşim oranlarını kullanarak çeşitli diyagramlar sayesinde oluşabilecek çatlak oluşumunu ve oranını bulmamıza yardımcı olacaktır. Bilinen en eski ve geçerli diyagram 1948 yılında Schaeffler tarafından geliştirilen ve kullanılan Schaeffler diyagramı adını verdiği diyagramdır. Schaeffler Diyagramı krom eşdeğeri yatay eksenle nikel eşdeğeri ise dikey eksenle yer alan bir diyagramdır.

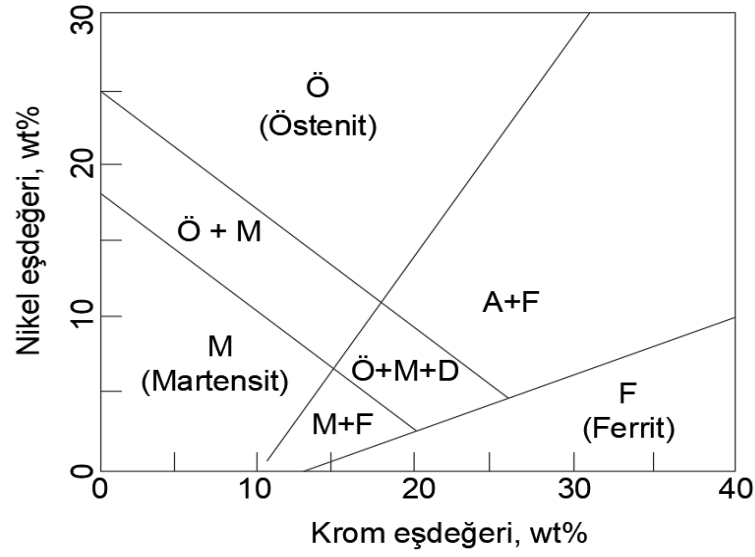
Schaeffler diyagramı, farklı metal plakalarının ferrit fazının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir diyagram olup dolgu malzemesi ile ana malzemenin krom ve nikel eşlenişinin arasında birbiri ile bağlantılı çizgiler yardımı ile kaynağa uygun bölgeye denk gelecek şekilde bir oranlama yapılarak kaynak bölgesinin mekanik özelliğinin belirlenmesinde en önemli araçlardan biridir.

Schaeffler diyagramının sağladığı kolaylık ile kaynak bölgesindeki kaynak dikişinde çatlak, martenzit ya da sigma fazı ihtimalinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği anlaşılır. Sigma fazı yavaş soğuma esnasında görülür. Sertleşme çatlağı ve sıcak çatlak oluşumu en tehlikeli mekanik arızalar olarak değerlendirilmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklere ait krom eşdeğer ve nikel eşdeğer değerinin hesaplanması sayesinde diyagramda hangi faz bölgesine denk geldiğini gözlemleyebiliriz. Şekil 2.7'de bu diyagram ile ilgili örnek bir görüntü verilmiştir.

$$Cr_{eş} = \%Cr + \%Mo + 1.5(\%Si) + 0.5(\%Nb) \quad (2.1)$$

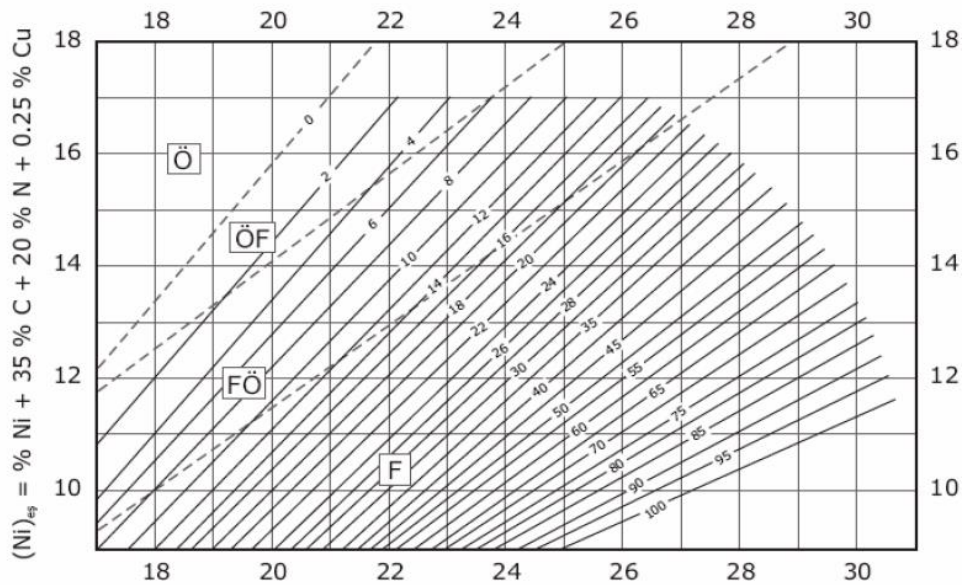
$$Ni_{eş} = \%Ni + 30(\%C) + 0.5(\%Mn) \quad (2.2)$$



Şekil 2.7 Schaeffler diyagramı

Schaeffler Diyagramı yıllarca kendine kullanım alanı bulmasına rağmen azot elementinin malzemenin içyapısına etkisi görülememiş olup bu diyagram sayesinde bulunan bulguların bazı araştırmacılar tarafından yapılan farklı ölçümler sonucunda bulunan ferrit yüzdelерinin farklı sonuçlarda okunması sebebiyle günümüzde kullanımını kalmamıştır. 1973 WCR-DeLong diyagramının Schaeffler diyagramından ayrılmasına neden olan gelişme nikel elementinin eşdeğerinin hesaplaması yapılırken azot miktarını dikkate almasının ve hesaplama sonucunun ferrit yüzdesinin yanına ek olarak ferrit numarası ile gösterilmesidir.

Sekil 2.8’de katılaşma fazının sınırları ile birlikte verilen WRC-1992 diyagramı gösterilmektedir.



Sekil 2.8 Katılaşma fazının sınırları ile WRC-1992 diyagramı

Ferrit numarası düşük seviyelerde, ferrit yüzdesi ile birbirine yakın değerlerde gözlemlenir. Son yıllarda sağlıklı veri sunumu sayesinde en sık kullanılan ve doğru sonucu veren diyagramın adı WCR–1992 diyagramıdır (Şekil 2.8). 1995 yılında yayınlanan ASME şartnamelerinde WCR–1992 diyagramı WCR-DeLong diyagramının yerine geçmiş olup kabul gören son diyagramın krom ve nikel eşdeğerleri aşağıda belirtilen formül ile hesaplanabilir.

$$Cr = \%Cr + \%Mo + 0.7Nb_{eş} \quad (2.3)$$

$$Ni = \%Ni + 35 \%C + 20 \%N + 0.25 \%Cu \quad (2.4)$$

WCR-DeLong diyagramında hesaplama görüldüğü gibi Schaeffler diyagramı hesaplamalarından krom ve nikel eşdeğerleri konumlandırılmış olup farklı şekilde hesaplanmaktadır. Ferrit numarası bulabilmek için krom eşdeğerini gösteren kısımdan yukarı kısma doğru dikey çizgiler, nikel eşdeğerini bulunduğu kısımdan sağa doğru yatay çizgiler çekilerek bulmak mümkün olur. Yatay ve dikey çizgilerin birleştiği kısma denk gelen çapraz çizgiler bize ferrit numarasını bulmamızda yardımcı olur.

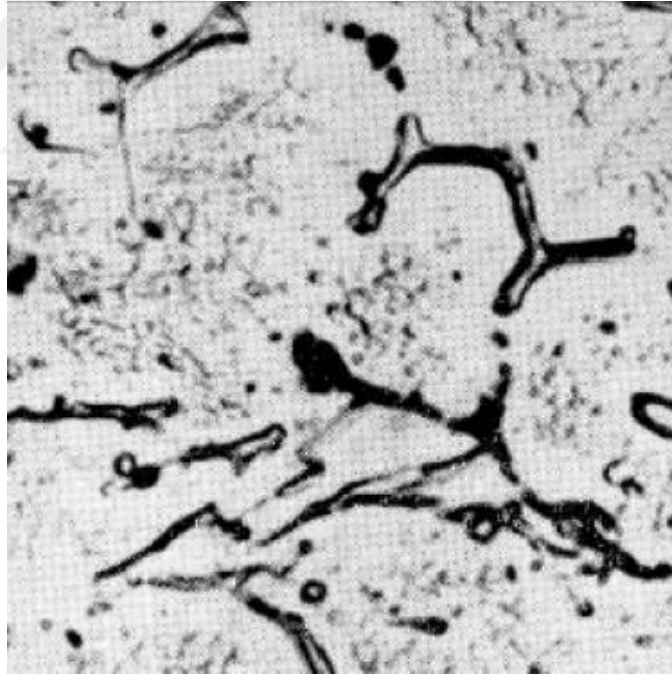
WCR–1992 diyagramı ve WCR-DeLong diyagramı östenitik paslanmaz çelikler arasında 308 kalitede sık kullanılan paslanmaz çeliklerde yaklaşık sonuçlar hesaplar. Fakat WCR–1992 diyagramı, özellikle yüksek alaşımlı östenitik paslanmaz çeliklerde, yüksek oranda mangan elementi içeren östenitik tipteki ya da östenitik-ferritik yapıdaki çift faza sahip paslanmaz çelikler gibi kendine daha az kullanılan alanı bulan çeliklerde daha doğru hesaplama sonuçları göstermektedir. Ferrit numarası, AWS A4.2'ye göre kalibre edilmiş satışta olan ferrit numarasının cihaz üzerinden direkt olarak okunabildiği ferritscoplardan ve benzeri manyetik ölçüm cihazları ile ferritin manyetik olma özelliğinden yararlanılarak kaynak metali üzerinden ölçülebilir. Ferrit miktarının belirli sınırlarda tutulmasının sıcak çatlak oluşumundan korunmak için gerekli değerlerde kalmasının faydaları vardır. Ferrit bazı korozyon yapıcı ortamlarda paslanmaz çeliklerin korozyona karşı direncini kırar ve mikroyapıdaki yüksek ferrit oranı malzemenin tokluğunu ve sünekliğine düşürür.

### 2.2.1.3. Sigma fazı oluşumu

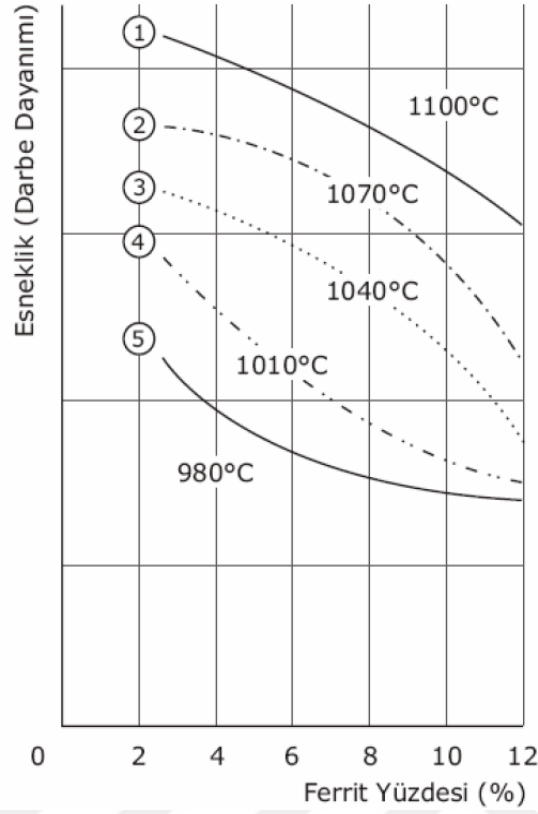
Sigma fazı, 700–800 arası vickers sertlik değerlerinde manyetik özelliği bulunmayan ve kırılgan bir yapıya sahip olan paslanmaz çelikler arası bileşik bir yapıdır. Işınlardan yararlanılarak gerçekleştirilen analizlerde kimyasal bileşimin %52 ve %48 oranlarda krom ve demir elementlerinden meydana geldiği fakat bununla birlikte molibden ve farklı

alaşım elementleri de kimyasal bileşimde bulunabilir. Sadece krom ana elementi ya da krom-nikel alaşımlı paslanmaz çeliklerin kaynaklı kısımlarında sigma fazı oluşumu gözlemlenir. Sigma fazı oluşum hızı saf östenitik paslanmaz çeliklerde içerisinde ferrit yapılar bulunan paslanmaz çeliklere göre daha düşük ihtimalle oluşur. Krom karbür oluşumu ve sigma fazı oluşumu birbirlerinden tamamen farklı yapıda oluşurlar. Östenitik paslanmaz ferrit oranının %12 seviyesini aşması ile esnekliği hızlı bir şekilde düşecektir (Sekil 2.9). Ferrit yapının sigma fazına dönüşmesi tamamlandığında kaynak bölgesinde meydana gelen çatlak oluşum eğilimini ölçmeye yönelik yapılan bazı araştırmalara ait verilerin sonucu şekil 2.10'da gösterilmiştir. Buna karşın Sigma fazının kırılgan yapısı 650–850°C arası ısı girdilerinde meydana gelir ve bu ısıl aralıkta kalma süresi ile gerçekleşen yeni mikroyapının yoğunluğu ile arasında yakın bir ilişki mevcuttur.

Östenitik paslanmaz eliklerde 720°C'ye yakın sıcaklıklarda faz dönüşüm hızının yoğun yaşandığı sıcaklıklardır. Yapı içerisindeki ferrit oranının %3 ile %4 oranları arasında kalması ile birlikte östenitik tane sınıfları çevresinde ferrit yığınları oluşamayacak ve gevrek kırılma gerçekleşme riskinin önüne geçilmiş olacaktır.



**Sekil 2.9** 20 Cr / 10 Ni'li ve % 3 Ferrit Ieren Paslanmaz elik (x 1700)



**Sekil 2.10** Farklı derecelerde ısıtılma gören 780°C'de 300 saat boyunca bekletilen östenit mikroyapı içerisinde bulunan ferrit oranının gerçekleştirdiği etki

#### 2.2.1.4. 316L östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelik türlerinin belirgin özelliklerinden biri en iyi kaynak kabiliyetine sahip olmasıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak işlemi, korozyon ve çatlak oluşum dayanımı nedeniyle oldukça önemlidir. Östenitik paslanmaz çelik türlerinde kaynak ile birleştirme işleminde, ısı etkisi altında kalan bölgede (ITAB) kaynak ile birleştirme işleminin malzeme üzerindeki korozyon dayanımını düşüren taneler arası krom oranı bakımından çok fazla karbürlerin meydana gelmesi sebebiyle hassas davranış gösterir. Bundan dolayı AISI 316L östenitik paslanmaz çelik sınıfında tane sınırlarında görülen karbür çökmesini düşürmek için içinde ihtiva edilen karbon oranı düşürülmüştür (Kocabekir, Kacar, Gündüz ve Hayat, 2008).

AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğinin, yüzey merkezli kübik kristal yapısı ve kimyasal bileşimi sayesinde yüksek korozyon direnci, tokluk, süneklik, kolay şekillendirilebilme, yüksek kaynak kabiliyeti ve sıcaklık direnci gibi belirgin karakteristik özellikleri ile;

- Mutfak cihazları,
- Gıda sektörü,

- Cerrahi tıp aletleri,
- Marin sektörü,
- Havacılık ve uzay sektörü,
- Otomotiv sektörü,
- İnşaat sektörü.

Gibi birçok sektörde kendine kullanım alanı bulmuştur.

Böyle geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan östenitik paslanmaz çeliği 316L'nin araştırılması geliştirilmesi ve kullanım kabiliyetinin artırılması nedeni ile dünya çapında araştırmacılar tarafından titizlikle yapılan çalışmalar analizler ve deneyler sonucu malzeme kullanım kabiliyeti arttırılmaya çalışılmaktadır.

Tezin amacına buna uygun olarak uygun kaynak yöntemi, uygun kaynak işlem prosesleri ve buna bağlı olarak değişkenlik gösteren ortam koşullarını sabit tutarak kaynak ısıtıl işlemi parametre girdilerini değiştirerek en uygun kaynaklı birleştirme prosesinin kullanarak malzeme dayanımı mekanik davranışlardaki olumlu ve olumsuz etkileri tarayarak bunları birbirleri ile karşılaştırıp en verimli, en uygun şekilde kaynak kabiliyetine bağlı olarak genel bir araştırma sonucu oluşabilecek tüm detayları değerlendirip buna göre paslanmaz çelikler için en uygun parametre ve ortam koşulları sağlanarak iki farklı malzemenin birleşmesi sonucu oluşabilecek deformasyonu en aza indirip malzeme dayanımını mukavemet değerlerinin ve bunun yanında korozyon etkilerine karşı direncini en üst seviyede tutarak doğru birleştirme şeklini tayin etmektir.

İki farklı materyali birleştirmeden önce 316L östenitik paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşenlerinin bilinmesi ve bu bileşenlerin malzeme üzerindeki etkilerin ne olduğunun bilinmesi elzemdir.

Aşağıdaki tabloda 316L östenitik paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşimi gösterilmektedir (Tablo 2.1).

**Tablo 2.1** AISI 316L paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

| KALİTE | C    | Mn | P     | S    | Si | Cr    | Ni    | Mo  |
|--------|------|----|-------|------|----|-------|-------|-----|
| 316L   | 0,03 | 2  | 0.045 | 0,03 | 1  | 16-18 | 10-14 | 2-3 |

*Karbon;*

Paslanmaz çeliklerde sertleşmeyi gerçekleştirebilme etkisine sahip başta gelen elementtir. Çekme direncini yükseltirken kaynaklanma özelliğini düşürür. Metalin alçak sıcaklık ortamında sahip olduğu tokluk özelliğini azaltır ve korozyona karşı dayanımını olumsuz yönde etkiler.

*Krom (Cr);*

Paslanmaz çeliklere her %1 krom ilavesine ek çekme dayanımı 8-10 kg/mm<sup>2</sup> oranında yükselir. Paslanmaz çeliğin korozyona karşı dayanımını, aşınma dayanımını ve sertleşme kabiliyetini yükseltirken aşırı sıcak ortamlara karşı da dayanımını artırır.

*Mangan (Mn);*

Periyodik cetvelde 4. Periyot 7. grupta bulunur. Atom numarası 25'tir. Mn sembolü ile gösterilen bir metaldir. Paslanmaz çeliğe mukavemet sağlar. Kaynaklanabilme kabiliyetini yükseltir, içerdiği karbon miktarına bağlı olarak sertlik ve mukavemetini artırırken, esneklik özelliğini azaltır.

*Fosfor (P);*

Fosfor elementi ile birlikte düşük oranda molibden veya zirkonyum ilavesi ile paslanmaz çeliklerin talaşlı imalat kabiliyeti yükseltilirken paslanmaz elikte çatlama eğilimini yükseltir.

*Kükürt (S);*

Paslanmaz çeliklerde kırılkanlığı ve mukavemet düşüşlerine neden olur. Mangan elementi ile birlikte kullanılarak kırılkanlığın ve çatlak oluşumunun minimuma indirilmesi sağlanır. Genelde çelik gruplarında otomat çelikleri hariç tercih edilmez.

*Silisyum (Si);*

Paslanmaz çeliklerin oksidasyonunu önleme konusunda oldukça önemli bir element olup düşük alaşımlı karbon çeliklerine eklendiğinde manyetik özelliklerini artırır ve kırılkan bir malzeme oluşturulmuş olur. Paslanmaz çeliğin yapısında oluşacak olan karbürleri dengeye getirir.

*Nikel (Ni);*

Nikel elementi 316L paslanmaz çeliklerde %10-14 oranında kullanılarak malzemenin sünekliğinde bir değişikliğe neden olmadan dayanımını yükseltir.

*Molibden (Mo);*

316L Paslanmaz çeliklerde alaşım yüzdesi %2-3 arasında düşük bir oranla kullanılmasına rağmen ısıya karşı olan direnci, çekme dayanımını ve kaynaklanabilme özelliğini yükseltir. Yüksek miktarlarda kullanılması durumunda malzemenin şekillendirilebilmesi zor bir hal alır.

### **2.2.2. Ferritik paslanmaz çelikler**

Kimyasal yapılarında bulunan krom elementi %12 ve %18 oranları arasında ve düşük miktarlarda karbon elementi bulunan paslanmaz çelik türlerine ferritik paslanmaz

Çelikler denir. Mikro yapılarında sahip oldukları hacim merkezli kübik yapıları sayesinde oda sıcaklıklarında ve aşırı sıcaklıklarda östenit ferrit dönüşüm durumu gerçekleşmez. Bu sebepten dolayı mekanik ve kimyasal özellikleri herhangi bir ısıl işleml uygulaması sırasında değişiklik göstermez.

Tavlanma ısıl işleml uygulaması sonrası akma direnci 275 MPa ile 350 MPa değerleri arasında kalmaktadır. Kaynaklı imalat ve kalın kesitli olması gereken makine parçalarında düşük seviyedeki tokluk ve gevrekleşme hassasiyeti sayesinde kullanım alanı bulur. Oksitlenmeye ve atmosferde bulunan oksijenin koroziif etkilerine karşı dirençleri sayesinde çoğu alanda kullanım avantajları bulunmaktadır. Ferritik paslanmaz çeliklerin manyetik özelliği ve uygulanan ısıl işlemler esnasında mekanik özelliğinin farklılaşmamasından ideal bir yapıya sahip olabilmeleri için ince tane sahip iç yapılar oluşturtulması gerekmektedir. Ferritik paslanmaz çelikler kimyasal bileşimlerinde krom, düşük oranda karbon, azot ve nikel gibi östenit yapıcı elementler bulunur. Karbon elementi çok kuvvetli östenit yapı oluşturan bir element olup belli bir orana ulaşınca krom elementinin ferrit oluşturuocu özelliğini yok ederler. Bunların sonucunda martenzitik ve perlitik paslanmaz elik oluşumları gerçekleşir. Eğer karbon oranı arttırılıp aynı zamanda ferritik mikro yapının korunması gerekiyor ise bileşimin içerisinde bulunan ferrit yapıcı krom elementinin bileşimdeki yüzdesi yükseltilerek ferritik iç yapı devam etmiş olur.

Ferritik Paslanmaz elikler içerdikleri ferritik yapı ile bazı alanlarda kullanım üstünlüklerine sahiptirler. Bu alanlar kısaca; Mutfak aletleri, dekorasyon çalışmaları, bazı otomotiv sektöründe kullanılmak üzere şasi komponentleri, egzoz sistem araçları, sıcak su tankı gibi ısıya karşı direncin ve aynı zamanda koroziif etkinin gerçekleşmediği parça imalatında kendilerine kullanım alanı bulurlar.

Ferritik paslanmaz çelikler içerdikleri ferrit yapıcı krom elementinin kimyasal bileşimdeki mikroyapı içerisinde kapladıkları kimyasal hacim oranına bağlı olarak aşığıdaki gibi belli başı gruplara ayrışır;

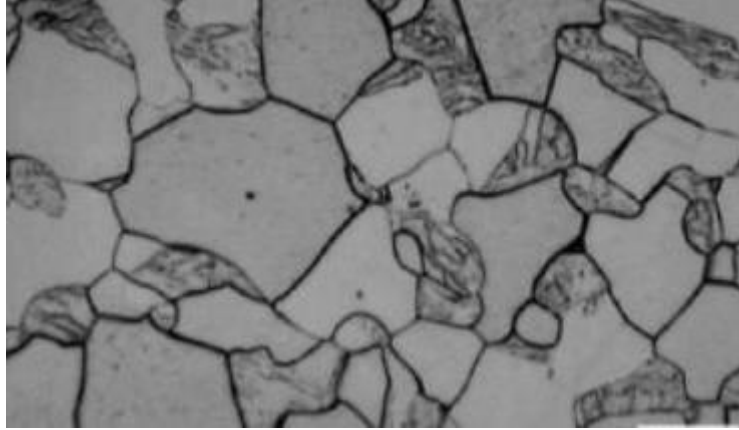
- İçerdikleri krom elementi oranı %12-14 oranlarında bulunan 405 ve 409 kalite ferritik paslanmaz çelikleri buna örnek gösterebiliriz.
- İçerdikleri krom elementi oranı %17-19 seviyesinde bulunan 430 ve 434 kalite ferritik paslanmaz çelikleri buna örnek gösterebiliriz.
- İçerdikleri krom elementi oranı %19-27 oranlarında bulunan 442 ve 446 serisi ferritik paslanmaz çelikleri buna örnek gösterebiliriz. Aynı zamanda bu çelikler süper ferritikler olarak bilinirler.

Kimyasal bileşimi içerisinde bulunan krom elementi oranı %12-14 gibi düşük seviyede olup yarı korozif özellikleri ve oksidasyon dayanımı ile birlikte işlenebilirliği düşük maliyetleri ile ferritik paslanmaz çeliklerin kullanımı yaygındır. Bu tür çelikler genellikle Otomotiv sektöründe egzoz parçaları için kullanılır, kullanılan seri ise 409 kalite paslanmaz çeliklerdir (Lula, 1993).

Kimyasal bileşimindeki krom oranı orta seviyelerde yani %17-19 oranlarında olan seriler ise otomobil sacı imalatında ve mutfak aletleri yapımında kullanılır. İkinci grup ferritik paslanmaz çelikler düşük tokluk oranı ve az kaynak kabiliyeti ile bilinirler.

Üçüncü grup olan içeriğinde yüksek krom elementi seviyesine sahip %19-27 oranlarında grup ise süper ferritik olarak tanımlanır. Korozyon direncinin ve oksidasyona karşı olan dayanımı yüksek olması gereken alanlarda kullanılır.

Ferritik paslanmaz çeliklere titanyum ve niyobyum gibi alaşım elementleri eklenmesi ile düşük karbon ve azot içeren ferritik paslanmaz çelik alaşımlarında, gevrek kırılma hassasiyetini düşürmek ve kaynaklı imalat direncini arttırmak stabilizatör element olarak kullanılır. Aynı zamanda alüminyum ve molibden elementlerini de bünyelerinde barındırırlar. Süper ferritik paslanmaz çelikler bölgesel korozyonun meydana gelebileceği ortamlarda östenitik paslanmaz çeliklere göre daha iyi direnç gösterdikleri için buhar kazanları, ısı değiştirici serpantinler, klor transferi gerçekleştiren boru hattında ve gemi inşaat sektöründe kullanılabilir.



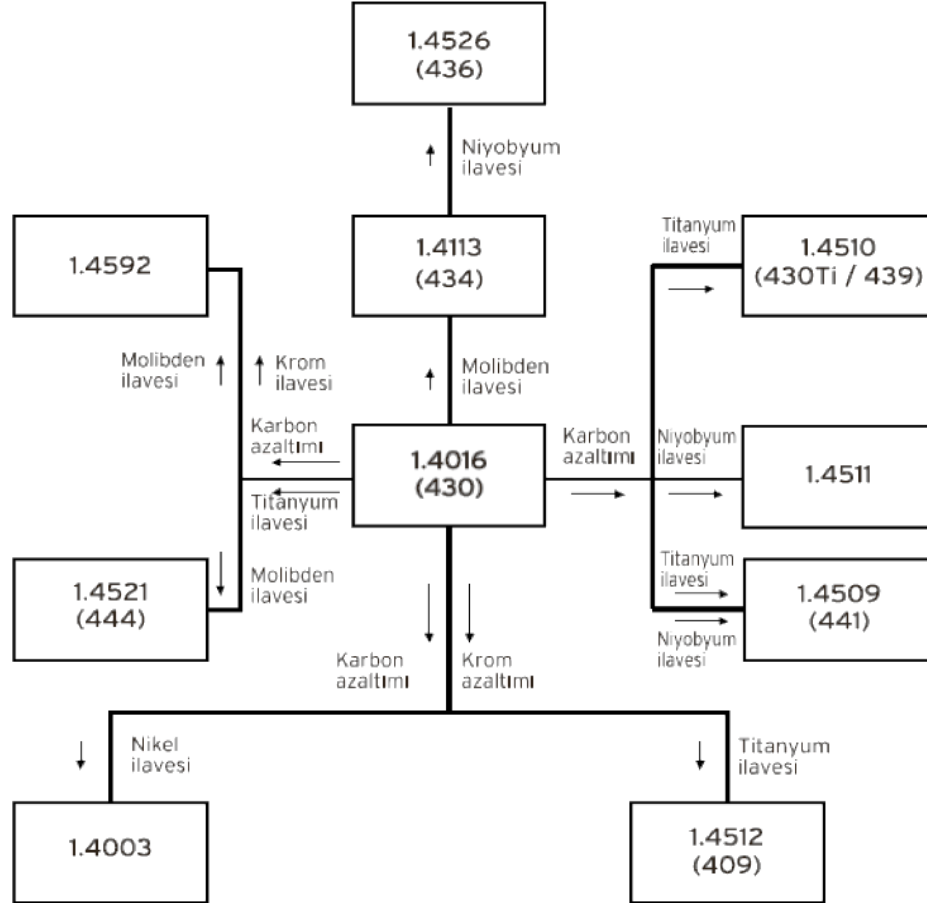
**Şekil 2.11** Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapı görüntüsü

Şekil 2.11’de ferritik paslanmaz çeliklerin içinde bulundukları mikroyapıları gösterilmiştir.

Ferritik paslanmaz çelikler hacim merkezli kübik kafes yapısında bulunduğu için düşük ısı ortamlarda gevrek kırılma davranışında bulunurlar. Ayrıca fazla ısı

ortamlarda bulundurulma zamanlarına göre 3 ayrı zamanlı gevrekleşme durumu gözlemlenir.

Malzemenin mikroyapını oluşturan tanelerin büyümesini ve karbür çökmesinin önüne geçilebilmesi için kaynak işlemleri esnasında kayna bölgesine verilen ısıнын düşük sıcaklıklarda tutulması gerekir.



Şekil 2.12 Bazı ferritik paslanmaz çeliklerin kalite grupları

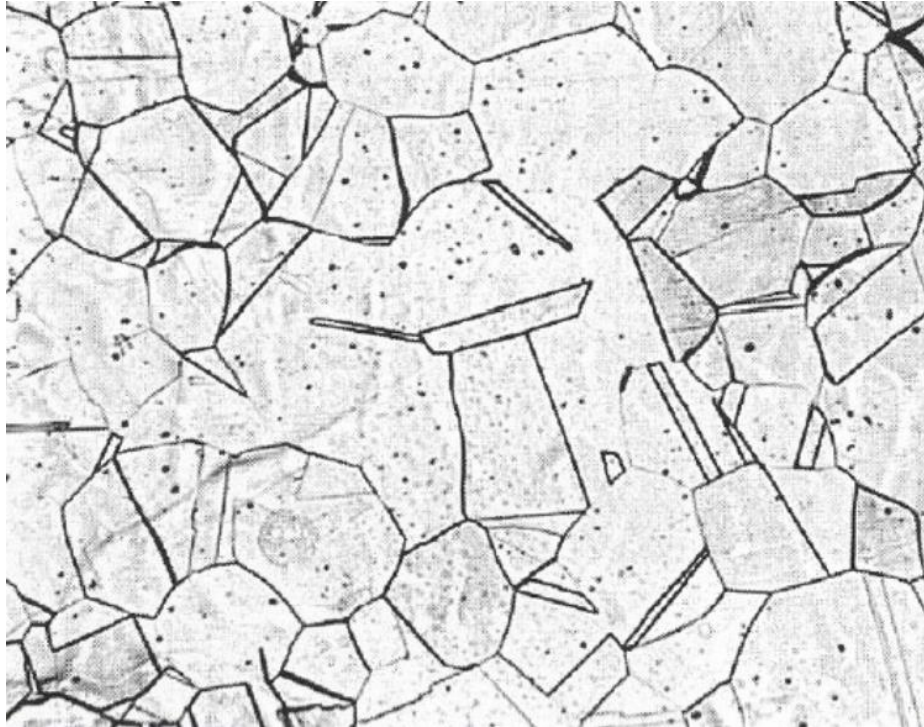
Yukarıdaki tabloda ferritik paslanmaz çelik grubunda bulunan bazı kalite çeliklerin kimyasal yapısının durumuna bağlı olarak isimlendirilmesi ve gruplandırılmasına yer verilmektedir (Şekil 2.12).

- Ferritik paslanmaz çeliklerin yatırım maliyetleri ve korozyon dayanımları ile birlikte gelen mekanik davranışları incelendiğinde belli başlı üstünlük sağladığı özelliklerine aşağıda değinilmiştir;
- Korozyon dirençlerinin durumunu belirleyen malzemenin içerisinde ihtiva ettiği krom elementidir. Bu miktara bağlı olarak iyi ya da orta derecede olma durumunu krom elementi belirler.
- Isıl işlemler uygulanarak malzeme dayanımı değiştirilemez.

- Farklı her türlü ısı ortamda tavllanmış halde kullanılırlar.
- Manyetikler.
- Kaynaklanabilme davranışları azdır.
- Östenitik paslanmaz çelikler gibi şekil verilebilirlikleri iyi değildir.

### 2.2.3. Martenzitik paslanmaz çelikler

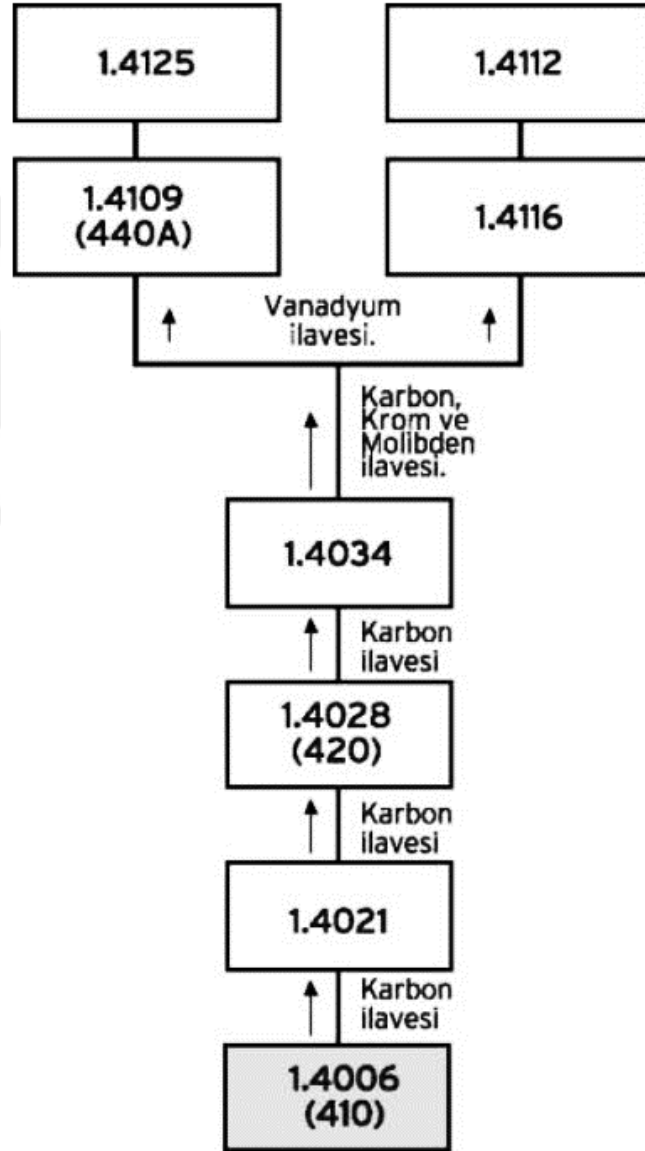
Paslanmaz çelik gruplarında mikroyapılarında içerdikleri karbon oranı %0,1 oranında yüksek olan paslanmaz çelikler yüksek ısı ortamlarda östenitik bir içyapı halinde bulunurlar. Östenit hale gelme ısısı paslanmaz çeliğin türüne bağlı olarak 950 ile 1050°C sıcaklıkları arasında gerçekleşir. Bu sıcaklıklarda bekletilen paslanmaz çeliğe su verilme işlemi sonrası içyapı martenzitik hale gelir. Martenzitik bir paslanmaz çeliğin mikroyapı görünümü Şekil 2.13'te verilmiştir. Bu işlemler esnasında ortaya çıkan sertlik ve mekanik dayanıklılık karbonun elementsel oranıyla birlikte yükselir. Malzeme türüne göre martenzitik paslanmaz çelikler tavllanmış, temperlenmiş ya da su verilmiş halde ihtiyaç duyulan pazara verilir. Tavllanmış olarak imal edilmiş paslanmaz çelikler şekil verilme işleminden sonra su verme ve temperleme prosesleri uygulanır. Temperleme ısısı farklılaştırılarak farklı özelliklere sahip ürünler elde etmek mümkündür. Korozyon ortamlara karşı direncin en iyi performansta olabilmesi adına uygulanan ısı işlem sıcaklıklarının literatürde tavsiye edilen sıcaklıklarda yapılması gerekir.



Şekil 2.13 Martenzitik paslanmaz çeliklerin mikroyapıları

Martenzitik paslanmaz çelikler korozyon durumu ve ısıt işlem duyarlılıkları ve birçok mekanik davranışları ile başta gelen özelliklerine aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

- Koroziif ortamlara karşı olan direnci çok yüksek değildir.
- Yüksek mukavemet için ısıt işlemler uygulanması mümkündür.
- Kaynaklanabilme özellikleri iyi değildir.
- Genel olarak, ameliyat aletlerinde, Makine imalatında kullanılan miller ve pimlerin üretiminde, bıçak üretimlerinde sıklıkla kullanılırlar.



Şekil 2.14 Kalitelerine göre martenzitik paslanmaz çelik sınıflandırılma grafiği

Şekil 2.14'te martenzitik paslanmaz çeliklerin sınıflarına göre grafiğine yer verilmiştir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin oluşumu, paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunan ostenitin yüzey merkezli kübik yapısı sayesinde yüksek sıcaklıklardan hızla soğutma işlemi gerçekleştirildiğinde bu işlemin sonucu olarak hacim merkezli tetragonal kafese sahip martenzit yapıya dönüşümü ile gerçekleşir. Oluşan bu paslanmaz elik tür içyapısında tavlanmış şekilde bulunan yumuşak ferritik faz barındırır. Bu türde bulunan paslanmaz çeliklerin moleküler yapısında %16 ile %18 oranında krom elementi içeren 440A, 440B ve 440E kalite çelikleri haricinde, daha fazla olarak %14 krom elementi bulundurulur. Bununla birlikte, %0,6 ile %1,2 oranları arasında yüksek karbon elementi ihtiva eden 440 serisi elik hariç karbon elementi oranları düşük ya da orta seviyelerde bulunur. Krom ve karbon element oranları martenzit yapı gerçekleştirmeye imkân sağlayacak bicimde denge halindedir. Niyobyum, volfram, silikon ve vanadyum gibi elementler malzeme içerisine eklenerek eliğın temperleme özelliğı ayarlanır. eliğın oluşumu esnasında içerisini az miktarlarda nikel elementi eklenmesi ile malzemenin korozif ortamlara karşı direncini arttırılır. Elde edilen matenzitik yapıdaki paslanmaz çeliğine çeşitli ısıl işlemler uygulanarak istenilen iç yapı ve davranışlar elde edilebilir.

Paslanmaz eliğın türüne bağlı olarak ostenitleme sıcaklığı 950 ile 1050°C arasında değişiklik gösterir. Bu sıcaklıklar arasında paslanmaz çeliklere su verme işlemi gerçekleştirilir ise martenzitik bir yapı gerçekleştirilmiş olur. Karbon elementi miktarına bağlı olarak su verme ve temperlenme sonrası mekanik özellikler değişebilir ve bunun ile birlikte ise malzemenin sertlik ve mekanik dayanımı buna bağlı olarak artar veya azalır. Kimyasal bileşimdeki krom elementi miktarı %16 ve karbon elementi miktarı %0,6-%1,1 arasında bulunan paslanmaz elikler 60 HRC sertlik ve 1900 MPa akma direncinde bulunur. Bu tür paslanmaz çeliklerde aşınma direncinin yüksek olması sertliğinin fazla olmasına bağlıdır. %1,1 oranında karbon elementi ihtiva eden 440 serisi yüksek kalitede aşınma direncine sahip iken, %0,1 oranına karbon elementi ihtiva eden 410 serisi düşük aşınma direncine sahiptirler.

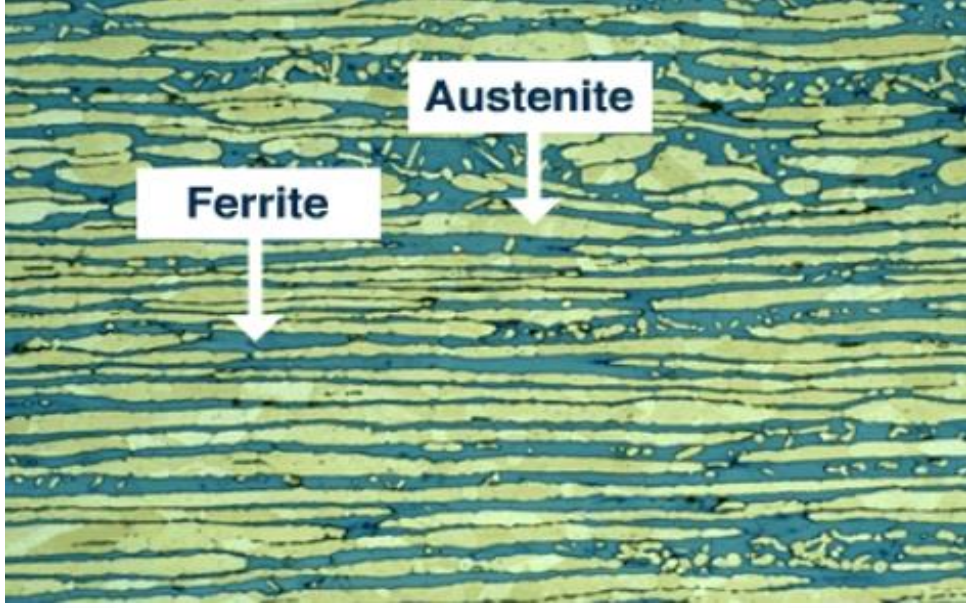
Martenzitik paslanmaz elik türleri çekme, sürtünme ve yorulma dayanım ihtiyaının yüksek olduğu ve çok korozyon olmayan ortamlarda en faz 650°C'ye kadar sıcaklıklara kadar kullanılabilir. 410 kalite martenzitik paslanmaz eliğı az ya da orta seviyede karbon elementi ihtiva eder, gaz ve buhar türbinlerinde, jet motorlarında kullanılmaya uygundur ve açıklamaya uygun bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. 420 kalite ve buna benzer ostenitik paslanmaz çelikleri mutfak aletleri arasında kesici ev aletleri üretiminde, makine sanayinde ise rulman, pim, dişli ve millerde, vana

parçalarında daha çok kullanıma uygundur. Aynı zamanda petrol ve petrokimya uygulamalarında kullanılan makine teçhizatında da kullanıma uygundur. 440 kalite martenzitik paslanmaz çeliklerde cerrahi ve dişçilik için kullanılan araç gereçlerin üretiminde, makas, yay, kam ve rulmanların bilyalarında en fazla kullanılan paslanmaz çelik türüdür.

Malzemenin korozyif ortam direncini yükseltmek ve tokluğunu arttırmak amacı ile alaşım elementi içerisine molibden ve nikel element katkıları sağlanır. Martenzitik paslanmaz çelikler içerisinde bulunan nikel element karbon elementinin kimyasal bileşim içerisindeki rolünü üstlenir. Bu sayede karbon elementinin malzeme üzerindeki olumsuz olan bazı etkileri, karbür çökmesi ve aşırı sertlik oluşumu gibi istenmeyen olayların önüne geçilir. Nikel element dengileyici bir yapıya sahip olduğu için yüksek miktarda bulunan krom elementinin bileşimdeki etkisi dengeler ve malzemeyi serbest şekilde oluşacak ferritiklerden korur. Su verme derinliği ve sertleşme kabiliyeti yükseldiğinden dolayı kalın ürünler de de malzemeye ıslah işlemleri uygulanabilirliğini yüksektir. Malzeme içerisine nikel ve molibden ihtivası ile birlikte su verme işleminden sonra martenzitik yapıya dönüşmemiş artık östenitin meydana gelmesinin engellenmesi için belli bir oranın içerisinde kalması gerekmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı malzeme içyapısı özellikleri nedeni ile korozyif ortam direnci orta düzeylerde kalmaktadır.

#### **2.2.4. Dupleks paslanmaz çelikler**

Dupleks paslanmaz çelikler östenitik-ferritik paslanmaz çelikler olarakta bilinirler. Yapılarında yüksek miktarda %18-%28 arasındaki oranlarda krom element ve %4,5-%8 arasındaki oranlarda nikel element ihtiva ederler. İçeriğinde bulunan nikel element oranı en faz %8 civarında olduğu için malzemenin tüm iç yapısının östenitik olmasına yetmemektedir. Ferrit ve östenit fazlarının bir arada bulunduğu bu içyapı nedeni ile bu tür çelikler dupleks paslanmaz çelikler olarak tanımlanır. Dupleks paslanmaz çeliklerin iç yapılarında çoğunlukla %2,5-%4 oranları arasında molibden element ihtiva eder. Bu element yüksek mukavemet ve iyi süneklik özelliklerini birlikte malzemeye kazandırır. Bu element korozyon yapıcı ortamlarda bile yorulma dirençleri çok iyidir. Literatürlerde verilen verilere uygun olarak kaynak imalatının uygulanması durumunda kaynaklanma kabiliyeti iyidir. Şekil 2.15'te dupleks paslanmaz çeliklerin iki fazı da östenik ve ferritik yapıyı birlikte bulundurduğu mikroyapı gösterilmiştir.



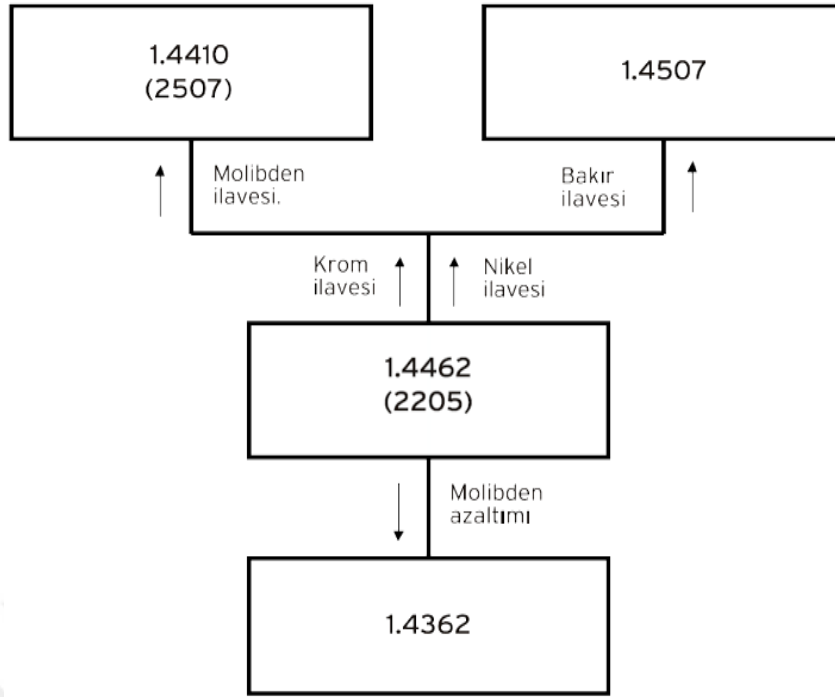
Şekil 2.15 Dupleks paslanmaz çeliklerde mikroyapı

Genel olarak arıtma tesislerinde, denizcilik sektöründe, ısı değıştiricilerinde ve petrokimya endüstrisinde kullanılmalarını sağlayan önde gelen özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Gerilmeli korozyon cinsine karşı iyi bir dirence sahip olması.
- Klor iyonunu ihtiva etmeyen ortamlarda daha fazla korozyon direncine sahiptirler.
- Sadece östenitik ve sadece ferritik paslanmaz çeliklere göre daha fazla mukavemetlidirler.
- Şekillendirilebilme özellikleri diğer paslanmaz çeliklerden üstündür.
- Kaynaklanabilme kabiliyetleri iyidir.

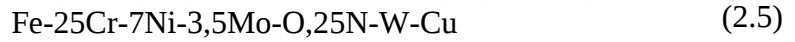
Dupleks paslanmaz çelikleri iç yapılarında her iki östenitik ve ferritik fazı bir arada bulundurur ve bunun verdiği avantaj ile östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin her birinden fazla olarak daha iyi özellikleri bünyelerinde barındırırlar. Bu yapıları sayesinde dupleks paslanmaz çelikler östenitik paslanmaz çeliklere göre daha iyi seviyelerde gerilme korozyonu direncine, ferritik paslanmaz çeliklere göre de daha fazla tokluk ve sünekliğe sahiptirler. Her iki fazın da birlikte olması durumunda tavlanmış bile olsalar 550 ile 690 MPa değerleri arasında akma dayanımına sahiptirler, fazların ayrı olarak bulunduğu türdeki paslanmaz çeliklerin akma dayanımından oldukça yüksek değerlere sahiptir.

Şekil 2.16'da dupleks paslanmaz çeliklerin sahip olduğu çelik sınıflandırılmasına yer verilmiş olup ilave edilen elementler ile birlikte kalite dönüşüm ayrıntısına yer verilmiştir.



**Şekil 2.16** Dupleks paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması

Piyasada ticari amaçlı kullanılan kaliteler %22-%26 oranları arası krom %4-%7 oranları arası nikel, %4,5 molibden, %0,7 bakır ve volfram ile %0,08-%0,35 oranları arasında azot elementlerini ihtiva eder.



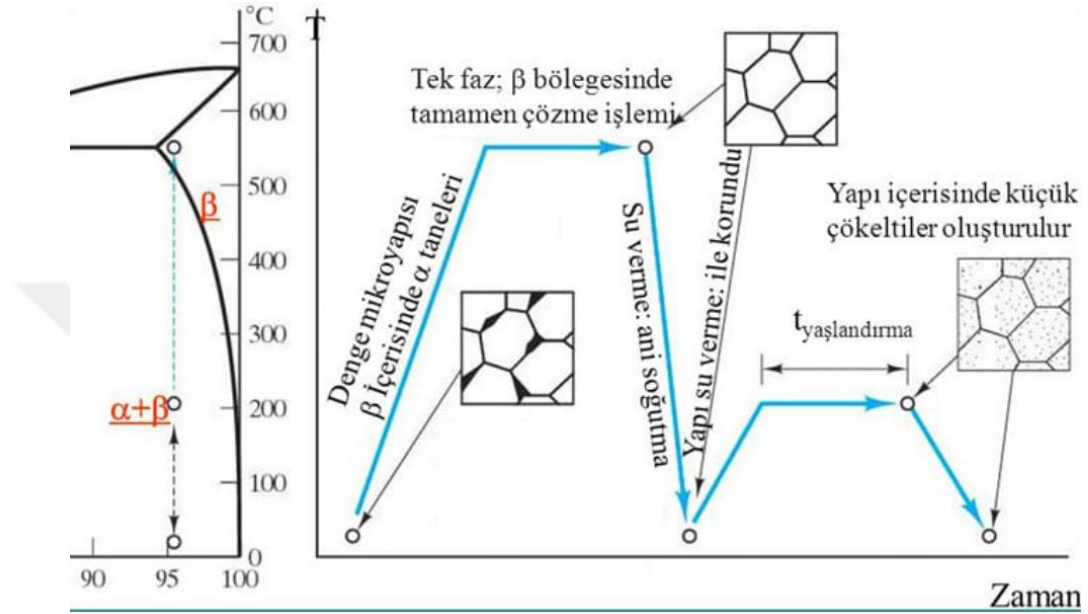
Yukarıda bulunan ifade süper-dupleks paslanmaz çelikler için kullanılır. Bu İki fazı da bir arada bulunduran dupleks paslanmaz çeliklerin mekanik davranışlarının ve korozyon dirençlerinin iyileştirilebilmesi için araştırmacılar bu malzemeler üzerinde deneylerine ve araştırmalarına devam etmektedirler.

Dupleks paslanmaz çelikler içerisinde ihtiva ettiği ferrit oluşturan elementlerin miktarına göre %10 oranına kadar delta-ferrit bulundurlar. En başta katılaşma özelliğine sahip faz, çeliğin mikroyapısının ince tanelere sahip olmasına yardımcı olur. Sıcak çatlak oluşum direncini artıran fosfor, kükürt, silisyum gibi alaşım elementlerinin de yüksek miktarda ferrit kafesi içerisinde çözülerek östenit yapısından uzaklaşır ve bu sayede sıcak çatlak oluşum riski azaltılmış olur.

#### 2.2.5. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler

Bu uygulamaya tabi tutulan paslanmaz çeliklerin mikroyapıları östenitik ya da martenzitik fazlarda bulunabilir. Çökelmenin meydana gelmesi için bazı durumlarda malzemenin daha önce soğuk şekil verilebilmesi gerekmektedir. Çökelmenin

gerçekleşmesi için alüminyum, niyobyum, titanyum ve bakır gibi elementler ile alaşım oluşturma işlemleri gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen bu işlem sonrası mukavemeti 1700 MPa değerine ulaşan paslanmaz çelikler meydana gelir. Endüstriye çözme tavı işlemi görmüş şekilde sürülür. Çelikler bu yapıda yumuşak olurlar ve imalat yapılabilir durumdadır daha sonra ise düşük sıcaklıkta tek kademeli olarak sıcaklık yaşlandırması işlemleri ile sertleşmeleri gerçekleştirilebilir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Yaşlandırma sertleşmesi oluşum şeması

Çökeltme sertleşmesi uygulanan paslanmaz çelik türlerinin kimyasal yapısını titanyum, niyobyum, bakır, molibden ve alüminyum elementleri oluşturur. Bu kimyasal yapıyı oluşturan alaşım elementlerinin malzeme yapısına direkt etkisi ile çökeltme sertleşmesi oluşturan demir, krom ve nikel elementleri içeren paslanmaz çelik türleridir (Kaluç ve Tülbentçi, 1998).

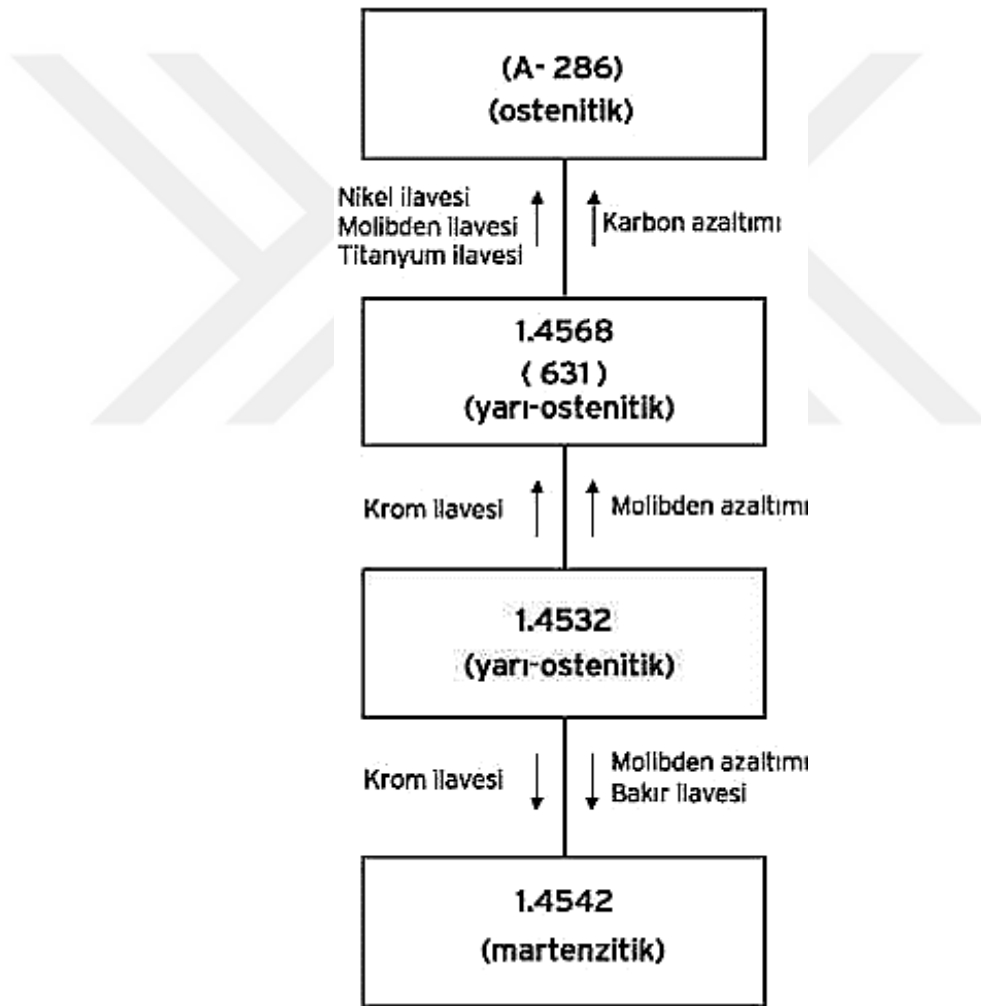
Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikleri istenilen malzeme dayanımına getirebilmek için kontrol altında yaşlandırma prosesleri uygulanır. Çökeltinin gerçekleşmesini için alüminyum, molibden, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri alaşıma eklenir.

Çökeltme sertleşmesi oluşumu için çözeltiye alma tavlamasından sonra uygulanan hızlı bir soğutma sonrasında yaşlandırma işlemi gerekir. Paslanmaz çelik iç yapısını oluşturan elementlerin çözeltiyi alma tavı esnasında çözündürmesi ile yaşlandırma uygulanması yapıldığı esnada da küçük parçacıklar ekinde çökelek oluşturarak yapının mukavemet ve sertli dayanımları iyileştirilir. Gerçekleştirilen uygulamaların ardından

malzeme martenzitik paslanmaz çelik mekanik yapı özelliğine, östenitik paslanmaz çelik türünün ise korozyon ortam dayanımına benzer özellikler taşır hale gelirler. Mukavemet seviyesi 1700 MPa değerine kadar yükselmekte bunun sayesinde martenzitik paslanmaz çelik türünün mukavemet değeriniz üzerine çıkılır (Baylan, 2004).

Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelik türlerinin öne çıkan bazı özellikleri aşağıda yer verilmiştir.

- Korozyon ortam dayanımı orta seviyelerdedir.
- Mekanik özellikleri iyidir.
- Kaynaklanabilirlikleri iyidir.
- Manyetik özellik gösterirler.



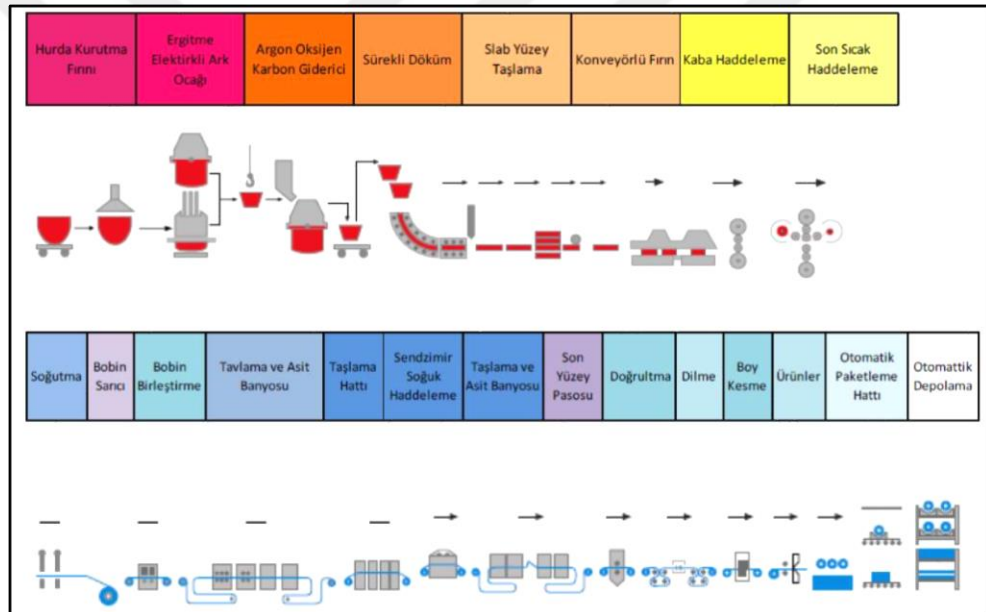
Şekil 2.18 Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelik türleri

Şekil 2.18’de çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelik türlerinin sahip olduğu çelik sınıflandırılmasına yer verilmiştir. Bileşime eklenen elementler ile birlikte malzeme kalite dönüşümüne yer verilmiştir.

Endüstride 630 kalite paslanmaz çelik türleri çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler grubunun en yaygın kullanılan türleridir. Genellikle havacılık ve uzay sektöründe kullanımları yaygındır.

### 2.3. Paslanmaz Çeliklerin Üretim Prosesleri

Büyük bütçe yatırımı ve alanında uzman kişiler tarafında sürekli geliştirilmesi gereken paslanmaz çelik üretimi üstün bir teknoloji gerektirir. Elektrik ark ocağı ve argon oksijen karbon giderme yöntemleriyle paslanmaz çeliklerin ergitme ve arıtma işlemleri gerçekleştirilir. Dünden bugüne dünya çapında paslanmaz çelik üretiminin %80'i bu üretim metotları ile 1970 yıllarında gerçekleştirildiği bu üretim metotları sayesinde üretim kalitesi yükseltilmiştir ve üretim maliyetleri düşürülmüştür. Paslanmaz çeliklerin farklı üretim yöntemleri de bulunmaktadır (Aran ve Temel, 2003).



Şekil 2.19 Paslanmaz çeliklerin üretim şeması

Paslanmaz çeliklerin imali paslanmaz çelik hurdası ya da doğada cevher olarak bulunan elementlerin ergitme potalarında yüksek sıcaklıklarda eritilmesi ile başlar. Bu malzemeler ergitme potasına yüklenmeden önde kurutma fırınında belli bir zaman bekletilir ve daha sonra malzemeler alaşımın oluşturulduğu ergitme ocağına yerleştirilerek ergitme işlemi başlar. Daha sonra argon oksijen dekarbürizasyonu ile üretim aşamaları devam eder. Dekarbürizasyon prosesi esnasında argon gazı ortama püskürtülerek oksijenin dekarbürizasyonunun gerçekleşmesi ile oluşur (Şekil 2.19).

Argon oksijen dekarburizasyon ünitesine getirilen eriyik halde bulunan malzeme önce %75 oranında oksijen ve %25 oranında argon gazı birleşimini ünite içerisindeki hücreler yardımı ile püskürtme işlemi gerçekleştirir. Bu işlem esnasında alaşımın kimyasal bileşiminde bulunan karbon elementi yakılarak istenilen karbon elementi oranına göre %0,02 oranına kadar indirilebilir. Krom elementi oksitlenmeye yatkın olduğu için bu işlem uygulandığı esnada oluşan cürufun içerisine karıştığından dolayı alaşım içerisine krom elementinin ihtiva edilmesi karbür giderme işleminin bitmesinden daha sonra gerçekleştirilir. Daha sonra üçüncü aşamada alaşımda bulunan ve kimyasal bileşim içerisinde yüksek oranlarda bulunması istenmeyen kükürt elementi oranının bileşim içerisindeki oranı azaltılır (Lippold, 1992).

Malzemenin kimyasal bileşim durumu ve ısı uygun duruma geldiğinde eriyik halde bulunan malzeme döküm potası içerisine doldurulur ve son kontroller gerçekleştirilir. Eriyik malzemeye kontroller sonrasında bileşim kimyasal durumuna göre bazı elementlerin eklenmesi gerçekleştirilir. Eriyik halde bulunan malzemenin homojen duruma getirilebilmesi için ortama argon gazı püskürtülür. Oluşturulan eriyik alaşımı potadan katılaşma işleminin gerçekleşeceği su soğutma sistemi bulunan bir kalıp içerisine tavalar yardımı ile aktarılır. Katı hale gelen malzeme yassı kütük şekline benzer. Bu kütük bükme ve düzeltme merdaneleri bile şekillendirilmek amacıyla bu sistemin oluşturulduğu bölüme alınır ve son işlem olarak malzeme alevli kesiciler yardımı ile gerekli ölçülere getirilmek üzere ebatlanır. Oluşturulan bu sistem sayesinde paslanmaz çeliğin kütük şeklinde sürekli olarak dökülmesi mümkün olur. Döküm işlemi esnasında oluşan kütüğe slab ismi verilir. Bu slab yüzeylerinde belirsiz bölümlerde döküm hatası oluşabilir. Soğuması için bekletilen bu malzemeler soğuduktan sonra taşlama tezgâhı üzerinde hatanın olduğu kısım ya da yüzeyin tamamı taşlanarak yüzey hataları ortadan kaldırılır. Uygulanan bu işlem malzemenin iç yapısında oluşacak olan döküm hatalarının önüne geçmeyecektir. Daha ileriki imalat işlemleri esnasında örneğin talaşlı imalat sırasında malzeme üzerinden paso kaldırılması durumunda içeride bulunan döküm hataları ortaya çıkacaktır.

Taşlama ve ebatlama işlemlerinden sonra malzeme sıcak haddeleme işlemi için hazırlanır. Bu hazırlıklar ilk olarak yassı halde oluşturulan ve ebatlanan kütükler koruyucu atmosfer ortamında yaklaşık olarak 1250°C sıcaklığa ulaşınca kadar bu ortamda bekletilir. Uygulanan kaba haddeleme işlemi ile kütüğün kalınlığı ihtiyaç duyulan ölçüye bağlı olarak 25 mm et kalınlığına kadar düşürülebilir. Gerçekleştirilen

kaba haddeleme işleminden sonra oluşan bu yapısal malzemenin ısı değeri yaklaşık olarak 1100°C sıcaklık değerine geriler. Bu işlemlerden sonra oluşan yeni boyutlarda malzeme haliyle uzun bir şekil alacaktır. Uzunluğu artan bu malzeme bobin şeklinde sarılarak toplanır ve ileri ve geri hareketli haddeleme makinaları yardımı ile kademeli bir şekilde ince bir hal alması sağlanır. İstenilen kalınlığa göre malzeme haddeleme işlemi tamamlanır ve işlemler sonunda ısınarak sac haline gelen bu malzeme soğutucu bir sistem içerisinde geçirilerek sarıcılar yardımıyla rulo haline getirilir.

Sıcak haddeleme görmüş yarı mamul haline gelen bu malzeme soğuk haddeleme işlemlerinin gerçekleşeceği imalat ünitesine gönderilir. Soğuk haddeleme işlemleri ile paslanmaz çelik sac, ileri ve geri sürekli hareketlerin gerçekleştiği hadde ünitesinde art arda gerçekleşen haddeleme işlemleri yardımıyla sıcak haddeleme sonucunda oluşan kalınlığının %80 oranında düşmesinin gerçekleştiği görülür (Aran ve Temel, 2003).

Bütün bu anlatılan sistem içerisinde en önemli adımlardan biri olan sistemin oluşması ve malzemenin cevher halden ya da hurda halden son nihai ürüne ulaşım hizmetimizde kullanmamızı sağlayan imalat kısmı argon oksijen dekarburizasyon aşamasıdır. Argon oksijen dekarburizasyonu (AOD) aşaması esnasında malzemenin kimyasal bileşiminde gerçekleşen malzeme oranlarının dönüşümlerinin oranları Tablo 2.2’de detaylı bir şekilde verilmiş olup bu aşamaların hangi sıcaklıklarda ve geçen süreler ile birlikte uygulanan gaz püskürtme işlemi sırasında sisteme püskürtülen argon ve oksijen gaz birleşiminin hangi durumlarda hangi oranlarda gerçekleşmesi gerektiğine detaylı olarak yer verilmiştir.

**Tablo 2.2** Argon oksijen dekarburizasyon sistemi imalat aşamaları (Lippold, 1992)

|                           | Cr   | Ni   | C     | Si  | S     | Sıcaklık (C°) | Ar/O <sub>2</sub> | Zaman (min sn.) |
|---------------------------|------|------|-------|-----|-------|---------------|-------------------|-----------------|
| <b>1. Amaç</b>            | 18.0 | 10.0 | 0.025 | 0.5 | 0.015 | 1550          | -                 | -               |
| <b>2. AOD Dönüşümü</b>    | 18.5 | 9.8  | 1.5   | 0.3 | 0.035 | 1500          | -                 | 2               |
| <b>3. Püskürtme 1</b>     | 17.8 | 10.0 | 0.4   | 0.1 | 0.03  | 1700          | 1/3               | 25              |
| <b>4. Püskürtme 2</b>     | 17.0 | 10.1 | 0.15  | -   | 0.03  | 1720          | 1/2               | 15              |
| <b>5. Püskürtme 3</b>     | 16.5 | 10.1 | 0.018 | -   | 0.03  | 1740          | 2/1               | 15              |
| <b>6. Azaltma</b>         | 18.2 | 9.9  | 0.02  | 0.5 | 0.02  | 1650          | Ar*               | 5               |
| <b>7. Desülfürizasyon</b> | 18.2 | 9.9  | 0.02  | 0.5 | 0.01  | 1625          | Ar*               | 10 <sup>t</sup> |
| <b>8. Budama</b>          | 18.2 | 10.1 | 0.02  | 0.5 | 0.01  | 1550          | Ar*               | 1               |

## 2.4. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri

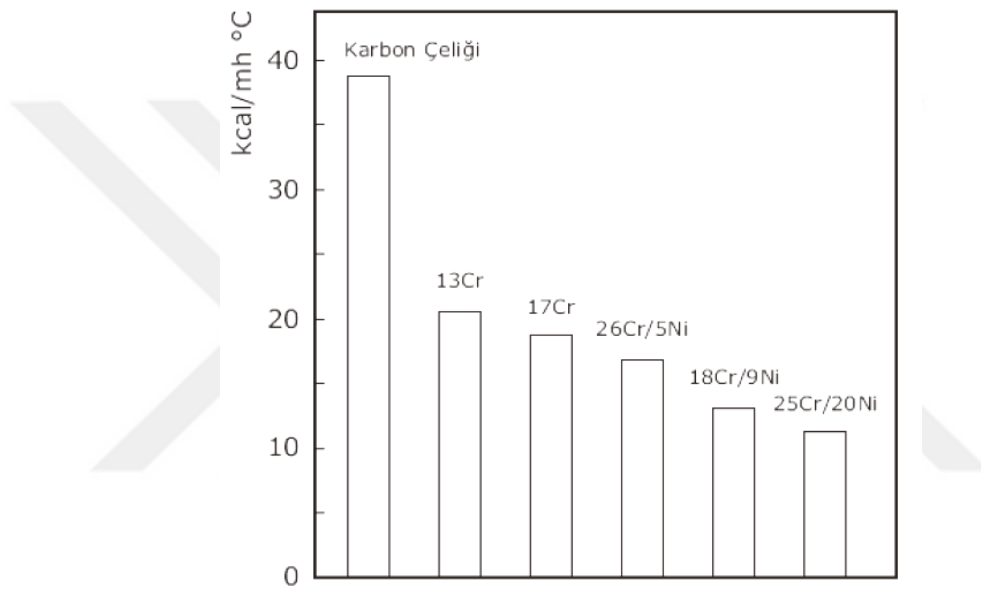
Paslanmaz çeliklere eklenen alaşım elementleri ile talaşlı imalat özelliklerini, kaynaklanabilme özelliklerini, korozif ortam dayanımını ve uygulandığı sektörlerin arttırılabilmesini sağlar. Eklenen bu alaşım elementleri paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerine direkt etki eder. Paslanmaz çeliklerin elektrik iletkenliği ve ısıl geçirgenlik değerleri karbon çeliklerine göre daha düşüktür. Karbon çeliklere göre termal iletkenlikleri daha azdır. Paslanmaz çeliklerde elektrik özdirenci diğer çeliklerde daha çoktur. Östenitik paslanmaz çeliklerin termal genleşme katsayısı karbon çeliklerin yarısından fazladır. Ferritik paslanmaz çeliklerin, elektrik iletim katsayıları östenitik paslanmaz çelik türlerine göre %20 oranında, özgül ısıl dirençleri ise %10 oranında daha azdır. Paslanmaz çeliklerin tamamının elektriksel direnci alaşım elementi içermeyen çeliklere göre 4 ile 7 kat oranla daha çoktur. Bundan dolayı paslanmaz çeliklerin kaynak prosesi esnasında kullanılan elektrotlara %25 oranında düşürülmüş akım şiddetiyle kullanılır. Tablo 2.3 bize paslanmaz çelik türlerine ait ayrı ayrı fiziksel özelliklerini göstermektedir.

**Tablo 2.3** Paslanmaz çelik türlerinin sahip olduğu fiziksel özellikleri

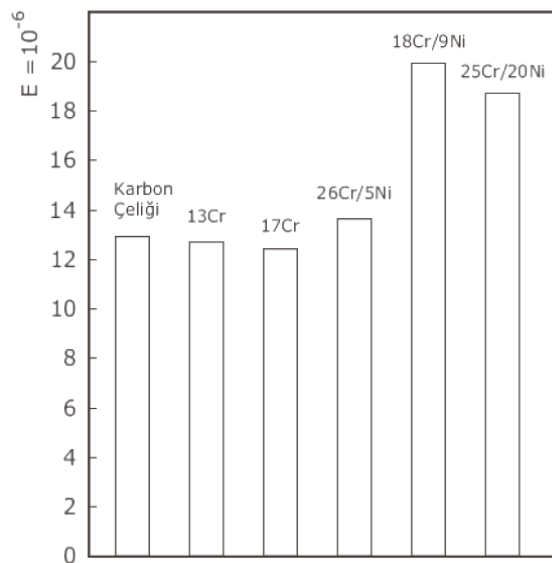
| Fiziksel Özellikler              | Östenitik Paslanmaz Çelikler | Ferritik Paslanmaz Çelikler | Martenzitik Paslanmaz Çelikler | Çökelme ile Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler |
|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|
| Elastisite Modülü (GPa)          | 195                          | 200                         | 200                            | 200                                          |
| Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )    | 8.0                          | 7.8                         | 7.8                            | 7.8                                          |
| Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C) | 16.6                         | 10.4                        | 10.3                           | 10.8                                         |
| Isıl İletkenlik (W/mk)           | 15.7                         | 25.1                        | 24.2                           | 22.3                                         |
| Özgül Isı (j/k °K)               | 500                          | 460                         | 460                            | 460                                          |
| Elektriksel Direnç (πΩcm)        | 74                           | 61                          | 61                             | 80                                           |
| Manyetik Geçirgenlik             | 1.02                         | 600-1100                    | 700-1000                       | 95                                           |
| Ergime Aralığı (°C)              | 1375-1450                    | 1425-1530                   | 1425-1530                      | 1400-1440                                    |

Tüm paslanmaz çelik türlerinin fiziksel özellikleri Tablo 2.3'te elastisite modülü, yoğunluk, ısıl genleşme katsayısı, ısıl iletkenlik, özgül sıcaklık, elektriksel direnç, manyetik geçirgenlik ve ergime aralığına ait verilere yer verilmiştir.

Tabloda belirtilen bu değerler çoğu mühendislik ihtiyacı için yeterli olmayabilir. Bundan dolayı ihtiyaç duyulan paslanmaz çeliğe ait daha fazla ve detaylı bilgiye ihtiyaç duyulduğunda paslanmaz çeliklere ait olan ısı iletkenlik direnci karbonlu çeliklerden farklı değerlerdedir. Örnek verilecek olursa yüksek krom ihtiva eden paslanmaz çeliklerin ısı iletkenlik kabiliyeti karbon çeliklerinin yarısına yaklaşık olarak eşittir. Östenitik paslanmaz çelik türlerinde ise bu durum daha net bir şekildedir, ısı iletkenlik yeteneği karbon çeliklerinin 1/3 değeri kadar daha azalmaktadır (Şekil 2.20). Böyle bir durumda kaynak işlemi esnasında gerçekleşen ısının kaynak alanında daha fazla süre duracağı ve nedenle bazı dirençler ile karşı karşıya geleceği anlaşılmaktadır.

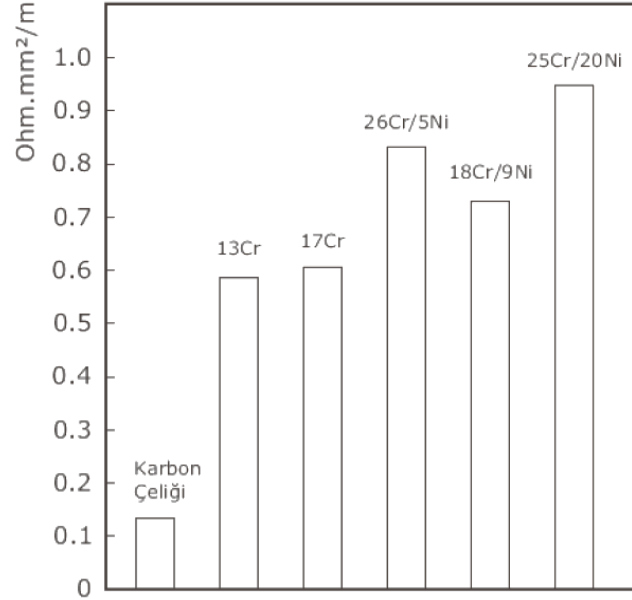


**Sekil 2.20** 20–100°C sıcaklıklarda farklı paslanmaz çelik türlerinin ve karbon çeliklerinin ısı iletim grafiği



**Sekil 2.21** 20–800°C sıcaklıkta paslanmaz çelik türleri ve karbon çeliğinin de uzama davranışı

Yüksek krom içeren paslanmaz çelik türleri genel olarak karbon içeren yapı çeliklerine benzer genleşme katsayısı değerine sahiptirler. Östenitik paslanmaz çelik türlerindeyse bu durumdaki veri karbonlu çeliklerin yarısından fazladır (Şekil 2.21). Bir mühendis en az kaynak işlemini gerçekleştiren personel kadar bu verilerin ne anlama geldiğini bilmek zorundadır.



Şekil 2.22 20°C sıcaklıkta paslanmaz çelik türleri ile karbon çeliğinin özgül elektrik iletme dayanımı

Herhangi bir alaşım elementi içermeyen karbon çeliklerinin elektriksel iletim dayanım değeri azdır. Paslanmaz çeliklerdeyse bu değer karbon içeren çeliklerden 4 ile 7 kat arası daha fazladır (Şekil 2.22). Bundan dolayı paslanmaz çeliklerin örtülü elektrotları konvansiyonel elektrotlardan hızlı bir şekilde kızarırlar. Paslanmaz çelik için üretilen elektrotların alaşım içermeyen ve düşük oranlı alaşımlardan oluşan demir elektrotlarından uzunluğu daha kısa olarak üretilmelerinin ve %25 daha az akım şiddetiyle yüklenmesinin başta yatan nedenidir (Odabaş, 2004).

## 2.5. Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Genel anlamda malzemelerin etkisi altında kaldığı gerilmelerin malzemenin biçim ve şeklini tamamen değiştirmesi malzemenin mekanik davranışına bağlıdır. Malzemenin şekillerinin kalıcı olarak ne zaman değiştirilebileceğini öğrenmek aşırı derecede önemli bir durumdur. Malzemelerin mekanik özellikleri sadece kimyasal bileşim elementleri ve atomların kristal yapısıyla alakalı olmayıp aynı zamanda içyapılarının ve tane büyüklüklerinin durumu ile alakalıdır.

Malzemenin mekanik özelliklerinden, şekil değiştirme davranışı ile dayanımı en önemli özelliklerinde olup, malzemenin kırılma davranışıyla bilinmesi gerekmektedir. Paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri, çeliğin türüne, şekline ve boyutuna bağlı olarak değişiklikler gösterir. Tamamen ferritik paslanmaz çeliklerin iç yapısında %18-%30 oranlarında krom elementi bulunur ve kritik dönüşüm sınırları içermez. Piyasa türü çeliklerde karbon elementi miktarı krom ihtiva eden çeliklerden fazla olmasına karşın gözle görülebilecek boyutta sertlik oluşumu görülmez. Ferritik paslanmaz çeliklerde fazla karbon elementi miktarı, tane boyutlarını daraltıp, gevrek kırılma eğilimi düşürdüğü için yararlıdır. Fakat martenzitik ve ferritik tür paslanmaz çeliklerde karbon oranı %1,1 değerinin altında kalmamalıdır. Bu sayede çatlak oluşum meyili düşük olan ısıtılma işlemleri etkisine kalmış alanda sertlik azalmış durumda olur. Ferritik paslanmaz çelikler, yapıları gereği tek faza sahip türler olduğu için ısıtılma işlemi uygulanamaz halledirler, uygulanırsa dahi ısıtılma işlemi karşı bir tepki oluşturmazlar. Ferritik paslanmaz çelik türleri yüksek ısıya sahip ortamlarda genel olarak sünek bir yapıya sahip olup 100°C sıcaklığın altında gevrek özelliktedirler. %3-%14 oranları arasında krom ihtiva eden paslanmaz çeliklerin mekanik davranışları, kopma dayanımı, akma sınırı, elastikiyet ve sertlik özellikleri ısıtılma işlemi ile birlikte değiştirilebilir iken; daha fazla oranda krom elementi ihtiva eden paslanmaz çeliklerde ise bu davranışlar yalnız mekanik işlemler uygulanarak değiştirilir. %23-%25 oranlarında krom elementi içeren paslanmaz çelikler 500-900°C sıcaklıkları arasında belli bir zaman boyunca ısıtıldığı takdirde, içeriğindeki sigma faza bağlı gevrek bir yapı oluşur ve yine 375-550°C sıcaklıkları arasında uzun bir süre boyunca çeliğin ısıtılması ve bu sıcaklıklar arasında yavaş bir şekilde soğutulması da gevrekleşme oluşumuna neden olur. Uygun tavlama yöntemi ile birlikte bu duruma gelmiş paslanmaz çeliklerin sünekliği dengelenebilir (Kanbolu, 1996).

## **2.6. Paslanmaz Çeliklerde Korozyon**

### **2.6.1. Korozyon tanımı**

Metallik malzemelerin ortamda bulunan elementlerle kimyasal veya elektrokimyasal tepkimeye girmelerinden sonra metalin yapısının olumsuz şekilde bozulması olayına korozyon denir. Korozyon olayı metalin içinde yer aldığı çevredeki farklı elementlerle temas haline geçerek elektron transferinin gerçekleştiği tepkimeler ile oluşur. Metaller ortamda bulunan oksijen elementine elektron vererek gerçekleşen tepkimeler ile metal oksit oluşumu gerçekleşir. Yüksek sıcaklıklarda oksidasyon belirgin

hale gelir ve bu durumda meydana gelen ürün tufal olarak adlandırılır. Elektrokimyasal korozyon genellikle farklı kısımlarda meydana gelen iki kısmi tepkime ile gerçekleşir. Paslanmaz çeliklerde diğer metallerden daha fazla elektrokimyasal korozyon durumu gerçekleşebilmektedir. Elektrokimyasal korozyon olayının gerçekleşebilmesi için her iki kimyasal tepkimenin de elektrik yüklerinde değişim olması gerekmektedir. Gerçekleşen bu elektriksel yük iletimi elektronların iletilmesi ile gerçekleşir iken metal malzemenin dış kısmında akım elektrolit üzerinden iletilir. Elektrolitler genelde sıvı çözeltiler halindedirler ve genellikle toprakta ve tuz eriyiklerinde de iyon transferi gerçekleşebilir. Bir elektrolitin korozyon esnasında gösterdiği etki, içinde bulundurdu iyonların çözünen madde miktarı ile su içerisindeki çözünen madde miktarına oranı ile belirlenir (Temel, 2004).

**Tablo 2.4** Paslanmaz çeliklerin farklı ortamlardaki korozyon dirençleri

| Paslanmaz Çelik Türleri      | Ortamlar             |                     |                |                | Tatlı Su | Tuzlu Su | Toprak | Kimyasal Çözeltiler |
|------------------------------|----------------------|---------------------|----------------|----------------|----------|----------|--------|---------------------|
|                              | Endüstriyel Bölgeler | Denizcilik Alanları | Şehir Alanları | Kırsal Alanlar |          |          |        |                     |
| Östenitik Paslanmaz Çelikler |                      |                     |                |                |          |          |        |                     |
| 201                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          | 3      | 7                   |
| 202                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          | 3      | 7                   |
| 205                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          | 3      | 7                   |
| 301                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          | 3      | 7                   |
| 302                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          | 3      | 7                   |
| 302B                         | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          | 3      | 7                   |
| 303                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          | 3      | 7                   |
| 303Se                        | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          | 3      | 7                   |
| 304                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        | 3        | 3      | 7                   |
| 304H                         | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        | 3        | 3      | 7                   |
| 304L                         | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        | 3        | 3      | 7                   |
| 304N                         | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        | 3        | 3      | 7                   |
| 305                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          | 3      | 7                   |
| 308                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          | 3      | 7                   |
| 309                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        | 3        | 3      | 7                   |
| 309S                         | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        | 3        | 3      | 7                   |
| 310                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        | 3        | 3      | 7                   |
| 310S                         | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        | 3        | 3      | 7                   |
| 314                          | 5                    | 2                   | 1              | 1              | 1        |          |        | 7                   |
| 316                          | 3                    | 1                   | 1              | 1              | 1        | 3        | 1      | 7                   |

**Tablo 2.4** Paslanmaz çeliklerin farklı ortamlardaki korozyon dirençleri (Devam)

|                                                                                                                                                                                         |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 316F                                                                                                                                                                                    | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 7 |
| 316H                                                                                                                                                                                    | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 7 |
| 316L                                                                                                                                                                                    | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 7 |
| 316N                                                                                                                                                                                    | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 7 |
| 317                                                                                                                                                                                     | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 7 |
| 317L                                                                                                                                                                                    | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 7 |
| 321                                                                                                                                                                                     | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 7 |
| 321H                                                                                                                                                                                    | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 7 |
| 329                                                                                                                                                                                     | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 7 |
| 330                                                                                                                                                                                     | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |   | 3 | 7 |
| 347                                                                                                                                                                                     | 5 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 7 |
| 347H                                                                                                                                                                                    | 5 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 7 |
| 348                                                                                                                                                                                     | 5 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 7 |
| 348H                                                                                                                                                                                    | 5 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 7 |
| 384                                                                                                                                                                                     |   | 2 | 1 | 1 | 1 |   | 3 | 7 |
| 1- Paslanma veya leke oluşumu gözlenmez                                                                                                                                                 |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2- Az miktarda paslanma görülür, karıncalanma görülmez                                                                                                                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3- Az miktarda paslanma görülür, karıncalanma görülür                                                                                                                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4- Yüzey üzerinde pas oluşumu gözlemlenir                                                                                                                                               |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5- Yüzey paslı ve karıncalanma gözlemlenir                                                                                                                                              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6- Paslanma ve karıncalanma yoğun miktarda görülür                                                                                                                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7- Kimyasal ortamlardaki korozyon olayı aşındırıcı çözeltinin türüne, yoğunluğuna ve birçok etkenle birlikte farklılıklar gösterir. Bu ortamlar için daha detaylı bir tarama gereklidir |   |   |   |   |   |   |   |   |

Korozyona karşı direncinin paslanmaz çeliklerde yüksek olmasının sebebi çeliğin yüzeyinde oluşan ince oksit film tabakasının bir sonucu olduğu bilinir. Bu oksit film tabakasının bileşimi alaşım metalinin kimyasal bileşiminde bulunan element oranlarına ve geçirdiği işleme üretim işlemlerine göre değişiklik gösterebilir. Oksit film tabakası sürekli olarak kendini onarır gözeneksiz ve çözünmezdir. Bu oksit film yapısının bozulması durumunda bulunduğu ortamdaki oksijen elementi ile birlikte kendini yeniler ve yeni bir film tabakası meydana gelir.

Pasiflik, pasif oksit film tabakasının alaşımda varlığı ile oluşan korozyona karşı dirençliliği ifade eder. Bu durum sürekli sabit kalmaz, belirli koşul ve ortamlarda meydana gelir. Paslanmaz çeliklerde pasiflik ortam koşullarındaki en ufak değişikliklerde bozulabilir bu durum çeliklerde pasifliğin sürdürülebildiği ortamın dar ya da geniş olduğu anlamına gelir. Pasifliğin bozulduğu durumlarda paslanmaz çelikler normal çeliklerin

davranışını sergilerken pasiflik durumunda asil metallerin davranışlarındadırlar. Paslanmaz çeliklerin normal hali pasif olup, sadece oksitleyiciliği az olan koroziif çözeltilerin bulunduğu ortamlarda aktifleşme durumu gözlenir. Tüm bunlardan dolayı pasiflik durumunun bozulmaması adına oksijen ihtiva eden ortamların varlığında çeliklerin bulundurulması çok önemlidir. Bu durumun uygulanmadığı ortamlarda bölgesel korozyonların oluşumu gözlemlenir örnek verecek olur isek deniz suyuna maruz kalan çeliklere aralık tipi korozyon olayı gerçekleşebilir.

Koroziif ortamda bulunan çözeltilerin paslanmaz çeliklerin yüzeyinde hareket halinde olması ve hızlanması, ortamda bulunan çözeltili içerisinde çözülmüş halde bulunan oksijen elementinin paslanmaz çelik ile bağlantıya geçiş süratini artırır ve hız yükseldikçe elektrokimyasal tipi korozyon meyili düşer. Fakat yükselen hız ile birlikte erozyon ve kavitasyon gibi mekanik özellik etkileri yükselir ve yeni film tabakasının meydana gelmesinin önüne geçildiği gibi bir de eski film tabakası da yok olabilir. Bundan dolayı korozyon gerçekleşme ihtimali belirli bir sınıra kadar düşer ve daha sonra tekrar yükselir. Korozyon oluşum sınır hızının değeri, çeliklerin kimyasal bileşimi, ısı, çözeltili oranı ile diğer ortam etkileri ile orantılıdır (Tablo 2.4).

Paslanmaz çelikler korozyon direnci ya iyidir ya da kötüdür. Bunun nedeni ise metal oksit film tabakası yok ise çelikler iyi koroziif dayanımında olmazlar ve pasif film tabakasının korumasının sağlanamadığı ortamlarda hızlı bir şekilde çözümler gerçekleşir. Bundan dolayı korozyon direnci kötüdür.

Çelik üzerindeki pasif film tabakasının bölgesel olarak bozulmasında da benzer durumlar oluşur. Böyle bir durum oluşur ise pitting, aralık, taneler arası ve gerilme tipi korozyon türleri gerçekleşebilir. Sonuç vahim durumlar ile sonuçlanabilirken metalin ufak bir bölümünde korozyon ilk olarak gerçekleşeceği için bu durumu fark edilip müdahale edilmesi gerekir.

## **2.6.2. Korozyon oluşumuna etki eden etkenler**

### **2.6.2.1. Kimyasal bileşimin korozyon oluşumuna etkisi**

Paslanmaz çeliklerde gerçekleşme ihtimali olan korozyona karşı direncin varlığı malzemenin kimyasal bileşiminde ihtiva edilen krom elementi ile orantılıdır. Bileşim içerisinde bulundurulmuş krom elementi miktarı arttıkça koroziif direnç yükselecektir. Aynı zamanda malzeme yüzeyinde gerçekleşecek pasif film tabakasının oluşma hızı da bileşim içerisinde bulunan krom elementi miktarı ile ilişkilidir. Kimyasal bileşim içerisinde nikel

elementinin ihtiva edilmesi oksijen elementi içermeyen ortamlarda dahi korozyon direncini artırır. Aynı zamanda nikel elementi malzemenin diğer mekanik davranışlarını da iyileştirir. Mangan elementi östenit mikroyapıyı kararlı yapma konusunda en etkili elementlerden olup korozyon dayanıma bir katkıda bulunmaz. 200 serisi paslanmaz çeliklerde östenitik mikroyapıyı oluşturacak gerekli olan nikel elementinin belirli bir orandaki kısmı yerine mangan elementi kullanılır. Molibden elementi ise halojen tuzlar ve deniz suyunda oluşacak kısmi korozyon direncine çok olumlu katkılarda bulunur. Bileşime molibden elementi ihtiva edilmesi durumunda oluşan pasif film tabakası bazı ortamda malzemenin kullanımında korozyon direncini yükseltir.

#### **2.6.2.2. Uygulanan ısı işlemlerin korozyon etkisi**

Farklı olarak ısı işlemlere tabi tutulan paslanmaz çeliklerin bu işlemler bittiği zaman içyapılarında değişikliklerin oluşması paslanmaz çeliklerde korozyon direncine etkisi oldukça yüksektir. Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim içerisinde ihtiva edilen karbon elementinin tamamının çözülmüş durumda bulunması ve homojen olarak tek fazda bir iç yapının oluşumu durumunda paslanmaz çeliklerde korozyon direnci en üst seviyededir. Kararlı bir yapı haline ulaştırılamamış östenitik yapıdaki paslanmaz çelikler 550°C ve 850°C sıcaklıkları arasındaki sınır sıcaklıklarda sınırlandırılır ise bazı ortamlarda oda sıcaklıklarında dahi tane sınırlarınca uzanan bir sınırdaki korozyon meydana gelir. Taneler arasında gerçekleşen bu korozyon olayı, meydana gelen krom karbürlerinin tane sınırlarında birikmesi ve tane sınırlarına yakın kısımlardaki bileşim içerisindeki krom element oranının erimesi dolayısı ile gerçekleşir. Kimyasal bileşimde içerisinde bulundurulmuş karbon oranının azaltılması paslanmaz çelikte karbürleşme ihtimalini ve taneler arasında gerçekleşecek olan korozyon oluşum olayını en aza indirebilir.

Element içerisinde karbon miktarı haricinde bu sınır ısı değer bölgelerinde bulundurulma zamanı da oldukça önemli bir konudur. Bu sınır sıcaklıklarında karbür çökelme olayı çok hızlı bir şekilde gerçekleşir. Örneğin kaynakla gerçekleştirilen birleştirmeler esnasında kaynak metali ve ana malzemenin korozyona uğraması gerçekleşmez iken kaynaktan dolayı ısı tesiri etkisi altında kalan kısımda kritik sıcaklıkların oluşumu söz konusu olduğu bölgede bu sıcaklıklar çok kısa bir süre varlığını sürdürse dahi korozyon oluşumu gerçekleşir. Bu durumun yaşanmaması adına, tavlama ısı işlemi uygulanmış ve stabilize hale getirilmiş paslanmaz çelik türlerinden olan 321 ve

347 serisi paslanmaz çelikler ya da en az karbon elementi ihtiva eden 304L ve 316L serisi paslanmaz çelik tiplerinin kullanılması önem arz eder.

Tane sınırları arasında gerçekleşecek olan korozyon olayına karşı dayanıklı bir duruma gelen paslanmaz çeliklerin mekanik davranışlar büyük değişiklikler göstermemektedir. Fakat taneler arası korozyon olayın meydana gelmesi durumunda diğer malzeme özelliklerinde olumsuz durumlar gözlenir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin atmosferde korozyona uğramamaları ve korozyon dayanımlarının artırılması için türüne göre bir ısıtıl işleminden geçirilmeleri gerekmektedir. Bu çelikler genel olarak sertleşmiş hale getirilecek en yüksek korozyon dayanımı gerçekleştirilir. 375°C'nin altında gerçekleştirilen temperleme işlemi, suvarma gerilimlerini düşürür ve tokluk ile sünekliği olumlu yönde iyileştirir. Bu sırada korozyon dayanımında bir azalma gözlemlenmez. Fakat 375°C ve 560°C sıcaklıkları arasındaki temperleme ısıtıl işleminden uzak durulmalıdır. Bunun en baştaki nedeni bu işlem esnasında malzemenin korozyon dayanım ve tokluğu azalır.

Ferritik paslanmaz çelik türlerinde korozyon dayanımı bazı ısıtıl işlem uygulamalarından kötü etkilenebilir. Bundan dolayı %10 ve %29 oranları arasında krom elementi ihtiva eden sertleştirileme işlemi görmeyen türlerin kaynak işleminden sonra tavlama görmesi uygundur. Östenitik paslanmaz çeliklerde bu durum, stabilize olmuş ya da bileşimlerinde düşük oranda karbon elementi içeren serilerin tercih edilmesi ile ortadan kalkabilir.

Östenitik paslanmaz çeliklerde krom ve nikel elementel ağırlığın bulunduğu serilere uygun olarak ısıtıl işlem uyguladığımızda ortaya çıkan ürün birçok farklı korozyon ortamda pasiflik özelliklerini koruyarak korozyon direnci ve mekanik davranışlarını korurlar. 1040°C ve 1150°C sıcaklıkları arasında östenitik metaller ısıtıldıktan hemen sonra hızla soğutulurlar ise korozyon dayanım özellikleri en yüksek seviyeye ulaşır. Böylece östenitik çeliğin sahip olduğu iç yapı homojen bir hal alır. Üründe çarpılmayı önlemek ve haddelemeden sonra oluşan tufalin temizlenmesini daha kolay bir hale getirmek için bu ısıtıl işlem aralığının düşük sıcaklık sınırına yakın yapılması uygun olur.

Hızlı bir şekilde soğutma işlemi önem arz etmektedir. Küçük parçalar atmosfer ortamında soğutulabilirken büyük ebatlı malzemeler ise sulu soğutulur. Malzemeyi taneler arası gerçekleşecek olan korozyondan tam anlamıyla koruyacak bir formül yoktur. Çünkü bunu önleyecek malzemenin şekil ve kalınlığı haricinde kimyasal bileşimde bulunan karbon elementi oranına ve krom elementi harici karbür yapıcı elementlerin

oranına bağılıdır. Malzemenin kritik sıcaklık değerleri arasında geçirdiği süre soğutma hızından çok daha önemli olup bu sıcaklık değerlerinin ara değerlerinde birkaç dakika içerisinde malzemenin alınıp uç sınır değerlerinde tutulmasına eşdeğer bir etki oluşturmaz. Bazı durumlarda malzemeye soğuk sekil vermek, malzemenin korozyon direncini aşağıya çeker. Fakat bu durum özeldir ve malzemenin kimyasal bileşimi ile birlikte soğuk şekillendirmenin durumuna, malzemenin içyapısının homojenlik durumuna ve ortama bağlı olarak farklılık gösterir. Örneğin malzeme yüzeyine soğuk şekilde markalama uygulanması durumu gibi malzemeye bölgesel olarak soğuk işlemler uygulamanın malzeme üzerinde etkileri olumsuzdur.

#### **2.6.2.3. Kaynak uygulamasının korozyon etkisi**

Paslanmaz çeliklerin kaynağında korozyon etkisinin nasıl olacağını belirleyen birçok parametre ve eten bulunmaktadır. Aslına bakacak olursak proses esnasında tüm parametreler korozyon oluşum oranını belirleyici durumda olur. Kaynak sırasında yapılan kaynağın birim uzunluğuna düşen ısı miktarı ana etkindir. Elektrik ark kaynak yönteminde uygulanan yüksek kaynak ilerleme hızı uygulaması ile ısı girişi alçak durumdadır. Gaz eritme kaynak yöntemleri paslanmaz çeliklerde yüksek ısı işlem ile birlikte karbür oluşturma ihtimali oluşturduğundan kullanımı tercih edilmez.

#### **2.6.2.4. Yüzey kalitesinin korozyon etkisi**

Paslanmaz çeliklerin kullanım ömrünü arttırmak için yüzeylerinin durumu çok önemlidir. Yüzey pürüzsüzlüğü ve temizliği korozyon oluşturma ihtimallerini en aza indirir. Pürüzlük bulunduran malzeme yüzeylerinde bölgesel olarak oluşabilecek korozyona tuz, toz, nem gibi etkenlerin malzemenin yüzeyine tutunması daha kolay olduğu için neden olur. Bunun önüne geçebilecek yegâne çalışma yüzeye polisaj uygulayarak pürüzsüzlüğü en aza indirmektir.

Parlatma işlemi uygulanan paslanmaz çeliklerin üzerinde bu işlem uygulandığında kullanılan yağ kalıntıları oluşur. Bu yağlar, alkalın temizleyiciler ya da hidrokarbon esaslı solventler ile temizlenebilir, fakat bu işleminden sonra bu temizleyici maddeler malzeme üzerinden tamamen yok edilmedir. Yüzey üzerinde gerçekleşen kirlenmeler, kesme işlemi ve derin çekme işlemi esnasında da gerçekleşebilir. Talaşlı imalat esnasında kesicilerden malzeme yüzeyine sağlanan ya da üzerinde kalan küçük parçacıkları malzeme üzerinden giderilmezse bölgesel korozyonlara sebep olabilir. Bu talaşların malzeme üzerinden giderilmesi için en uygun madde yaklaşık %20 oranında

nitrik asit bulunduran 50°C ve 60°C sıcaklıkları arasında bir çözelti içerisinde daldırılarak uygulanır. Paslanmaz çelik yüzeylerini temizlemek için kumlama işlemleri de uygulanabilir. Bu işlem yalnızca demir bulundurmeyen silisli kumlar ile malzeme yüzeyine uygulanabilir.

#### **2.6.2.5. Seçilen tasarım ve imalat yönteminin korozyona etkisi**

Korozyonun sebep verdiği malzeme hararlarını kullanılan metal türünü değiştirmeye gerek duyulmadan birkaç tasarım değişikliği ile önlemek mümkün olabilir. Tasarım gerçekleştirilirken bağlantı detayları, çentik ve darbe etkileri dikkate alınması gereken hususlardandır. Tasarım oluşturulurken kaynaklı imalat dikişinin konumu, ebatlamanın ekonomik koşullar göz önüne alınarak yapılması ve birleştirilen metallerin birleşen bölgelerinin birbirine göre uygunluğunu dikkate alarak yapılmalıdır. Kaynak yöntemi tercihi yapılırken alın kaynağı, bindirme kaynağı uygulaması yerine seçilmelidir. Bindirme kaynağı kullanılmak zorunda ise korozyon yapıcı çözeltilere karşı ortam sızdırmaz bir hale getirilmelidir. Sızdırmazlık sağlanmaz ise aralık ya da derişiklik pili korozyon türleri meydana gelebilir. Ek plaka ekmek içim köşe kaynağıyla malzemeyi çevreleyip yapılan kaynaklardan uzak durulması gerekmektedir. Bu kaynaklı birleştirme işleminde tavlamayla giderilmesi zor olan çift eksenli gerilme oluşur. Paslanmaz çelikten üretilmiş olan bir tank, karbon çeliğinden üretilmiş bir sistem üzerine konuluyor ise yüksek ısılarda bu sistemden paslanmaz çeliğe doğru karbon yayılımı gözlemlenir. Bu durumun önüne geçebilmenin birçok yolu olduğu gibi genelde endüstride tercih edileni şu şekilde olur, paslanmaz çeliği konumlandırılacağı sisten iki malzemenin temas bölgesine başka bir paslanmaz çelik sisteme kaynaklandıktan sonra paslanmaz çelik sisteme konumlandırılmadılar. Bununla birlikte özellikle gerilmeli tip korozyon oluşum riskinin oluşması ihtimaline karşılık iç gerilmelerin en aza getirilmesi oldukça önem arz eder. Kaynak ağzlarının kastırmadan hizaya getirilip aralıkların homojen ve rijit olması ve kaynaklanacak metallerde genleşmenin sağlanabilmesi gerekmektedir.

#### **2.6.3. Paslanmaz çeliklerde gerçekleşen korozyon tipleri**

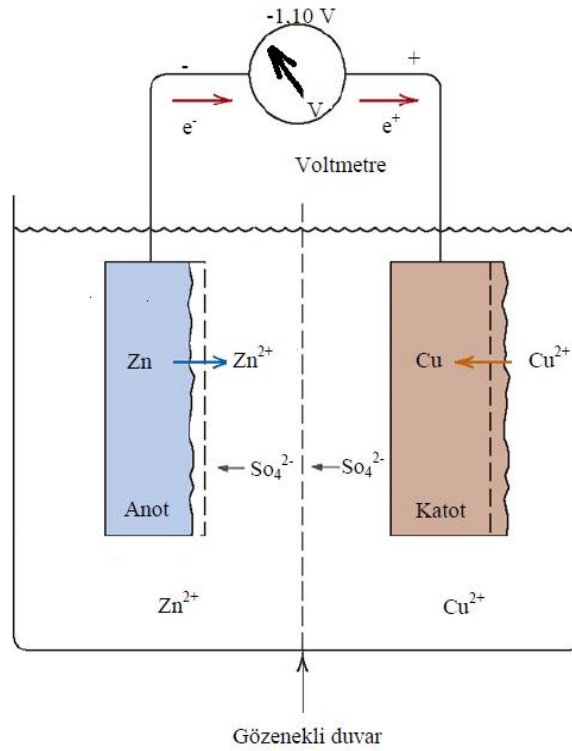
##### **2.6.3.1. Galvanik korozyon**

İki farklı çeliğin birleştirilmesinden veya birbirleri ile etkileşim oluşturmada dolayı gerçekleşen korozyon türü olup en sık rastlanan korozyon türlerindendir. Bu korozyon türünün gerçekleşmesi için korozif bir ortama gerek olmayıp her ortamda gerçekleşebilir ve sonuçları çok tehlikeli olabilir. Hazırlanmış iletken bir çözeltiye farklı

iki çelik konulduğunda potansiyel fark gerçekleşir. Korozyonun hızı anot ile katodun gerçekleşen potansiyel farkı ile alakalıdır. Çelikler birbirleri ile temas ediyorsa veya bulundukları ortamda aralarında akım oluşturuyorsalar bu çelikler arasında elektron transferi gerçekleşir. Korozyona dayanımı az olan elektron kaybeder ve anot görevi görür korozyon dayanımı yüksek olan çelik ise katot görevi görür. Katot olan çelik koroziv etkiye pek maruz kalmaz. Metaller arasındaki potansiyel farklardan dolayı korozyon aynı ortamda bulundukça devam edecektir.

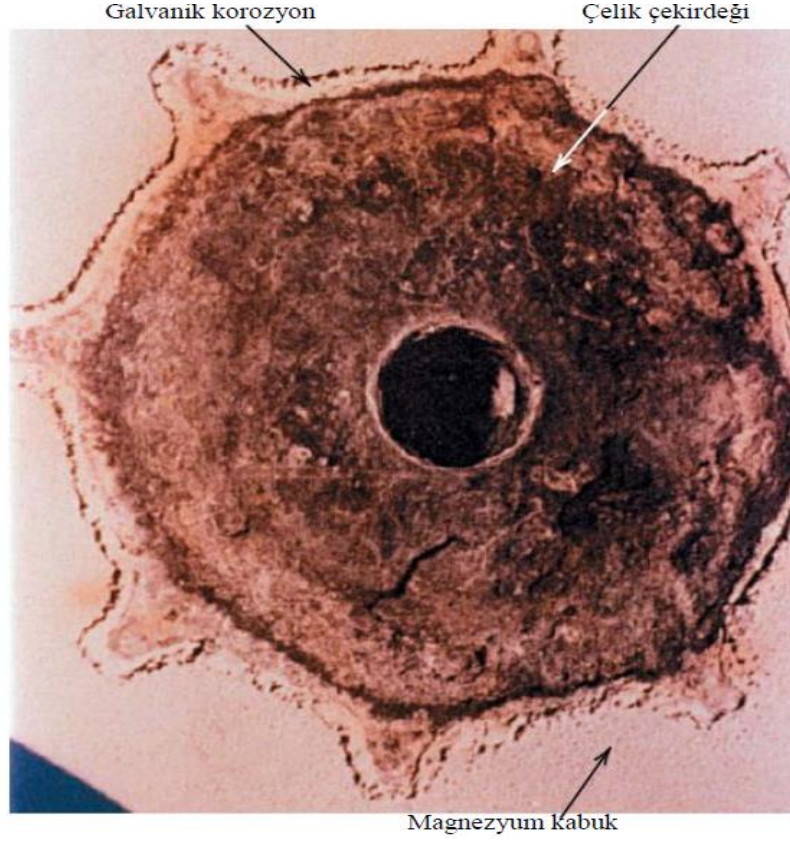
Paslanmaz çeliklerde temas eden yüzeylerin büyüklüğüne göre bölgesel korozyon uğrar. Bu korozyon türü malzemenin genelinde veya bölgesel olarak görülür. Özellikle paslanmaz çeliklerde konulduğu haznenin içerisindeki çözelti ile birlikte konumlandırılan bakır ve diğer madeni maddeler ile temas halinde olduğu için korozyona sebep verir. Paslanmaz çeliklerde oluşumuna sık karşılaşılan derişik pili elektrolite oksijen girişinin bazı kısımlarda farklı olmasından dolayı ve çeliğin yüzeyinde bulunan pasifliğin bölgesel olarak bozulmasına sebep olan havalandırma pili dir.

Şekil 2.23'te galvanik tip korozyon türünün oluşumunu göstere n bir şema karşımıza çıkmakta olup sistem şemasında anot olan metal ve katot olan metaller arasında çözelti içerisinde gerçekleşen elektron alışverişi gösterilmektedir.



**Şekil 2.23** Galvanik tip korozyon oluşumu

Şekil 2.24'te galvanik korozyonun gemilerinde kullanılan tek döngü ile çalışan sintine pompasının giriş bölümünde rastlanan galvanik bir korozyon türünün oluşumu resmedilmiştir. Metal atomlarının çekirdek çevresinde konumlanan magnezyum kabuk ile arasında galvanik korozyon oluşumu gözlemlenir.

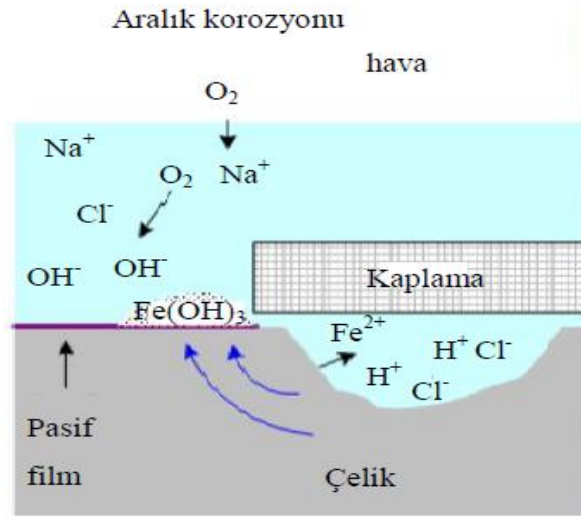


Şekil 2.24 Galvanik korozyon örneği (William and David, 2013)

#### 2.6.3.2. Aralık korozyonu

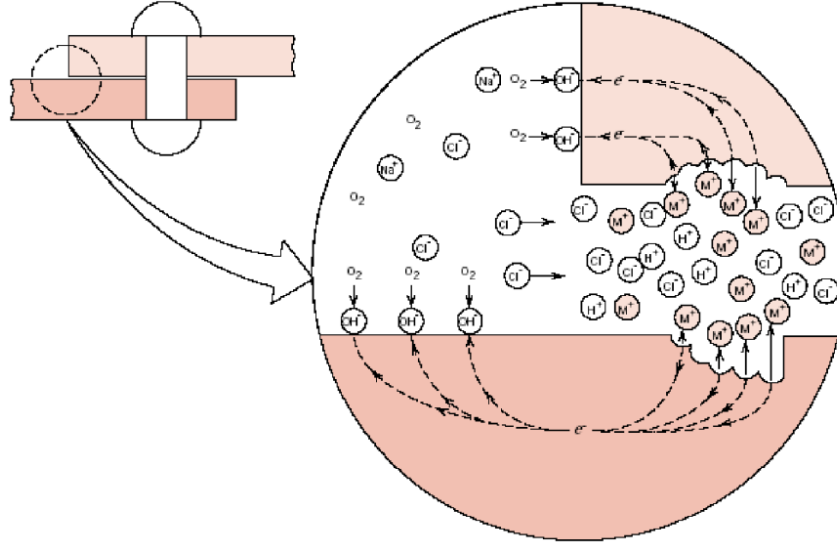
İki tür aynı ya da farklı seri paslanmaz çelik plakanın bağlandığı veya temas ettiği kısımlarda oluşan boşluklarda aralık korozyonu görülür. Havalandırılması az olan dar kısımlardaki düşük miktarlarda bulunan oksijen elementi bozulan pasif oksit film tabakasını düzeltemez ve derişiklik pili meydana gelir. Ayrıca bu kısımlarda korozyon oluşumuna hız getiren farklı tür yabancı elementlerde toplanır. Birleşim kısımları tamamen sızdırmaz hale getirilerek bu sorun kökten çözülebilir.

Şekil 2.25'te aralık tipi korozyon oluşu şeması verilmiş olup temas noktası ile metal arasında bulunan boşluktaki elektron transferi ve buna bağlı korozyon oluşumu detaylandırılmıştır.



Şekil 2.25 Aralık tipi korozyon oluşumu

Aralık tipi korozyon olayı, malzemelerin birbirleri ile teması güçlü olmayan iki temas yüzeyi arasında buluna kısımdaki bulunan boşluklardan dolayı, boşluklu kısımlarda gerçekleşen oksijen element miktarındaki değişiklikler sebebiyle meydana gelir. Paslanmaz çeliğin yüzeyi ile temas ettiği başka bir malzeme ile birleşim bölgesinde bulunan ufak bir boşluk, ufak bir çatlak, çizik veya iki metal arasında bulunan aralık içerisine ortamda olan elektrolit malzemenin boşluklar içerisine sızması güçtür. Çelik malzemelerin boşluklarında bulunan dar bölgelerde hareketsiz bir alan oluşur. Bu bölgelerde korozyonun yürüme hızı düzgün yüzeylere göre daha fazladır. Bu şekilde gelişen korozyon durumunun gerçekleşmesine çatlak korozyonu diye bilinir (Şekil 2.25). Birleşim kısımlarındaki conta malzemesinin konumlandırılmasından dolayı gerçekleşen hatalı boşluklar, çeliklerin ya da bağlantı parçalarının yüzeyinde oluşan yabancı madde, cıvata ve somun birleşimleri sırasında malzemelerin arasında bulunan boşluklar bu tip korozyonun gerçekleşmesinin önemli bir nedenidir (Şekil 2.26). Tüm farklı malzeme türlerinde gerçekleşebilme ihtimali vardır.



Şekil 2.26 Paslanmaz çeliklerde aralık korozyonu (William and David, 2013)

Tuzlu su ortamı içerisinde bulunan çelik maddelerdin bağlantılarını oluşturan perçin ile plakalar arasında oluşan boşluklarda aralık korozyonu oluşur ve bu korozyonun ilerleyişi Şekil 2.26'da gösterilmektedir.

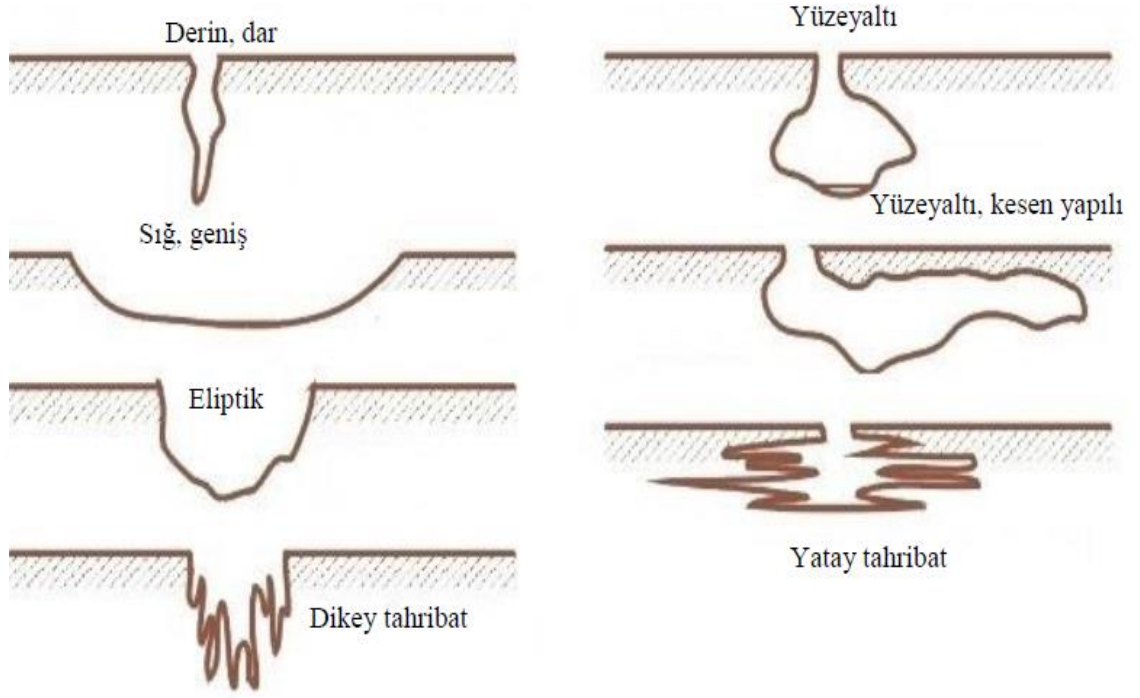
Aralık korozyon olayı yalnızca Şekil 2.26'da gösterildiği gibi klorür ihtiva eden ortamlarda değil şiddeti daha az olan sıvı çözelti içerisinde de görülebilir. Klorür içermeyen ortamların eskisi daha korozif etkisi düşük olup zararını yaklaşık bir yıl gibi bir zaman diliminde belli eder. Pasifleşebilme özelliği bulunan veya hidroksit şeklinde çökelek oluşturan çelik ya da çelik alaşımları aralık türü korozyona diğer türlerden daha fazla uğrarlar.

### 2.6.3.3. Pitting (çukur) tipi korozyonu

Yüzeylerinin tümü pasif film tabakası ile kaplı olan paslanmaz çelikler herhangi bir bölgesel korozyon oluşma durumunda bulunur ise korozyon oluşum kısmında ilerleyiş hızla gerçekleşir. Bunun nedeni katot ve anot bölgelerin arasında elektrolitik bir hücre meydana gelir ve çukur ilerlemeye devam eder. Korozif ortamda klorür ihtiva eden çözeltiler mevcut ise anot ve katot elektrolitik hücreleri korozyon ilerleyişini hızlandırır. Çeliğin kimyasal bileşiminde ihtiva edilen molibden elementi ise bu bölgesel tip korozyona karşı korozyon direncini yükseltir.

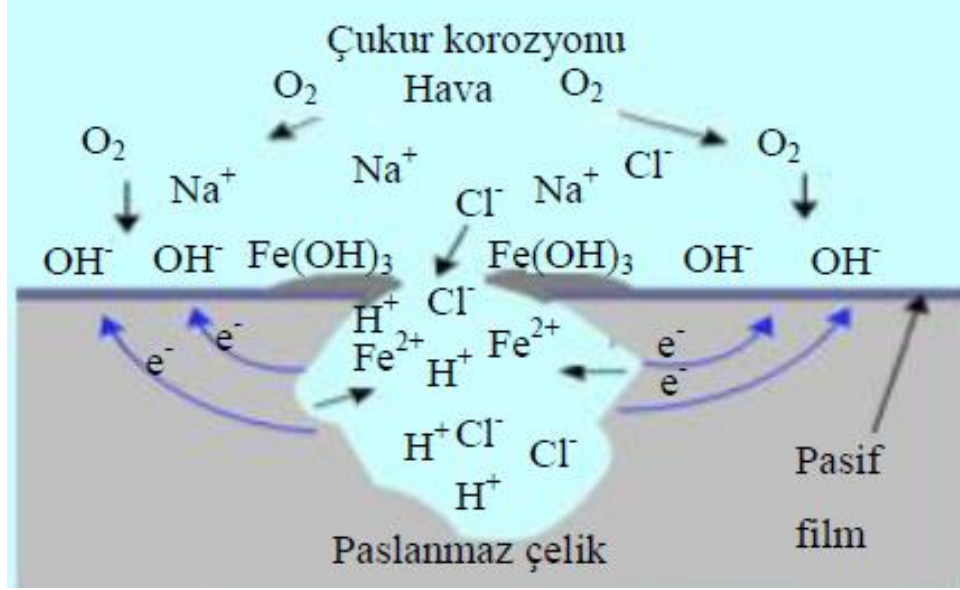
Çelik yüzeyinde yeri belli olmaksızın bir bölgede gerçekleşen korozyon olayına şekli çukura benzediği için çukur (pitting) korozyonu adı verilir. Çukur tipi korozyon genel olarak pasifleşme özelliği bulunan alüminyum ve alaşımlarında aynı zamanda paslanmaz çeliklerde meydana gelir. Farklı şekillerde nokta halinde derin çukur

oluşturarak kendini gösterir (Şekil 2.27). Genel olarak görülen çukurlar gözle görülemeyecek kadar küçük olup başlangıçta fark edilemezler. Oluşan çukurlarda derinlik ve çukur çapı birbirleri ile doğru orantılıdır.



Şekil 2.27 Farklı şekil ve ebatlarda gerçekleşen çukur korozyon tipleri

Çukur tipi korozyon olayının oluşabilmesi için korozif ortamda klorür ve bromür gibi halojen tip iyonların ihtiva edilmesi yeterlidir. Çukur tipi korozyon olayında anot ve katot tamamen ayrışarak çukur oluşturur. Katot görevi gören bölge, çukurcuğun çevresinde oluşan geniş bölge, Anot görevi gören kısım ise malzeme yüzeyinde gerçekleşen çukurcuk içerisinde bulunan dar bölgedir (Şekil 2.28). Korozyon sebebiyle meydana gelen çukurcuklar zaman içerisinde genişler ve metalin bu bölgeden başlayan ve zamanla iyice oyuk oluşmasına neden olur. Bu korozyon türü açıklanan nedenlerden ötürü paslanmaz çelik bağlantılarında gerçekleşebilecek çok tehlikeli ve gizli gerçekleşen korozyon türüdür. Korozyon bölgesinde gerçekleşen element kayıpları az olmasına rağmen metal kısa zaman içinde iyice oyulur ve delikler meydana getirerek zamanla kullanılamayacak halde olur.



Şekil 2.28 Çukur korozyonu oluşum şeması

#### 2.6.3.4. Taneler arası korozyon

Çelik içerisinde bulunan karbon elementi oranı %0,03'ten fazla olan kararsız halde bulunan östenitik paslanmaz çeliklerin 550°C ve 850°C arası sıcaklıklarda tanelerin sınırları arasında karbür birikmesi gerçekleşir ve çelikte taneler arası korozyon tipi meydana gelir.

Taneler arası gerçekleşen korozyonun bu türünü önleyebilmek adına aşağıda verilen yöntemlerin uygulanması ile korozyonu önlemek mümkün olacaktır;

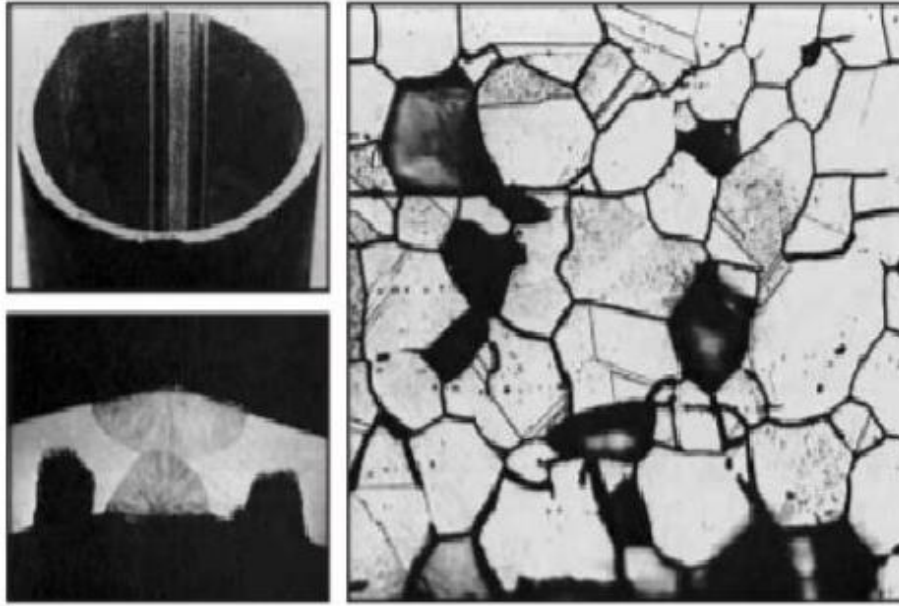
- 1040°C–1150°C sıcaklık değerleri arasında tavlama yaparak karbürleri eritme ve tekrar oluşabilmelerini engelleyecek olan hızlı bir soğutma uygulamak.
- Stabilizör görevi gören titanyum ve niyobyum elementlerini ihtiva eden paslanmaz çelik türlerini kullanmayı tercih etmek.
- Çeliklerin kimyasal bileşimleri içerisinde bulundurulmuş karbon elementi oranını azaltılarak korozyonun gelişimi önlenir.

Korozyonun bu türüne karşı malzeme dayanımını ASTM A262 kod adı verilen bir standartta yer alan bir deney uygulanarak anlaşılabilir. Atmosferde ya da az korozif element içere ortamlara taneler arası korozyon türünün oluşma ihtimali çok düşüktür. Bu ortamlarda bulunacak malzemede sıcaklıklardan dolayı karbür çökmesi oluşmayacağı için korozyona karşı ayrıca bir önlem almaya da gerek olmayacaktır.

Isı yardımıyla ergitilerek sıvılaştıran çelik dışarıdan herhangi bir dış etken etkisi altında kalmadan kendi halinde soğutulmak için bekletildiği durumda kristaller yapışık olarak katı hale geçerler. Yapısı gereği kristalleşen şekillerden oluşan tane sınır çizgileri

arasındaki bağlar birbirlerinde ayrışır. Tanelerin arasındaki temasın az olduğu bölgelerde malzemenin yapısındaki atomların yapısı düzensiz bir hal alır. Çeliklerden üretimi gerçekleştirilen maddelerin korozyona uğrama riskinin en fazla olduğu bölümler taneleri oluşturan sınırların dar olduğu atomik yapının da düzensiz bir halde bulunduğu kısımlardır. Taneler arasında gerçekleşen bu korozyon türü, taneler arasında oluşan yabancı maddelerin veya dış etken kaynaklı pislik oluşturan maddelerin tane sınıflarına temas ettiği noktalarda sebep verdiği zararlı etkenlerden dolayı meydana gelir.

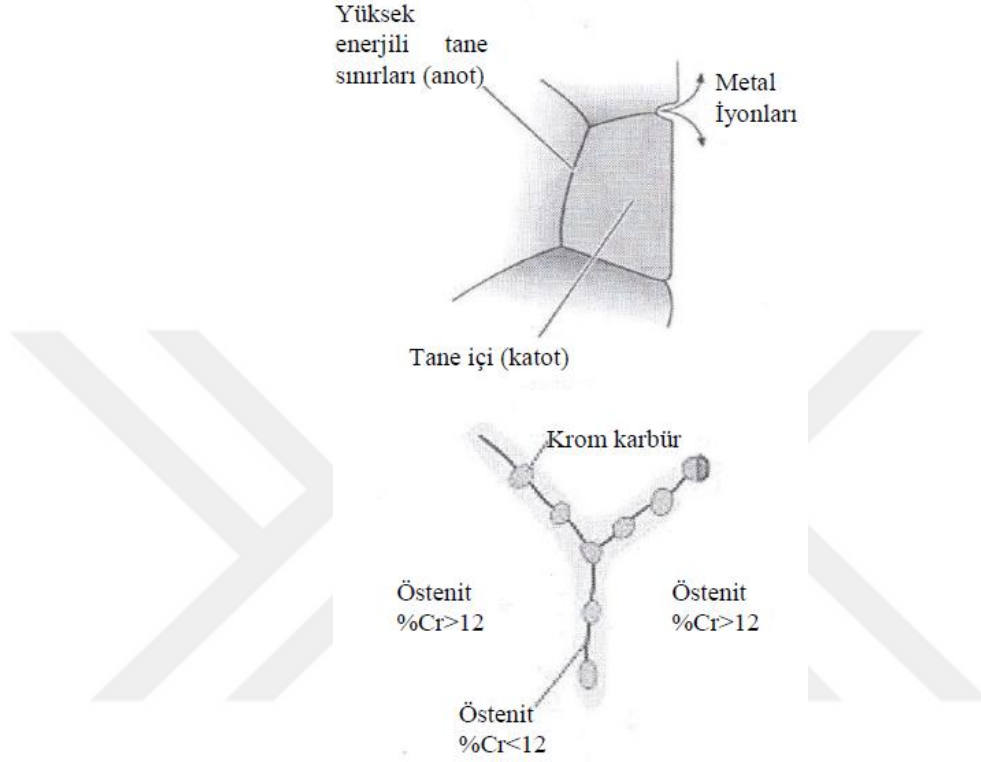
Taneler arası gerçekleşen korozyon oluşumu açısından kimyasal bileşimi içerisinde yüksek miktarlarda krom elementi ihtiva eden paslanmaz çelikler türleri özel bir duruma sahiptir. Bahsi geçen bu tür paslanmaz çeliklerin korozyon ortam dirençleri en yüksek seviyede olmasına karşın, 500°C – 800°C sıcaklıklara kadar ısı etkisi altında kaldığında korozyona uğrama riski artar. Korozyon oluşumu 650°C sıcaklığına yakın bir değerde yaklaşık olarak 1 saat civarı bekletilir ise taneler arasında krom elementi miktarı eriyerek azalacağı için korozyon kendini en şiddetli haliyle gösterir. Şekil 2.29'da paslanmaz çeliklerin bu ısı değerleri arasında gerçekleşen krom karbür çökmesi durumu incelenip gösterilmektedir.



Şekil 2.29 Paslanmaz çelik tane sınırı karbür çökmesi

Paslanmaz çeliklerde ihtiva edilen krom elementi miktarı yaklaşık olarak %12 seviyelerinde olması gerekmektedir. Ancak 500°C – 800°C sıcaklıkları arasında ısı uygulanacak ise paslanmaz çeliğin içerisinde ihtiva edilen krom elementi karbon elementi ile birlikte bir reaksiyona girerek krom karbür bileşimi oluşur. Meydana gelen bu bileşim paslanmaz çeliklerin içirişin de çözünemez ve tane sınırları arasında bulunan sınır

izgilerinde ökeliirler. Karbür ökilmesi bileşim içerisinde bulundurulan karbon elementi miktarı eğer %0,02'den yüksek olur ise gerçekleşir. Oluşan krom karbür bileşimi bu durumda korozyon gerçekleşmez. Bu kez de malzemem içerisinde kromun azalmasından dolayı bu kısım korozyona karşı dirensizleşir.



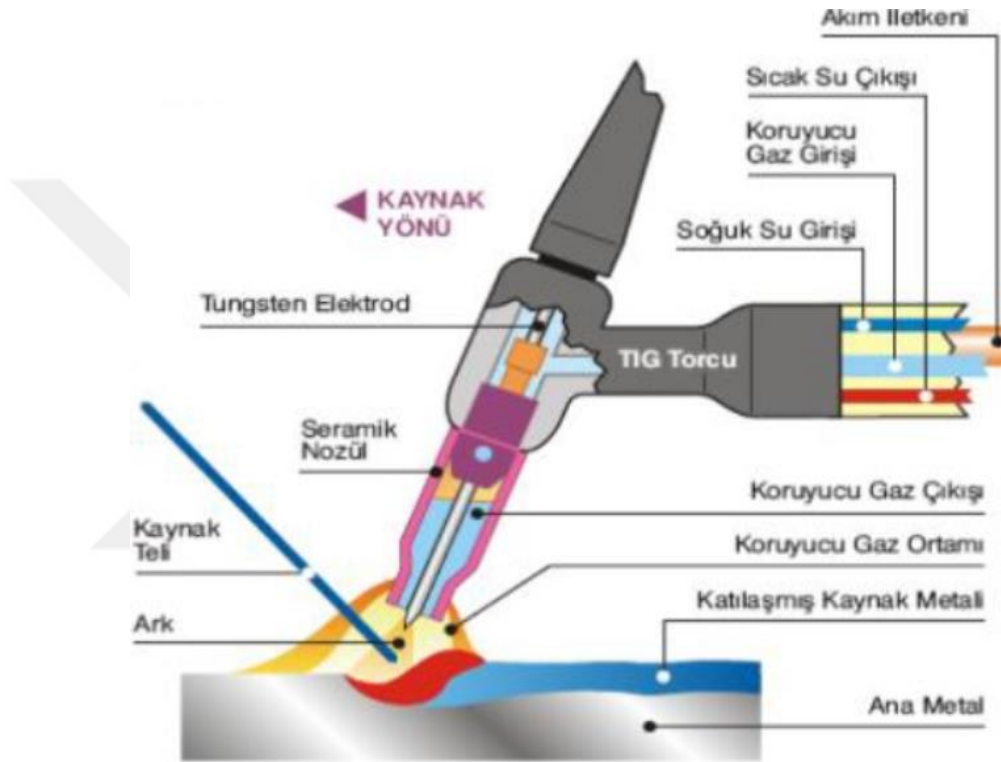
şekil 2.30 Krom karbür oluşum şeması

Kimyasal bileşimlerinde %0,06 ile %0,08 oranlarında karbona sahip paslanmaz elik türlerinde tane sınırlarında fazla miktarda krom ökeleēi meydana gelir. Oluşan bu krom karbür ökeleēi oluşum şeması şekil 2.30'da gösterilmiştir.

## 2.7. 316L Östenitik Paslanmaz eliklerde TIG Kaynak Yöntemi

Kaynak işlemi esnasında koruyucu gazın bir soy gaz olarak kullanılması ilk olarak 1930'lu yıllarda Amerika'da Hobart ve Devers'in patentini aldıēı bir yöntemdir. 1940'lı yıllarda Nortrop Aircraft şirketi tarafında uçak imalatında kullanılan magnezyum ve magnezyum alaşımlarının kaynak işlemi sırasında koruyucu gaz olarak soy gaz kullanılmıştır. İlk koruyucu gaz helyum olarak seçilmiş daha sonra 1942'li yıllarda Linder Air Products şirketi tarafından koruyucu gaz olarak helyum ve argon gazları ile metal ve farklı metal alaşımlarına kaynak uygulanmıştır.

TIG kaynağı, elektrik ark kaynağından daha yüksek teknolojiye sahip bir yöntemdir. Bu kaynak yönteminde kullanılan elektrot kaynak esnasında ergimeyen tungsten elektrot güç kaynağından iletilen elektrik akımını kaynak yüzeyin aktarır. Farklı bir element ile herhangi bir şekilde reaksiyon oluşturmayarak erimiş kaynak bölgesini ve arkı kapatıp, kaynak işlemi uygulanan kısmı atmosferde gazların bölgeye girmesini engelleyen inert gazlar kullanılır. Bu kaynak sistemine GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) "Heliarc" ya da "Argonarc" isimleri olarakta bilinmektedir. Şekil 2.31’de TIG kaynağının şematik gösterimi bulunmaktadır (Anık ve Vural, 1996).



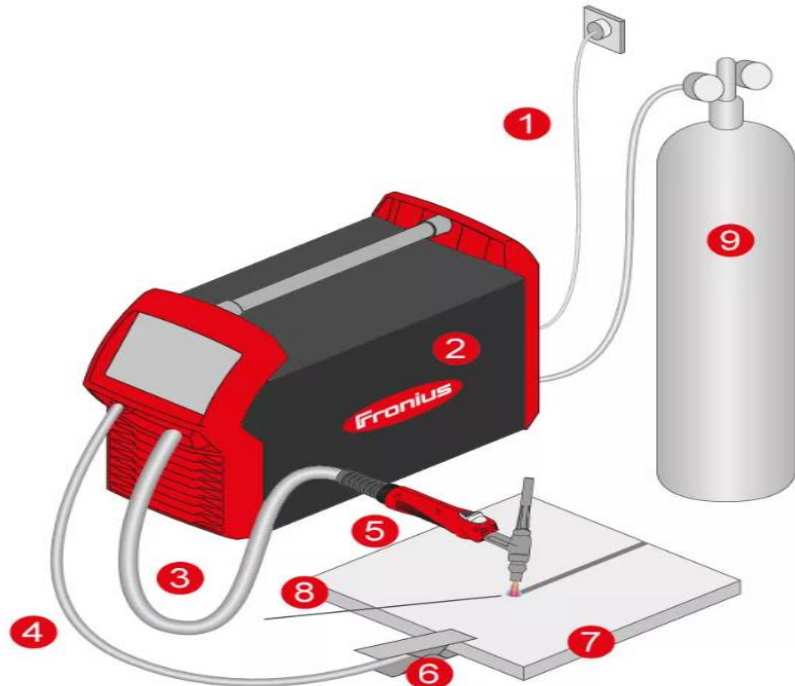
Şekil 2.31 TIG kaynağı şematik gösterimi

TIG kaynak yöntemi, diğer kaynak metotlarından daha kabiliyetlidir. Özellikle kaynak dikişleri gözle fark edilebilecek biçimde daha üstün ve iyidir. TIG kaynak yönteminde ark, ana malzeme ile tungsten elektrod arasında gerçekleşir. Enerji kaynağının bir kutbu tungsten elektroda diğer kutbu ise ana malzeme ile bağlantı kurularak elektrik devresi gerçekleştirilir. Kaynak prosesi sırasında tungsten elektrotun sıcaklığının artması ile ark oluşumunun devam etmesi için gereken elektron iletimi gerçekleştirilebilmektedir. Sistemde koruyucu gaz kullanımı için argon, helyum ya da ikisinin karışımı olarak seçilebilir. TIG kaynak yönteminde en fazla kullanılan koruyucu gaz Argon gazıdır. Tungsten elektrodunun bozulmalara karşı durumunu koruyucu gazın saflığı belirler ve bu saflık oranı en az %99,95 seviyelerinde olması gerekmektedir.

Tungsten elektrod, erimiş bölge ve ilave kaynak metalin ergimiş durumdaki uç kısmı, atmosferde bulunan farklı maddelerden elektrodun uç kısmında konumlanan nozul adı verilen bir parça ile kaynak ortamına aktarılan inert gazlar ile koruma sağlanır. TIG kaynağı esnasında ilave kaynak metali üzerine akım uygulanmaz bu ilave metalin görevi kaynak bölgesini ergiyerek alaşım yükleyip ısı ve akımdan kaynaklı eriyen metal üzerinden ayrılan elementlerin geri sisteme kazandırılıp mekanik ve mikroyapı özelliklerinin azalmasını engellemektir. Aynı zamanda kaynak bölgesinde ısı kaynaklı oluşan büzülme esnasında gerçekleşecek olan metal kaybının önüne geçer. Kaynak bölgesine ilave kaynak metali ön kısımdan, yan kısımdan, el vasıtası ile ya da bir kaynak teli sürme aparatı ile kaynak bölgesine iletilir.

### 2.7.1. TIG kaynak makinesi ekipmanları

TIG kaynağı sistemini oluşturan ekipmanlar Şekil 2.32’de ki gibidir. İçinde ergime gerçekleşmeyen tungsten elektrod bulunduran torç, torcun ucundaki bölgede içeresinden koruyucu gaz geçirerek gazı arkın gerçekleştiği bölgeye ileten nozul, torç hortum paketi, kumanda kontrol ünitesi, koruyucu gazı içerisinde bulunduran tüp, basıncı ayarlamak için bir basınç regülatörü ve akışı ölmek için debimetre, kaynak güç kaynağı ve bazı cihazlarda soğutmayı sağlamak amaçlı da bir soğutma suyu sisteminden meydana gelir.

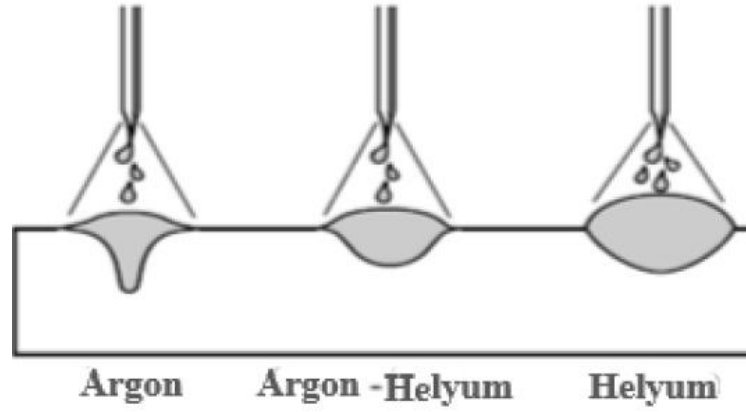


**Şekil 2.32** TIG kaynak donanımları (1) Enerji bağlantı kablosu (2) Makine güç kaynağı (3) Torç hortumu (4) Şasi bağlantı kablosu (5) Torç (6) Şase pensesi (7) Kaynak parçası (8) Kaynak teli (9) Koruyucu gaz

Kaynak makinesinin torcu içerisinde elektrot tutucu parçalarının yardımı ile tungsten elektrod sabitlenir ve akım verilir. Torcun uç kısmına konumlandırılan gaz iletimini gerçekleştiren bir nozul yardımı ile arkın gerçekleştiği bölgeye koruyucu gaz kaynak banyosu ile belirtilen bölgeye iletilir. Torc hortumunda akım kablosu, gaz iletim hortumu, bazı makinelerde soğutma suyunun giriş ve çıkış sağladığı hortum, kaynağı başlatan tetik kablosu ile bir paket halinde bulunur. Güç kaynağı gerçekleştiren donanım genellikle elektronik veya analog kontrol olarak ayarlanabilen ya da ayak pedalı yardımı ile kaynak gerçekleştirme akımın ayarlanmasına imkân veren donanımsal ürünlerdir. Güç kaynağı şebekeden alınan alternatif akım, kaynağın gerçekleştirilebilmesi için gereken amper ve voltaj miktarlarına göre ayarlanır. Kaynak personelinin malzemeye uygulanacak akıma göre ayar yaptığı doğru akım ya da alternatif akıma çevrilmesini gerçekleştiren ünitedir. Koruyucu gaz tüpü adı üzerinde koruyucu gazların depo edildiği çelik bir tüptür. Basınç regülatörü, çeşitli konumlarda manometreler ve gaz iletim hortumlarından meydana gelir. Bazı kaynak makinelerinde bulunan soğutma sistemi gaz yardımı ile soğutma ve su yardımı ile soğutma sistemleri olarak iki farklı gruptan oluşur. Su soğutmalı sistemlerde devir daim pompası, su deposu, geliş-gidiş su hortumlarından meydana gelir. Gaz yardımı ile soğutan sistemlerde ise koruyucu gaz olarak kullanılmakta olan gaz soğutma görevinde de bulunmaktadır. Ancak her kaynak için bu sistem kullanılamaz. 200 amperi aşan kaynak uygulamalarında su soğutma sistemlerini kullanmak gerekir. Şase kablosu kaynak makinesinden iletilen akımın ana metal üzerinden makinede kurulmak istenen elektriksel devrenin tamamlaması için kullanılır.

### **2.7.2. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar**

TIG kaynağı uygulamasında başlarda helyum gazı, daha sonraki zamanlarda ise argon gazı kullanımına geçilmiştir. Bahsi geçen bu iki gazda soy gazdır. Soy gazlar farklı elementler ile bir reaksiyona uğramazlar. Soy gazlar kokusuz ve renksiz olup yanma durumu gözlenmez. Helyum gazı havada bulunan gazlardan hafif olduğu için bulunduğu ortamdan hemen uçar ve koruma özelliği düşüktür. Argon gazı ise havada bulunan gazlardan ağır olduğu için erimiş metalin üzerini örter ve iyi bir koruma sağlar bundan dolayı maliyetleri düşüktür. Akımın yüksek seviyelerde uygulanması gereken durumlarda ise helyum gazını kullanmak gerekir. Bunun sebebi ise helyum gazının ark gerilimini daha fazla sağlamasıdır. Şekil 2.33'te kullanılan gazın türüne göre kaynak bölgesinde gazların kaynak banyosu üzerinde sağladıkları koruma nüfuziyet ilişkisi şekillendirilmiştir.



Şekil 2.33 Soy gazın cinsine göre kaynak bölgesinde uyguladıkları koruma

Hafif metal ve alaşımlarında kaynak işlemi uygulamasında kullanılmakta olan argon gazının saflık oranının çok yüksek olması gerekmektedir. Bu bahsedilen oran %99,99 seviyelerindedir. Gazın içinde bulunma ihtimali olan su buharı, oksijen elementi ve azot elementi saflığı bozacağı için uygulanan kaynağın kalitesini önemli ölçüde düşürür ve gözenek oluşumuna ya da çatlaklara sebep verir. Bütün bu sebeplerden dolayı paslanmaz çeliklerin ve alaşımlarının kaynak işlemi sırasında oksijen ve azot elementlerinin miktarları %0,1 ve %1,5 oranlarından daha düşük olması gerekmektedir. Argon gazı 150 ile 180 atmosfer basınçları arasında ve içerisinde 6 ve 9 metreküplük gaz bulunduran tüpler yardımı ile taşınıp sisteme entegre edilir (Anık, 1991).

*Argon;*

Argon gazı helyum gazından daha az iyonizasyon enerjisine sahip olduğu için (15,7 eV) kolay bir şekilde plazma oluşturur. Argonda ark kararlı bir şekilde ilerler yanma durgun gerçekleşir. Elektrik iletkenliği çok iyidir. Kaynak bölgesinde yüzeyde oluşan stres fazladır; sıçrama yapar ve Ark sütunu geniş ve sütunun dış kısımlarında sıcaklık daha düşük kaynağın merkez kısmında da oluşabilecek en üst seviyededir. Bu sebepten dolayı tipik argon gazı parmağı nüfuziyeti oluşturur. Gerekli olan ark gerilimi azdır ve bundan olayı kaynak bölgesine sıcaklık girişi düşer. Özellikle amorf yapıda olan ve ufak malzemelere kaynak işlemi uygulanırken argon gazı kullanılması gerekir.

*Helyum;*

Helyum bir soy gaz olmasından dolayı herhangi bir reaksiyon oluşturmaz ve bu sebepten dolayı TIG kaynak uygulamasında kaynak bölgesini koruyan renksiz ve kokusuz halde olan bir gazdır. Atmosferde helyum gazı da bulunmasına rağmen helyumu havadan ayırıştırıp kullanımını sağlamak zor bir işlemdir. Helyumun iyonizasyonu çok fazladır (24,5 eV) bundan sebeple uzun bir ark oluşumuna gerek duyar. Bu durumda da

ark geriliminin artmasına sebep verir ve kaynağın enerjisi yükselir yani kaynak bölgesine sıcaklık girişi fazladır. Kaynak bölgesinde oluşan sıcaklığın artması kaynak dikiş oluşumuna ve kaynak esnasında gerçekleşen davranışlara etkisi aşağıda belirtilmiştir (Anık ve Vural, 1993).

- Gaz nüfuziyet azalır, tipik argon gazı parmağı şekli bozulur.
- Kaynak ilerleme hızı yükselir. Ön tavlama işlemine ihtiyaç duyulmaz.
- Kaynak banyosu sıcak ve iyi bir şekilde gazı alınmış hale gelir.
- Kaynak arkı satabil değiş değişken olur.
- Kaynağın hızı artar.
- Kaynak sırasında oluşan dikiş geniş ve derin olur.
- TIG kaynağı esnasında alternatif akım ile arkın oluşmaz.
- Argon gazına oranla pahalı olduğu için ekonomik olmaz.
- Kalınlığı fazla malzemelerde kullanımı uygun olur.
- Saf helyum ya da karışım olarak kullanılabilir.

#### *Argon ve helyum gazlarının karışımı;*

Argon ve helyum gazlarının karıştırılması ile uygulanan kaynak işleminde helyumun sebep verdiği yüksek kaynak ısısı ana malzemeyi iyi şekilde ergiterek ve tam olarak iki metalin birleşmesine yardımcı olur. Kaynak banyosundaki yüksek ısı, yüzeydeki stresin azalmasına sebep olur. Bu sayede kaynak banyosunda meydana gelen sıcaklık, Helyumun karışımdaki oranının artması ile yükselir ya da azalması ile düşer. Helyumun karışımdaki oranı yükseldikçe gazın akışkanlığı yani vizkozite de yükselir. Karışımın kaynak yüzeyindeki nüfuziyeti artar, gazın ortamdan uzaklaşması için gereken zaman uzar ve böylece kaynak hızı da artar. Alüminyum, bakır alaşımlarında ısı iletkenlik fazla olduğu için kaynak banyosu gerçekleştirmek için daha fazla sıcaklık girişine ihtiyaç olur. Bu durumun oluşması için helyum gazına ihtiyaç duyulur.

#### *Argon ve hidrojen gazlarının karışımı;*

Hidrojen gazının yüksek ısı iletkenliği ile helyum gazının sahip olduğu yüksek nüfuziyet ve kaynak hızları yakın sonuçlar verir. Hidrojen molekülleri ark içinde dizasyona uğrayarak iyonize olurlar ve daha sonra tekrar birleşerek moleküler hale geçer soğuk kaynak metalinin üzerinde toplanarak ısı meydana getirir. Hidrojen karışımları genellikle daha çok TIG kaynağı uygulanan östenitik paslanmaz çelik türleri ve nikel ihtiva eden metallerdeki kullanım avantajları sebebiyle kendine kullanım alanı bulur.

### 2.7.3. TIG kaynak yönteminin avantajları

- Sıcaklık girişi fazla olmayan bir yöntem olduğu için kaynak işleminden sonra en az distorsiyon gerçekleşir. Sıcaklık küçük bir bölgede yoğunlaştığı için ısının etkisinde kalan kısım daha azdır.
- Ark sıçramasından dolayı oluşan kayıpların gerçekleşmemesi.
- Kaynak işleminden sonra cüruf oluşmaması ve temizlemeye gerek duyulmaması.
- Kaynak işlemi sırasında duman ya da herhangi bir yanma kaynaklı yabancı etken oluşmadığı için görüş engellenmez ve kaynak banyosu net bir şekilde gözlemlenebilir.
- Diğer kaynak yöntemlerine göre daha temiz bir kaynak yüzeyi elde edilir.
- Kaynakta kullanılan kaynak teli ile ana kaynak metalinin kimyasal yapıları birbirleri ne benzerdir.
- Boşluklarda dolgu ile köprüleme yapma uygulaması iyidir, borularda ve ince metallerde kök pasolarının kaynağında kullanılması idealdir.
- Kaynak işlemi bütün pozisyonlarda rahat bir şekilde uygulanabilir.
- Yavaş bir şekilde uygulanan yöntem olduğu için hata yapma ihtimali azdır.
- Diğer kaynak metotlarına göre kaynakta oluşan dikiş genel olarak daha dayanıklı olup korozif direnci daha fazladır ve kaynak alanı sünek bir yapıdadır.

### 2.7.4. TIG kaynak yönteminin dezavantajları

- Tek paso uygulanarak yapılan kaynak işlemi sırasında nüfuziyet oranı az olduğu için kalın malzemelerin kaynağı için uygun olmayan bir yöntemdir.
- 0,5-5 mm kalınlıkları arasında kalan metallerin kaynağı ekonomik olurken daha kalın metallerde sadece kök pasoları kaynaklanabilir.
- Diğer kaynak metotlarıyla karşılaştırıldığı zaman kaynak ilerleme hızının düşük kalması nedeniyle verimi daha düşüktür.
- Kaynak personelinin diğer kaynak yöntemlerini uygulayan personele göre daha becerikli olması gerekir.
- Açık ve rüzgâr alan ortamlarda koruyucu gazın tam bir koruma sağlayamayacağından dolayı kullanımı bu ortamlarda tavsiye edilemeyen bir metottur.
- Bu kaynak yönteminde kullanılan alet ve ekipmanlar diğer kaynak yöntemlerine göre daha pahalıdır (Uzunonat, 2012).

### 3. YÖNTEM

#### 3.1. Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Kaynak Yöntemi

Günümüzde dünya genelinde ve ülkemizde başta sağlık, gıda, denizcilik ve otomotiv sektöründe malzeme dayanımı uzun ömrü ve korozyona karşı gösterdiği direnç gibi birçok iyi karakteristik özelliğe sahip paslanmaz çelik sınıfında yer alıp östenitik paslanmaz çelik türleri arasında EN'ye göre 316L kalite sınıfı paslanmaz çelikler geniş bir kullanım alanına sahiptirler. 316L paslanmaz çelikler bulunduğu tür çelikler arasında da oldukça olumlu mekanik davranışları ve kaynaklı birleştirme yöntemlerine verdikleri iyi cevaplar ile diğer paslanmaz çelik türlerinden daha fazla kullanılmaktadırlar (Topcu, 2019).

Bu çalışmada deneyisel çalışmalar kapsamında hazırlanan numuneler de üstün özellikleri ve kaynak kabiliyetleri nedeni ile 316L östenitik paslanmaz çelikler olmuştur. Tablo 3.1'de bu tür paslanmaz çeliklerin içerdikleri kimyasal bileşimler yer almaktadır.

**Tablo 3.1** Deneyisel çalışmada kullanılan 316L östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

| Kalite | C    | Mn | P     | S    | Si | Cr    | Ni    | Mo  |
|--------|------|----|-------|------|----|-------|-------|-----|
| 316L   | 0,03 | 2  | 0.045 | 0,03 | 1  | 16-18 | 10-14 | 2-3 |

316L Paslanmaz çelik numunelerin kaynağı için; kaynak işlemi esnasında ve sonrasında sağladığı avantajlar ve imalat kolaylığı sağlayan tungsten inert gaz yani kısaltılmış adı ile TIG kaynak yöntemi ile argon gazı kullanılarak tüm numunelerin kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

Deneyisel çalışma sırasında Fimer TT205 İnverter AC-DC marka TIG kaynak makinesi kullanımı tercih edilmiştir (Şekil 3.1).



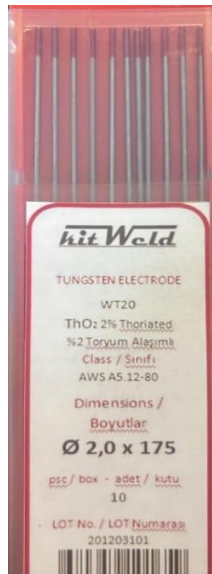
**Şekil 3.1** Deneyisel çalışma için kullanılan TIG kaynak makinesi Fimer TT205 İnverter AC-DC

**Tablo 3.2** Deneysel çalışmada kullanılan TIG kaynak makinesi Fimer TT205'in özellikleri

|                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Ürün                      | TT 205 İnverter AC/DC               |
| Marka                     | Fimer                               |
| En Fazla Güç – MMA        | 3,8 KWA 16 A                        |
| En Fazla Güç – Tig DC     | 3,2 KWA 16 A                        |
| En Fazla Güç – Tig AC     | 3,2 KWA 16 A                        |
| Giriş Voltajı             | 230 V                               |
| Boştaiken Çalışma Voltajı | 85 V                                |
| Akım Aralığı-MMA          | 5 - 170 A                           |
| Akım Aralığı-Tig DC       | 5 200 A                             |
| Akım Aralığı-Tig AC       | 5 – 200 A                           |
| Çalışma Verimi-MMA        | %35–170 A / %60-135 A / %100- 110 A |
| Çalışma Verimi-Tig DC     | %35-200 A / %60-180 A / %100- 155 A |
| Çalışma Verimi-Tig AC     | %35-200 A / %60-175 A / %100- 145 A |
| Ağırlık                   | 16 Kg                               |
| Ölçüleri                  | 270 * 600 * 450 mm                  |
| Elektrod Çapı             | 1,5 - 4 mm                          |

Tablo 3.2’de deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan kaynak makinesinin özelliklerine yer verilmiştir.

Tungsten elektrot kırmızı ve çap 2 mm olarak seçilip kullanılmıştır (Şekil 3.2). Tungsten elektrod, TIG kaynağı ile birleştirme yönteminde akımı ileten ve kaynak esnasında arkı gerçekleştiren malzemedir. Farklı türlerde üretilebilir ve standart olarak uluslararası AWS ve ISO standartlarında belirtilir.



**Şekil 3.2** Deneysel çalışma için kullanılan TIG kaynağı tungsten elektrotu

Deneyisel çalışmalar kapsamında numune paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirilmesi işlemi için, korozyona karşı dayanıklı çeliklerin TIG kaynağı ile birleştirme yönteminde kullanılan ER316L TIG östenitik kaynak telinin 2 mm çapında olanının kullanımı tercih edilmiştir. İçerdiği düşük karbon miktarı sayesinde 800°C'lere kadar tufalleşmeye dirençlidir ve 400°C'lere kadar da çalışmasına imkân verir. Genellikle gemicilik, kimya, gıda, boya, tekstil, tank ve mutfak eşyaları gibi sektörlerde kullanılmak için üretilmiştir. Tablo 3.3'te kullanılan kaynak telinin kimyasal bileşenleri verilmiştir.

**Tablo 3.3** Deneyisel çalışmada kullanılan ER316L kaynak telinin kimyasal bileşimi

| Kalite  | C      | Mn    | P      | S      | Si       | Cr    | Ni    | Mo  | Cu     |
|---------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-----|--------|
| Er 316L | ≤ 0,03 | 1-2,5 | ≤ 0,03 | ≤ 0,03 | 0,3-0,65 | 18-20 | 11-14 | 2-3 | ≤ 0,75 |

**Tablo 3.4** Deneyisel çalışmada kullanılan ER316L kaynak telinin mekanik özellikleri

| Mekanik Özellikler | Çekme Dayanımı (MPa) |         |         |        | Kırılma Uzaması A (%) |         |         |  |
|--------------------|----------------------|---------|---------|--------|-----------------------|---------|---------|--|
|                    | ≥ 490                |         |         |        | ≥ 30                  |         |         |  |
| Kalınlık Ø(mm)     | 0,8                  | 1       | 1,2     | 1,6    | 2                     | 2,5     | 3,2     |  |
| Akım (A)           | 70~150               | 100~200 | 140~220 | 50~100 | 100~200               | 200~300 | 300~400 |  |

Tablo 3.4'te ilave kaynak tel malzemesine ait bazı mekanik özellikler ve telin kalınlığına göre ihtiyaç duyulan kaynak akımı verilmiştir. Çalışma için kullanılan ER316L Ø2 mm TIG kaynak telinin görseli Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



**Şekil 3.3** Deneyisel çalışma için kullanılan ER316L TIG ilave kaynak teli

Tablo 3.5'te deneyisel çalışma için kullanılan kaynak parametreleri ve kaynak tipleri belirtilmiştir.

**Tablo 3.5** Deneysel çalışmada kullanılan kaynak parametreleri

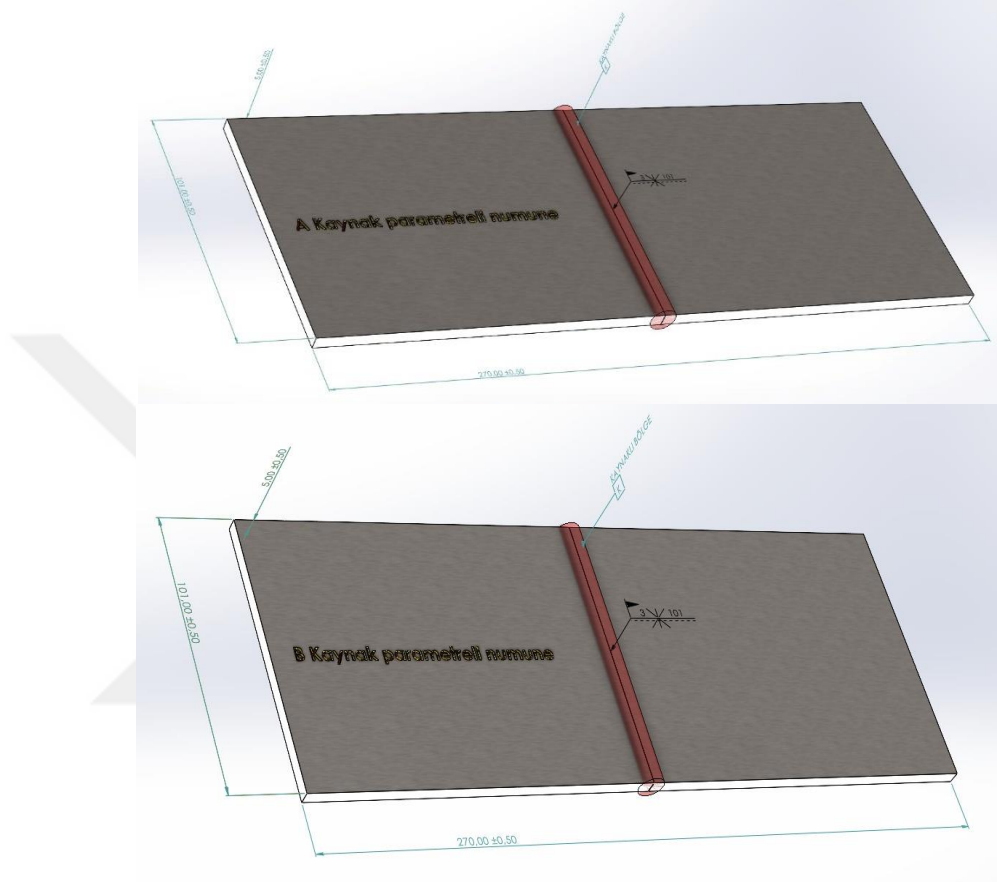
|                               | Kaynak Türü | Kaynak Tipi        | 1. ve 2. Malzeme | Akım (A)                      | Voltaj (V) | Tel Verme Hızı (mm/s) | Kaynak Kalınlığı (mm) |
|-------------------------------|-------------|--------------------|------------------|-------------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|
| A                             | TIG         | X kaynak ağzı Alın | 316L             | 120                           | 12.4       | 2,95                  | 5                     |
| B                             | TIG         | X kaynak ağzı Alın | 316L             | 100                           | 12.4       | 2,95                  | 5                     |
| Kaynak Makinesi Marka / Model |             |                    |                  | Fimer / TT 205 İnverter AC/DC |            |                       |                       |
| Standart Elektrod Tipi / Çapı |             |                    |                  | Kırmızı Tungsten / 2 mm       |            |                       |                       |
| İlave Kaynak Teli / Çapı      |             |                    |                  | ER316L / 2 mm                 |            |                       |                       |
| Nozul Çapı                    |             |                    |                  | 7.9 mm                        |            |                       |                       |
| Koruyucu Gaz                  |             |                    |                  | Argon                         |            |                       |                       |
| Kaynak Altlığı                |             |                    |                  | 316L Plaka                    |            |                       |                       |
| Ortam Koşulları               |             |                    |                  | Oda sıcaklığı                 |            |                       |                       |

### 3.1.1. Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan numunelerin hazırlığı

Deneysel çalışma için seçilen malzeme cinsi 316L olup 135x101x5 mm ebatlarında toplam 8 adet malzeme fiber lazer kesim makinesinde kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tüm diğer etkenler standart şekilde uygulanacak olan kaynak işlemi için iki farklı şekilde 120 amper ve 100 amper olarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için 2'şer adet aynı sac plaka 120 ve 100 amper kaynaklanması için her iki sac yüzüne 2 mm kaynak ağzı açılarak X kaynak ağzı oluşturulmuştur.

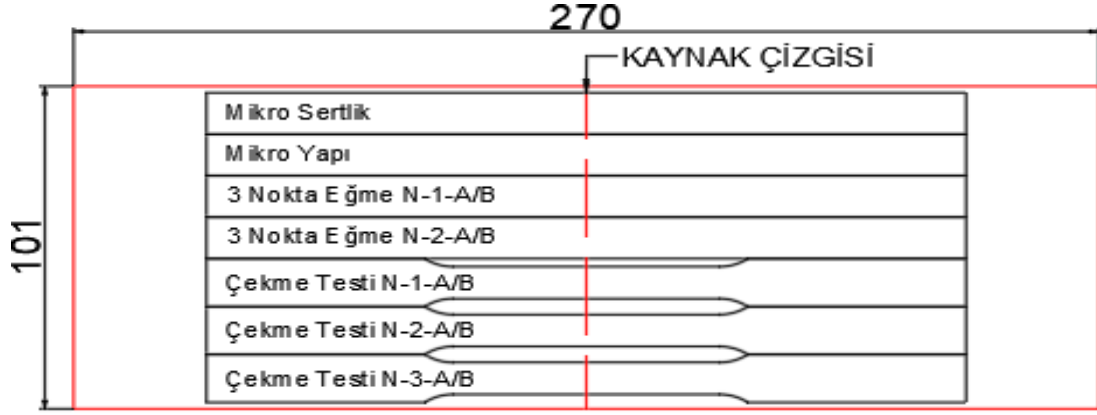
**Şekil 3.4** Fiber lazer kesim makinesinde kesilip kaynak için hazırlanan plakalar

Şekil 3.4'te kaynak işlemi için hazırlanmış 316L malzemeler görülmektedir. Bu numuneler 120 ve 100 amper akım parametrelerinde kaynaklanan 2 mm çift kaynak ağzı açılmış numunelerin birleştirme işleminden sonra kaynaklı olan bölümleri %50 saf su ve %50 HCL çözeltisi ile oluşturulan havuzda yabancı maddelerin uzaklaştırılarak temizlenmesi sağlanmıştır.



**Şekil 3.5** 120 (A) ve 100 (B) amper kaynak parametreleri için numunelerin 3 boyutlu çizim ile anlatımı

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi kaynak işlemi uygulanacak numuneler bilgisayar ortamında 3 boyutlu modellenmiş olup 101 mm ölçüye sahip kenarlarından araları 1 mm boşluk kalacak şekilde 1 kök 1 dolgu olacak şekilde ilave ER316L tel ile kaynaklandıktan sonra kaynak bölgesi zımparalanıp temizlenmiştir. Daha sonra çekme, 3 nokta eğme, mikro sertlik ve mikro yapı analizleri için numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerin hazırlığı için kesim görüntüsü Şekil 3.6'da çizilmiştir.



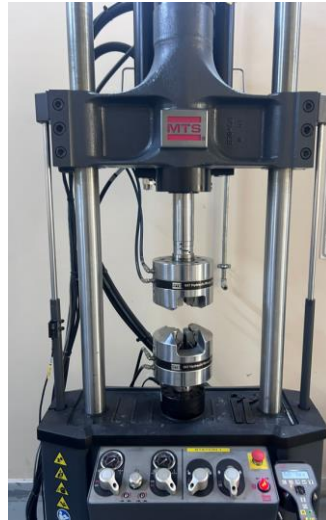
Şekil 3.6 Mekanik davranışların incelenmesi için numune yerleşimi

### 3.2. Çekme Testi

Bu çalışmada kaynaklı Birleşimi gerçekleşmiş metal malzemeler için TS EN ISO 4136 standardında çekme testi gerçekleştirilmiş olup uygulanan bu standart alın kaynağı ile birleşimi gerçekleştirilmiş numunelerin test cihazına enine bir şekilde yerleştirilerek numunelerin çekme direncinin ve kopma noktasının ölçülmesini ve deney prosedürlerini kapsamaktadır (Topcu, 2019). Çekme testi belirli yük aralıkları ile numune üzerinde sürekli bir çekme uygulanarak kopana kadar oda sıcaklığında 120 amper ve 100 amper akım ile birleştirilmiş 3'er adet numuneye 1 mm/dk ilerleme hızında uygulanmıştır.

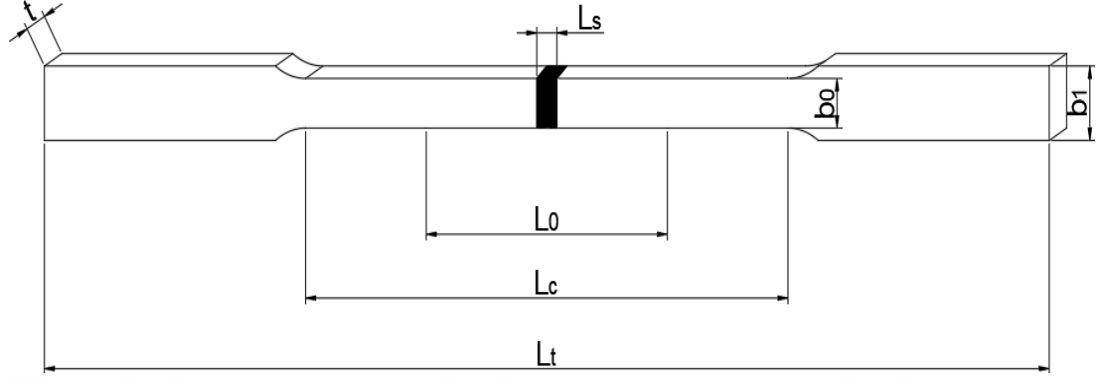
Bu test sonunda her parametreden test esnasında oluşabilecek hataları en aza indirmek amacı ile 3'er adet hazırlanmış numune için kaydedilen değerlerin ortalaması alınarak birleştirme işleminin hangi akım parametresi ile gerçekleştirilmesinin daha doğru olduğunu belirlememize yardımcı olmuştur.

Çalışma kapsamında kullanılan çekme testi makinası MTS 370.10 olup 100 kN kuvvet kapasitelidir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Çekme test cihazı MTS 100kN

Alın kaynağı ile birleştirilen numunelerin test için ölçülerinin belirlenmesi için hesap yapılırken cihazın kapasitesine göre numuneyi koparabileceği en fazla ve en düşük yüzey alanına göre yapılmalıdır. Şekil 3.8’de TS EN ISO 4136 standardına göre kaynaklı metal malzemelerin çekme testi için hazırlanan numune çizimi verilmiştir.



Şekil 3.8 Çekme testi için numune ölçüleri

Tablo 3.6’da 316L paslanmaz çelik için oda sıcaklığında sahip olduğu mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.6 Deneysel çalışmada AISI 316L oda sıcaklığında mekanik özellikleri

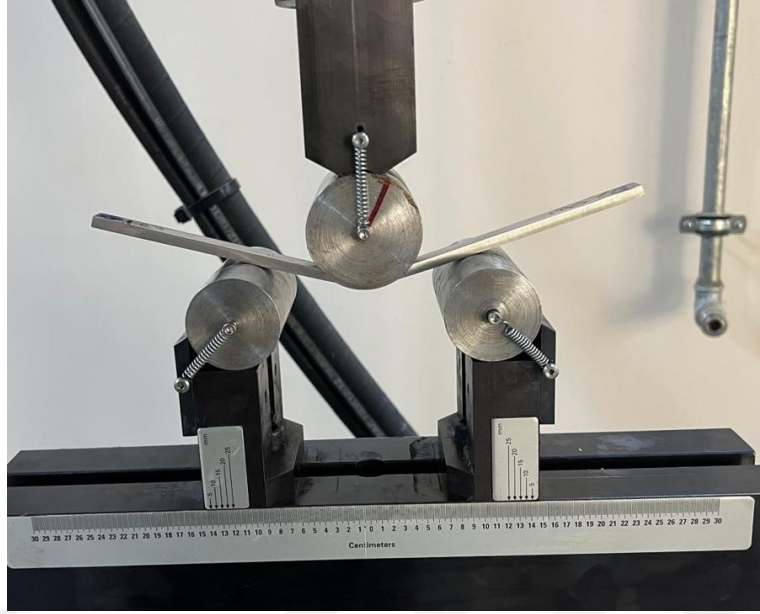
| Oda Sıcaklığında Mekanik Özellikler |         |
|-------------------------------------|---------|
| Malzeme                             | 316L    |
| Kopma Dayanımı                      | 485 MPa |
| Akma Dayanımı (%0.2)                | 170 MPa |

### 3.3. Üç Nokta Eğme Testi

Eğme testi 2 adet destek üzerine serbest bir biçimde yerleştirilen kaynak ile birleştirilmiş dikdörtgen kesite sahip numunelerin orta noktası üzerinden gerçekleştirilen bir kuvvet ile numune üzerinde oluşan şekil değişimi ile gözlemlenmiştir. Bu testin yapılış amacı 120 ve 100 amper ile kaynaklanan numunelerin kaynak bölgelerinde gerçekleşen baskı ile 180° eğme sonucu deformasyonu ve kaynağın bükülme hızına etkisini anlayabilmektir. Sonucunda malzemenin en doğru kaynak akımını seçebilmektir.

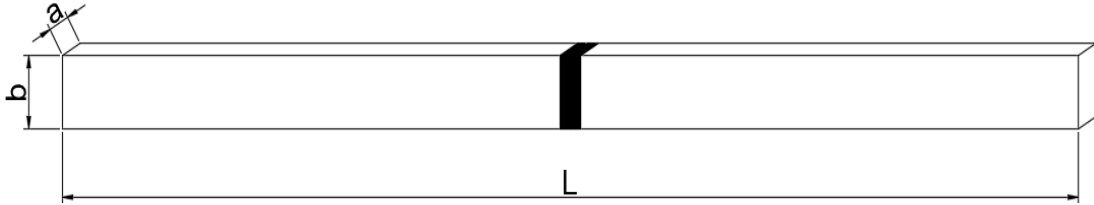
Bu çalışmada 3 nokta eğme testi 40 mm çapına sahip 2 alt top ve 50 mm çapında üst baskı topu ile gerçekleştirilecek olup mesnetler arası mesafe 70 mm’dir. 180° “U” şeklinde dakikada 5 mm ilerleme hızı ile eğilerek deformasyon ve büküm hızları gözlemlenmiştir. Kullanılan test cihazı MTS 370.10 olup 100 kN kapasiteye sahiptir (Şekil 3.7). Sürekli yükler altında 5mm/dk ilerleme hızı ile uygulanmıştır.

Şekil 3.9’da eğme testinin uygulanış biçimi gösterilmiştir.



**Şekil 3.9** Üç nokta eğme testi uygulaması biçimi

Çekme testinde olduğu gibi 3 nokta eğme testinde de cihaz kapasitesine göre bükülebilecek kesitte 120 ve 100 amper kaynak parametresinde kaynak işlemi gerçekleştirilen plakalardan ISO 5173 standardına göre hazırlanmış olan numuneler test esnasında oluşabilecek hataları en aza indirmek için 2'şer adet toplam 4 numune fiber lazer kesim makinesinde kesilerek hazırlanmıştır (Şekil 3.10). Her 2 ayrı kaynak parametresi kaydedilen değerlerin ortalaması alınmıştır.



**Şekil 3.10** Üç nokta eğme test numunesi ölçüleri

### 3.4. Mikrosertlik Ölçüm Yöntemi

Bu çalışma için TIG kaynak yöntemi ile 2 farklı kaynak parametresinde hazırlanmış olan 316L numuneler HWMMT-X3 test cihazı ile vickers sertlik ölçüm yöntemiyle numunenin kaynak kesiti üzerinden ana malzeme, kaynak geçiş bölgesi ve kaynak bölgesinden belirli aralıklar ile 3'er adet 200 gf yük altında uygulanan kuvvetler ile sertlik değerlerinin ölçümü gerçekleştirilmiş olup her iki parametre için ölçülen değerlerin ortalaması üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmada numunenin yüzeyine sırası ile 180, 320, 600, 800, 1000 ve 1200 kum zımpara uygulanarak zımparalama işlemi gerçekleştirilerek yüzey pürüzlülüğü giderilip kaynaklı malzemeler parlatıldıktan sonra saf su ve HCL çözeltisi ile dağlanmıştır.

Test cihazının görüntüsü Şekil 3.11’de belirtilmiştir.



Şekil 3.11 HWMMT-X3 Vickers sertlik ölçüm cihazı görüntüsü

### 3.5. Mikroyapı İncelemeleri

Kaynaklanmış 2 adet malzemenin farklı 2 kaynak parametresi ile birleştirilmesi sonucunda oluşan ITAB bölgesinde farklı deformasyonlar gerçekleşir. Kimyasal bileşim oranları da bölgesel olarak değişiklik göstereceğinden tane sınırlarında da değişiklik gözlemlenmesi olağandır (Topcu, 2019).

Bu çalışmada test için hazırlanan numuneler 120 ve 100 amper kaynak akımında TIG kaynağı ile Ø2 mm tungsten elektrot ile argon gazı altında 316L malzemeler ve Ø2 mm ER316L ilave kaynak teli ile kaynaklanmış 2 parçanın arasındaki mikroyapı farklılıklarının tespit edilip sonuç kısmında yorumlanmıştır. Bunun için 120 amper kaynak parametresinde kaynaklanmış numuneden 1 adet ve 100 amper kaynak parametresinde kaynaklanmış numuneden 1 adet kesilmiş parçalar Olympus CX21 optik mikroskopunda gözlemlenebilmesi için kaynaklı numunelerden kesilen parçalar sırası ile 180, 320, 600, 800, 1000 ve 1200 kum zımpara ile zımparalandıktan sonra keçe ve cila

yardımı ile parlatılmıştır. Parlatılma işleminden sonra elde edilen parlak paslanmaz malzemeler 40 ml saf su ve 120 ml HCL ile hazırlanan çözelti içerisinde 1,2 amper 3,8 volt altında 15 saniye elektroliz edilerek dağlanmıştır.

Şekil 3.12’de ki Olympus CX21 optik mikroskop ile görüntü alma çalışmaları yürütülmüş olup analiz çalışmalarının sonucunda hangi akım değerinin 316L paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ile kaynak yönteminde uygun olduğunu anlamamıza yardımcı olmuştur.



Şekil 3.12 Olympus CX21 optik mikroskop

## 4. BULGULAR

### 4.1. Çekme Test Sonuçları

Bu çalışma için 2'şer adet 316L plaka alın altına kaynak ağzı açılarak TIG kaynağı ile 120 amper ve 100 amperde kaynatılmış olup TS EN ISO 4136 standardına 3'er adet numune fiber lazer kesim makinesinde kesilerek hazırlanmıştır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de numuneler gösterilmiştir. Test cihazına enine yerleştirilen numunelerin oda sıcaklığında çekme testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.1 Çekme testi için 120 amperde hazırlanmış 3 adet numune



Şekil 4.2 Çekme testi için 100 amperde hazırlanmış 3 adet numune



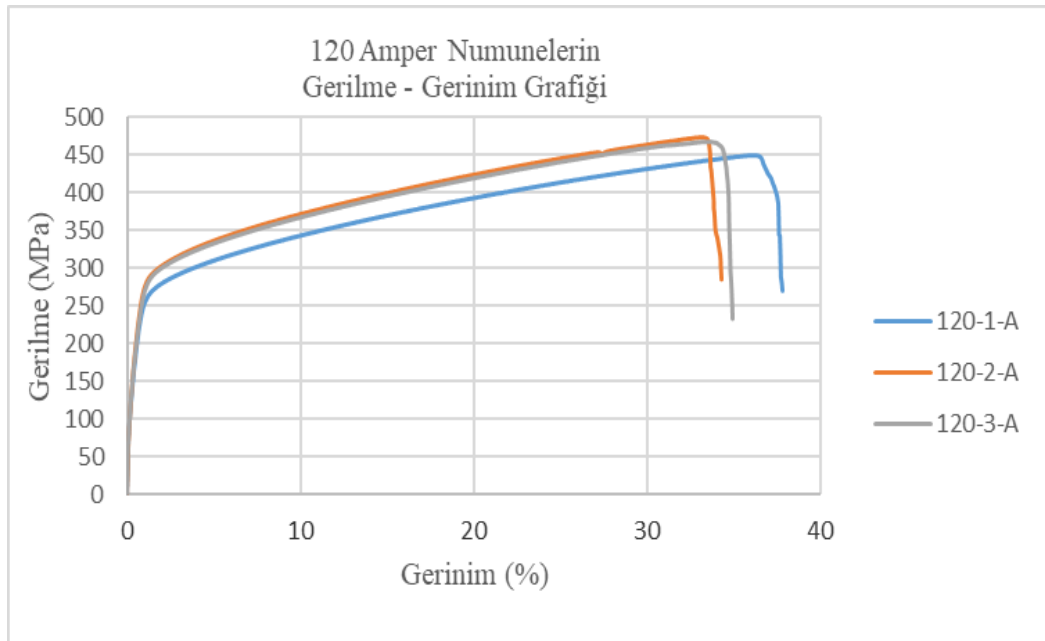
Şekil 4.3 Çekme testi için yerleştirilen numune

Şekil 4.3'te MTS marka çekme test cihazına dikey olarak yerleştirilen bir numunenin resmi görülmektedir. Test işlemleri dakikada 1 mm hızla gerçekleştirilmiş olup gerekli veriler tablolar ve grafikler yardımı ile verilmiştir.

**Tablo 4.1** 120 amper ile kaynaklanmış numuneler çekme test sonuçları

| Numune          | Akma Gerilmesi<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Çekme Gerilmesi<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Uzama<br>(Gerinim) (%) |
|-----------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| 120-1-A         | 263,44                                 | 449,8                                   | 36.3                   |
| 120-2-A         | 283,27                                 | 472,6                                   | 33.3                   |
| 120-3-A         | 281,63                                 | 467,8                                   | 33,6                   |
| <b>Ortalama</b> | 276,1                                  | 463,4                                   | 34,4                   |

Tablo 4.1'de TIG kaynağı ile 120 amper akım parametresinde kaynak işlemi gerçekleştirilmiş 3 adet numunenin akma ve çekme dayanımları ile % gerinim değerlerine yer verilmiştir. Test sonucunda ulaşılan farklı değerler numunenin kaynak başlangıç bitiş ve orta kısımlarından alınan numuneler ile ilişkilendirilebilmektedir. Bunun nedeni kaynak başlangıç ve bitiş kısımlarında malzeme üzerine uygulanan akım değişkenlik gösterdiğinden dolayı kaynak hatalarına sebep olduğu içindir. Yapılan testler sonucunda ortalama değerleri alınmıştır. Akma dayanımı 276,1 MPa, çekme dayanımı 463,4 MPa ve ortalama yüzde uzama miktarı %34,4 olarak değerlendirilmiştir.



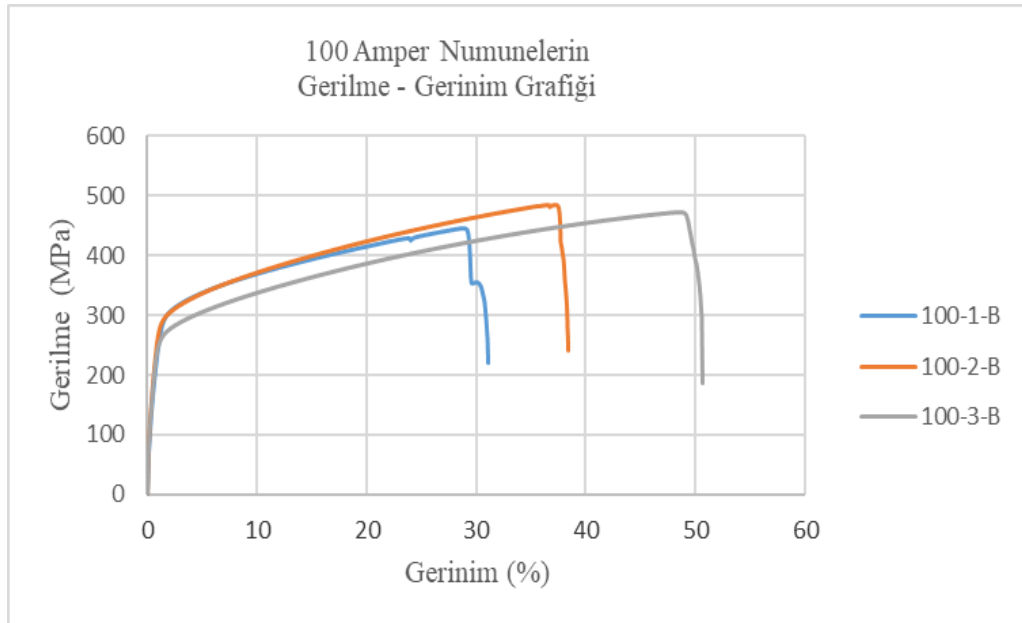
**Şekil 4.4** 120 amper ile kaynaklanmış numuneler gerilme-gerinim (%) grafiği

Şekil 4.4'te TIG kaynağı ile 120 amper akım parametresinde ER 316L ilave kaynak teli ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiş 316L parçalardan hazırlanmış 3 adet numunenin MPa cinsinden gerilme ve % gerinim değerlerinin grafiğine yer verilmiştir.

**Tablo 4.2** 100 amper ile kaynaklanmış numuneler çekme test sonuçları

| Numune   | Akma Gerilmesi<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Çekme Gerilmesi<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Uzama<br>(Gerinim) (%) |
|----------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| 100-1-B  | 293,7                                  | 445,7                                   | 31.1                   |
| 100-2-B  | 285,4                                  | 483,7                                   | 37.4                   |
| 100-3-B  | 260                                    | 472,6                                   | 48.7                   |
| Ortalama | 279,7                                  | 467.3                                   | 39,1                   |

Tablo 4.2'de TIG kaynağı ile 100 amper akım parametresinde kaynak işlemi gerçekleştirilmiş 3 adet numunenin akma ve çekme dayanımları ile % gerinim değerlerine yer verilmiştir. Test sonucunda ulaşılan farklı değerler numunenin kaynak başlangıç bitiş ve orta kısımlarından alınan numuneler ile ilişkilendirilebilmektedir. Bunun nedeni kaynak başlangıç ve bitiş kısımlarında malzeme üzerine uygulanan akım değişkenlik gösterdiğinden dolayı kaynak hatalarına sebep olduğu içindir. Yapılan testler sonucunda ortalama değerleri alınmıştır. Akma dayanımı 279,7 MPa, çekme dayanımı 467,3 MPa ve ortalama yüzde uzama miktarı %39,1 olarak değerlendirilmiştir.



**Şekil 4.5** 100 amper ile kaynaklanmış numuneler gerilme-gerinim (%) grafiği

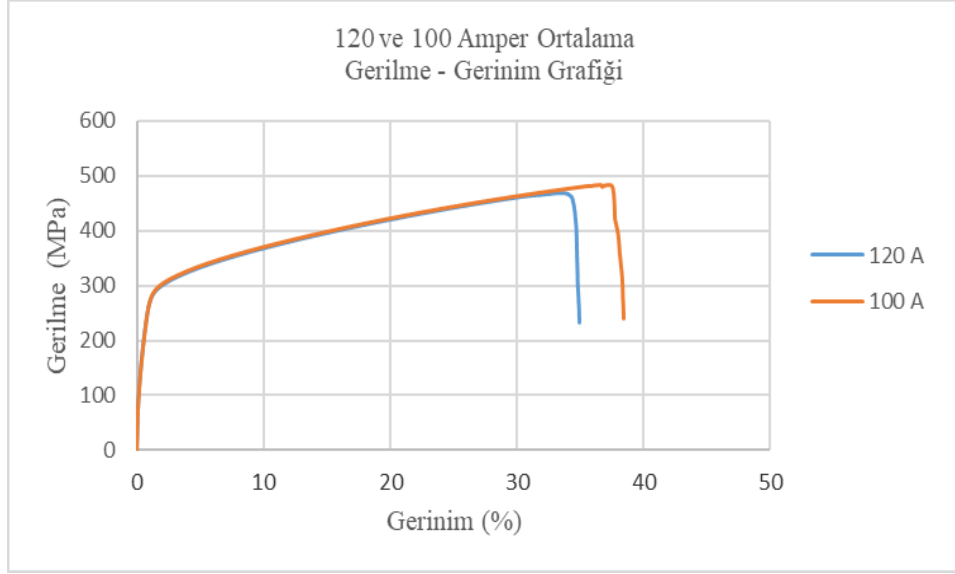
Şekil 4.5'te TIG kaynağı ile 100 amper kaynatılmış 3 adet numunenin MPa cinsinden gerilme ve % gerinim değerlerinin grafiğine yer verilmiştir.

**Tablo 4.3** 120 ve 100 amper numunelerin ortalama değer çekme test sonuçları

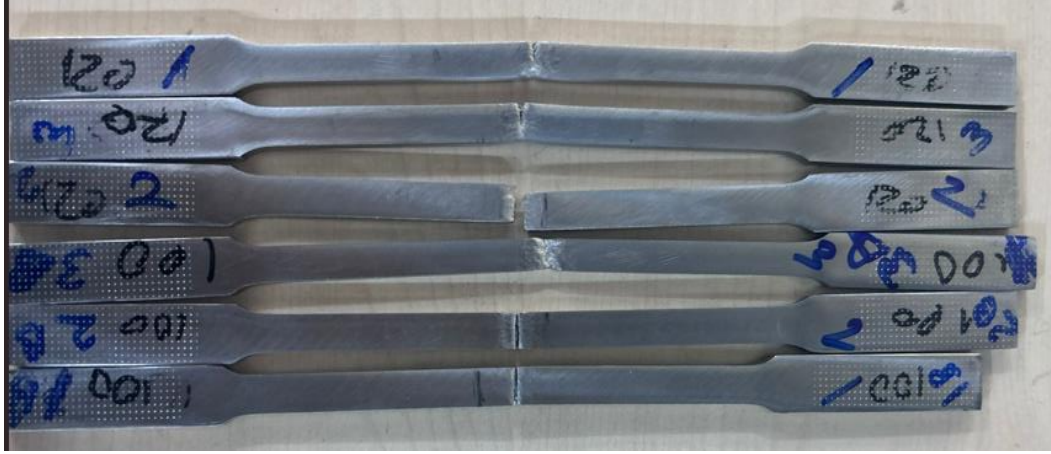
| Numune                       | Akma Gerilmesi<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Çekme Gerilmesi<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Uzama<br>(Gerinim) (%) |
|------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| Ana Malzeme<br>316L          | 170                                    | 485                                     | 40                     |
| ER 316L İlave<br>Kaynak Teli | 400                                    | 490                                     | 30                     |
| 120 A Ort.<br>316L/316L      | 276,1                                  | 463,4                                   | 34,4                   |
| 100 B Ort.<br>316L/316L      | 279,7                                  | 467,3                                   | 39,1                   |

Tablo 4.3'te ana malzeme ilave kaynak teli için standart akma, çekme dayanım değerleri ve yüzde uzama değerleri ile birlikte 120 amper ve 100 amper akım değerindeki kaynak parametrelerinde kaynaklanmış çekme test numunelerinin ortalama değerleri verilmiştir. 120 amper akım değerinde akma dayanımı 276,1 MPa, 100 amper akım değerinde ise 279,7 MPa olarak hesaplanmaktadır. Bu veriden yola çıkarak akma dayanımı 100 amper akım değerindeki kaynak parametrelili numune de 3.6 MPa daha yüksek çıkmaktadır. Çekme dayanımı 120 amper akım değerindeki numune de 463,4 MPa, 100 amper akım değerinde ise 467,3 MPa olarak hesaplanmaktadır. Bu veriden yola çıkarak çekme dayanımı 100 amper akım değerindeki kaynak parametrelili numune de 3.9 MPa daha yüksek çıkmaktadır. Yüzde uzama değerleri 120 ve 100 amper akım değerindeki numuneler için sırasıyla 34,4-39,1 olarak ölçülmektedir. 100 amper akımlı kaynak parametresinde yüzde uzama (% gerinim) 4.7 daha fazla ölçülmektedir. Veriler işlenirken test numunelerinde kullanılan değerlerin ortalama ölçümlerinin kullanıldığı bilinmektedir. 120 ve 100 amper akım değerindeki numunelerin ortalama akma dayanımı değerleri sırası ile 276,1-279,7 MPa olarak hesaplanmakta olup 100 amper akım değerinde hesaplanan akma dayanım değeri daha yüksek olmasına karşı yüzde gerinim değeri de daha yüksek çıkmaktadır. Kopmaya karşı dayanımı da daha yüksek çıkmaktadır. 100 Amper akım değerinde yapılan kaynak 120 amper akım değerinde yapılan kaynak işleminden daha yüksek çekme dayanımına ve uzama değerlerine sahiptir.

Şekil 4.6'da 120 ve 100 amper akım değerinde kaynaklanan numunelerin ortalama gerilme-gerinim (%) grafiği Tablo 4.3'te ki çekme testi verileri ile verilmiştir.



Şekil 4.6 120 ve 100 amper numunelerin ortalama gerilme-gerinim (%) grafiği



Şekil 4.7 120 ve 100 amper kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri

Şekil 4.7’de numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri verilmiştir. Kırılmalar genel olarak ITAB bölgesi dışında kaynaktan etkilenen bölgelerden hemen sonra gerçekleşmiştir.

#### 4.2. Üç Nokta Eğme Test Sonuçları

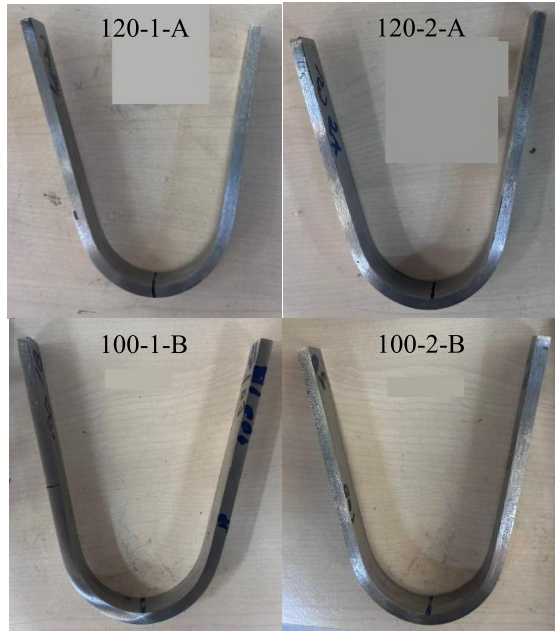
Bu çalışmada 120 amper ve 100 amper akım parametrelerinde ve diğer tüm koşullar eşit olacak şekilde kaynak işlemi gerçekleştirilen plakalardan elde edilen Şekil 4.8’de gösterilen test numunelerinin şekillendirilebilme davranışlarını incelemek için üç nokta eğme testinden faydalanılmıştır. Deney işlemi süreci esnasında hazırlanmış 2’şer numune 180°’ye kadar eğilmiştir (Şekil 4.9). Kaynaklı bölgede eğilme sonrasında çatlak oluşumları gözlenmemiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.8 120 ve 100 amper kaynaklı hazırlanmış numunelerin görüntüleri



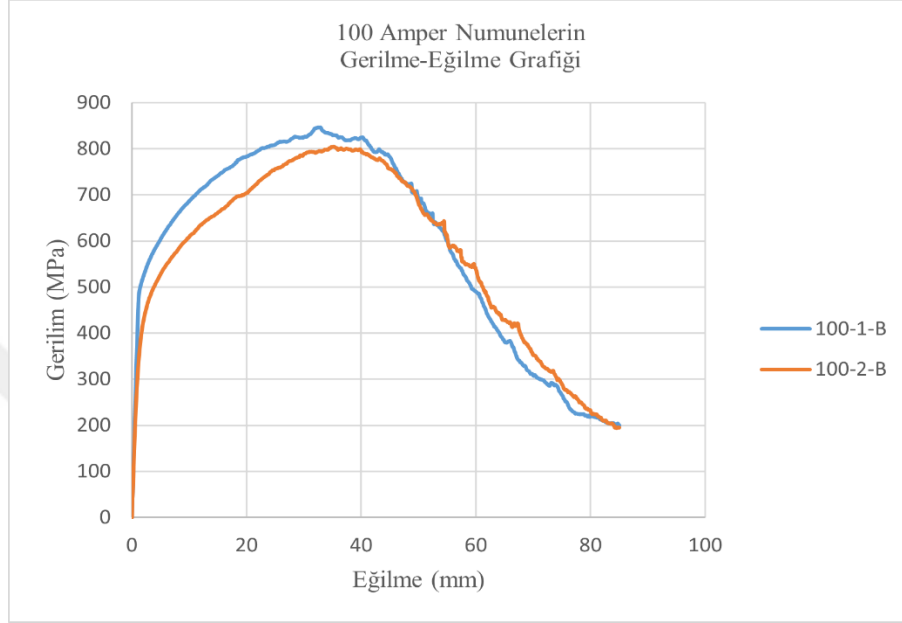
Şekil 4.9 MTS test cihazında üç nokta eğme testi ile 180° eğme uygulanan numune



Şekil 4.10 Üç nokta eğme test sonucu numunelerin deformasyon incelemesi

**Tablo 4.4** 100 amper ile kaynaklı numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları

| Numune   | Maksimum Gerilme (N/mm <sup>2</sup> ) | Eğilme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> ) | Eğilme (mm) | Gözle Muayene   |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-----------------|
| 100-1-B  | 847                                   | 200                                   | 85          | Deformasyon yok |
| 100-2-B  | 805                                   | 195                                   | 84,8        | Deformasyon yok |
| Ortalama | 826                                   | 197,5                                 | 84,9        |                 |

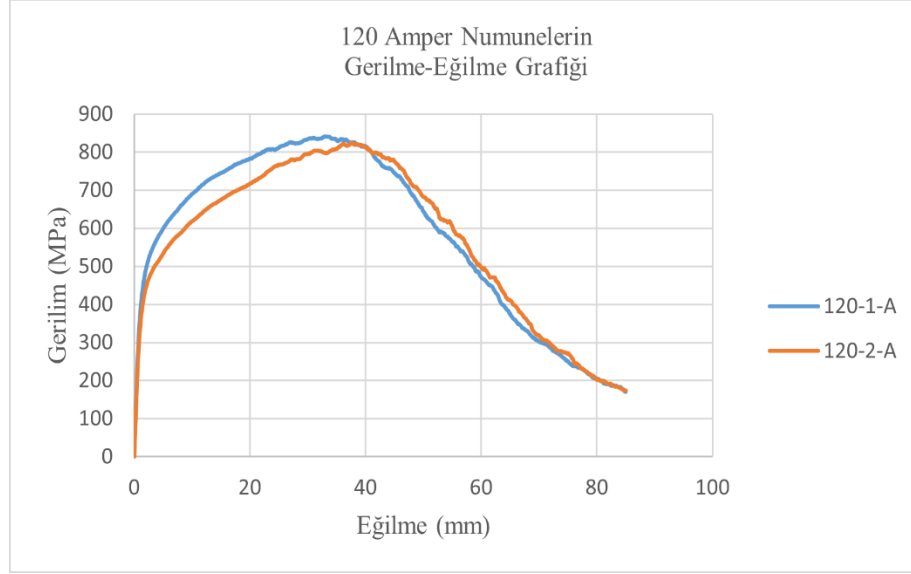


**Şekil 4.11** 100 amper ile kaynaklı numunelerin üç nokta eğme test grafiği

Tablo 4.4'te verilen gerilim ve eğilme verilerine göre hazırlanan 100 amper kaynak parametresindeki numuneler için test sonuçları birbirine yakın çıkmaktadır ve ortalama değerleri belirlenerek 120 amper kaynak parametresindeki numunelerin ortalama değerleri ile kıyaslanmıştır. Numunelerin ortalama gerilim değeri 826 MPa, ortalama eğilme değerleri ise 84.9 mm'dir. Bu verilere göre hazırlanan gerilim ve eğilme grafiği Şekil 4.11'de çizilmiştir.

**Tablo 4.5** 120 amper ile kaynaklı numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları

| Numune   | Maksimum Gerilme (N/mm <sup>2</sup> ) | Eğilme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> ) | Eğilme (mm) | Gözle Muayene   |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-----------------|
| 120-1-A  | 841                                   | 171                                   | 85          | Deformasyon yok |
| 120-2-A  | 825                                   | 173                                   | 85          | Deformasyon yok |
| Ortalama | 833                                   | 172                                   | 85          |                 |

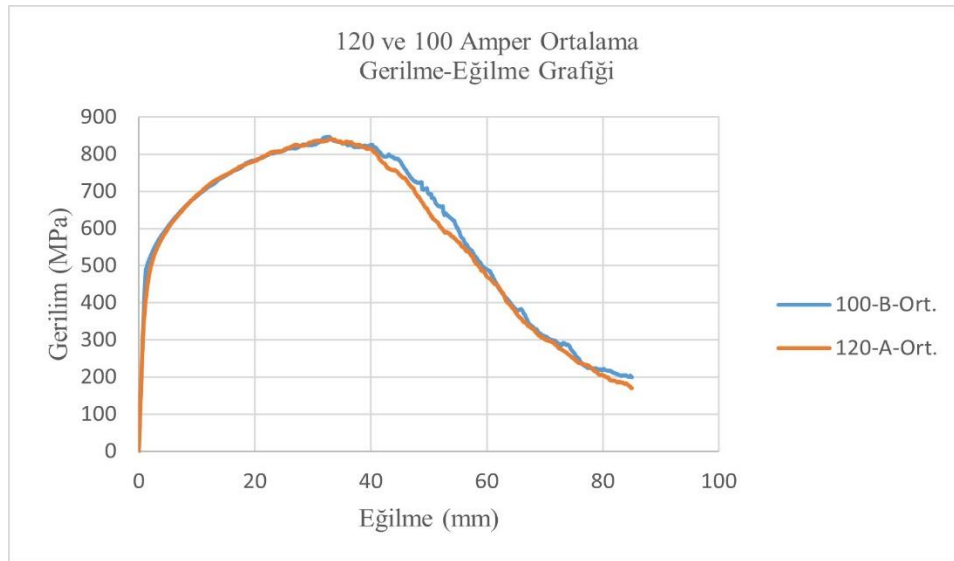


**Şekil 4.12** 120 amper ile kaynaklı numunelerin üç nokta eğme test grafiği

Tablo 4.5'te verilen gerilim ve eğilme verilerine göre hazırlanan 120 amper kaynak parametresindeki numuneler için test sonuçları da birbirine yakın çıkmaktadır ve ortalama değerleri belirlenerek 100 amper kaynak parametresindeki numunelerin ortalama değerleri ile kıyaslanmıştır. Numunelerin ortalama gerilim değeri 833 MPa, ortalama eğilme değerleri ise 85 mm'dir. Bu verilere göre hazırlanan gerilim ve eğilme grafiği Şekil 4.12'de çizilmiştir.

**Tablo 4.6** 120 ve 100 amper ile kaynaklı numunelerin ortalama çekme testi sonuçları

| Numune            | Maksimum Gerilme<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Eğilme Gerilmesi<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Eğilme<br>(mm) |
|-------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|----------------|
| <b>120 A Ort.</b> | 833                                      | 172                                      | 85             |
| <b>100 B Ort.</b> | 826                                      | 197,5                                    | 84,9           |

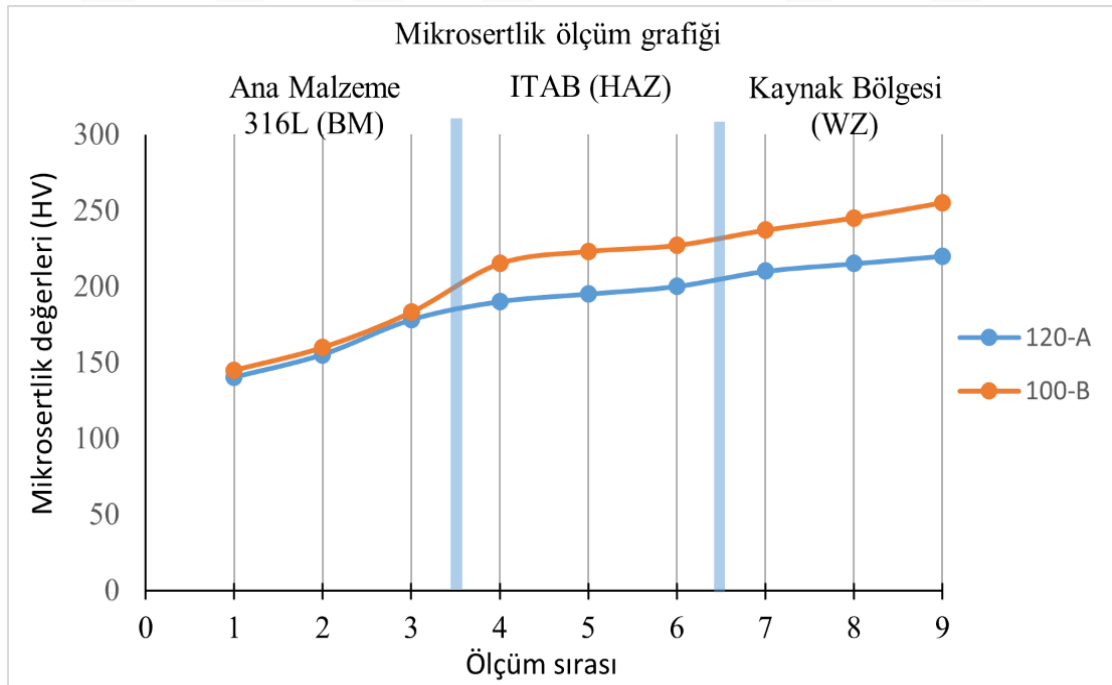


**Şekil 4.13** 120 ve 100 amper ile kaynaklı numunelerin üç nokta eğme test grafiği

Tablo 4.6’da hesaplanan ortalama değerlere göre hazırlanmış olan grafik Şekil 4.13’te verilmiştir. Test sonucunda yapılan analizler ve gözlemlerin ardından TIG kaynağı ile gerçekleştirilen kaynak işleminde çalışma için söz konusu olan 120 ve 100 amper akım parametreleri fark etmeksizin normal koşullarda sorunsuz bir şekilde malzemelerin şekillendirilebilme kabiliyetlerinde bir değişiklik olmayacağı belirlenmiştir. AISI 316L östenitik paslanmaz çelikler yapıları gereği şekillendirilebilme davranışları iyi düzeydedir (Topcu, 2019).

#### 4.3. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

TIG kaynak yöntemi ile farklı akım parametrelerinde kaynak işlemi gerçekleştirilen iki AISI 316L plakalardan hazırlanmış numuneler üzerinden akım değerlerindeki değişimin malzemeler üzerinde gerçekleştirdiği sertlik değişimlerini araştırabilmek için mikrosertlik ölçüm çalışmaları yürütülmüştür. Yapılan mikrosertlik ölçümleri ana malzeme üzerinden 3 adet, ITAB’den 3 adet ve kaynak bölgesinden 3 adet olmak üzere sırası ile toplam 9 adet ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sonucunda 100 amper akım parametresinde birleştirilen numunelerin sertlik ölçüm grafiği ve 120 amper akım parametresinde birleştirilen numunelerin sertlik ölçüm grafiği Şekil 4.14’te verilmiştir.



Şekil 4.14 120 ve 100 amper ile kaynaklı numunelerin mikrosertlik grafiği

Farklı kaynak akım parametreleri ile birleştirilen numunelerin tamamında sertlik değeri kaynak bölgesinde oluşurken sırası ile bunu ITAB ve ana malzeme izlemektedir. Tablo 4.7’de mikrosertlik grafiğine ait veriler tablo haline getirilerek verilmiştir.

**Tablo 4.7** 120 ve 100 amper ile kaynaklı numunelerin mikrosertlik test sonuçları

|                                           |             | <b>Mikrosertlik Değerleri (HV)</b> |                  |
|-------------------------------------------|-------------|------------------------------------|------------------|
|                                           | <b>Sıra</b> | <b>120 Amper</b>                   | <b>100 Amper</b> |
| <b>Ana Malzeme<br/>AISI 316L<br/>(BM)</b> | 1           | 140                                | 145              |
|                                           | 2           | 155                                | 160              |
|                                           | 3           | 178                                | 183              |
| <b>ITAB<br/>(HAZ)</b>                     | 4           | 190                                | 215              |
|                                           | 5           | 195                                | 223              |
|                                           | 6           | 200                                | 227              |
| <b>Kaynak Bölgesi<br/>(WZ)</b>            | 7           | 210                                | 237              |
|                                           | 8           | 215                                | 242              |
|                                           | 9           | 220                                | 255              |

Tablo 4.7 incelendiğinde kaynak bölgesinde ölçülen en yüksek sertlik 255 HV ile 100 amper akım parametresinde birleştirilmiş numunede ölçülmüş olup, en düşük sertlik 210 HV olarak ölçülen 120 amper akım parametresinde birleştirilmiş numune olmuştur. ITAB’da ölçülen en yüksek sertlik 227 HV ile 100 amper akım parametresi ile kaynaklanmış numune olurken en düşük ölçülen sertlik ise 190 HV olarak ölçülen 120 amper akım parametresinde kaynaklanmış numune olmuştur. Kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru ilerledikçe ölçülen sertlik değerlerinde düşük olduğu gözlemlenmiştir (Topcu, 2019).

TIG kaynak metodu ile akım değerlerinde gerçekleştirilen artışlar ile kaynak işleminin gerçekleştiği bölgede ısı girdisi yükselmekte ve gerçekleşen bu olayın sonucu olarak soğuma rejiminde değişiklikler görülmektedir. Soğumada gerçekleşen değişiklikler kaynak havuzunda katılaşma hızını etkilediğinden dolayı malzemenin tane yapısı artmakta ve bu durumun sonucu olarak ısıdan etkilenen bölgelerde ve kaynak bölgesinde sertlik değerlerinde düşümlere sebep vermektedir (Topcu, vd., 2019).

TIG kaynak yöntemi ile akım parametresi hariç diğer tüm kaynak parametreleri ve ortam şartları sabit kalma koşulu ile, 2 adet “X” kaynak ağzı açılmış AISI 316L plakaların ER316L kaynak teli ile kaynaklı birleştirilmesinden sonra kaynak bölgesinde ve ITAB’ da meydana gelen sertlik değerlerinin ölçülmesi için yapılan bu çalışma sonucunda 100 amper akım parametresinde gerçekleştirilen kaynaklı birleştirme sonrası

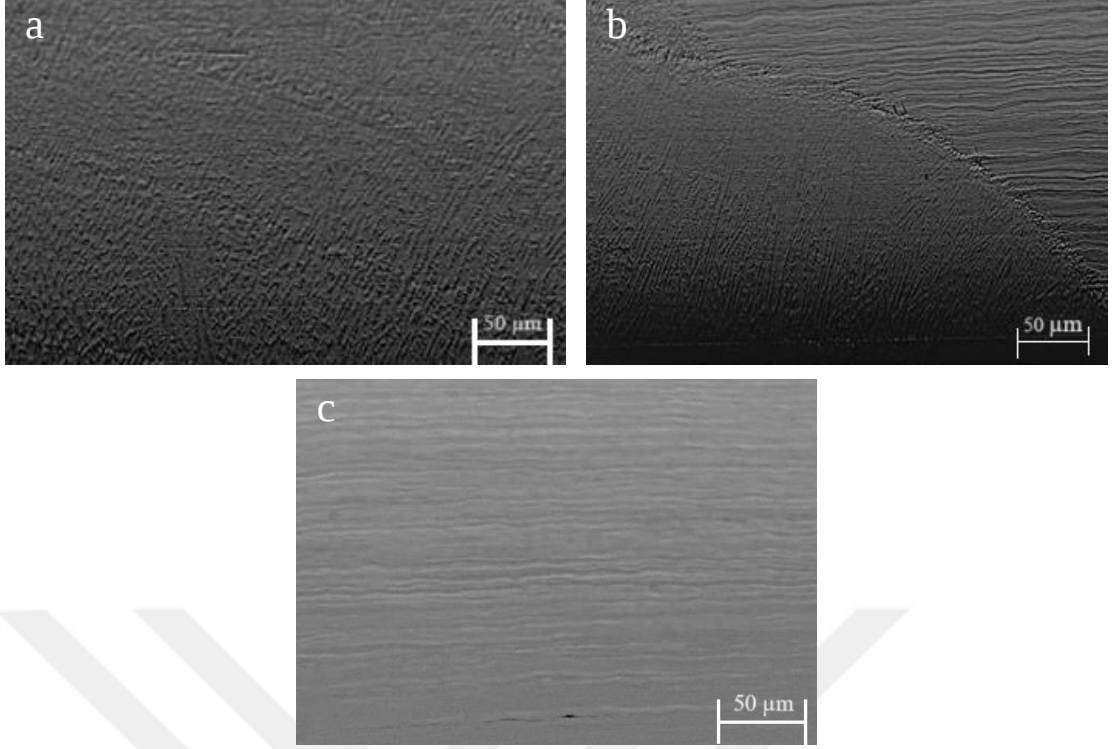
sertlik ölçümler kaynak bölgesi (WZ) ve ITAB (HAZ)'da, 120 amper akım parametresinde gerçekleştirilen kaynaklı birleştirme sonrası ölçülen sertlik değerlerinden daha yüksek olup daha fazla sertlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

#### 4.4. Mikroyapı Çalışmaları

AISI 316L plakaların, argon gazı kullanılarak, ergimeyen elektrot olarak Ø2 mm tungsten ve Ø2 mm ER316L ilave kaynak teli kullanılarak TIG Kaynağı ile diğer tüm koşullar sabit kalma şartı ile oda sıcaklığında 100 amper ve 120 amperde iki farklı akım parametreleri ile birleştirilmesinin malzemelerde mikroyapı üzerindeki etkilerini inceleyebilmek amacı ile mikroyapı çalışmaları Olympus CX21 optik mikroskobu yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerden kesilen parçalar sırası ile 180, 320, 600, 800, 1000 ve 1200 kum zımpara ile zımparalandıktan sonra parlatılmıştır. Daha sonra elde edilen numuneler 40 ml saf su ve 120 ml HCL ile hazırlanmış çözelti içerisine daldırılarak 1,2 amper 3,8 volt ile 15 saniye boyunca elektroliz uygulanarak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15'te numunelerin mikroskop yardımı ile mikroyapılarının incelenmesi için mikroskoba yerleşimi verilmiştir.

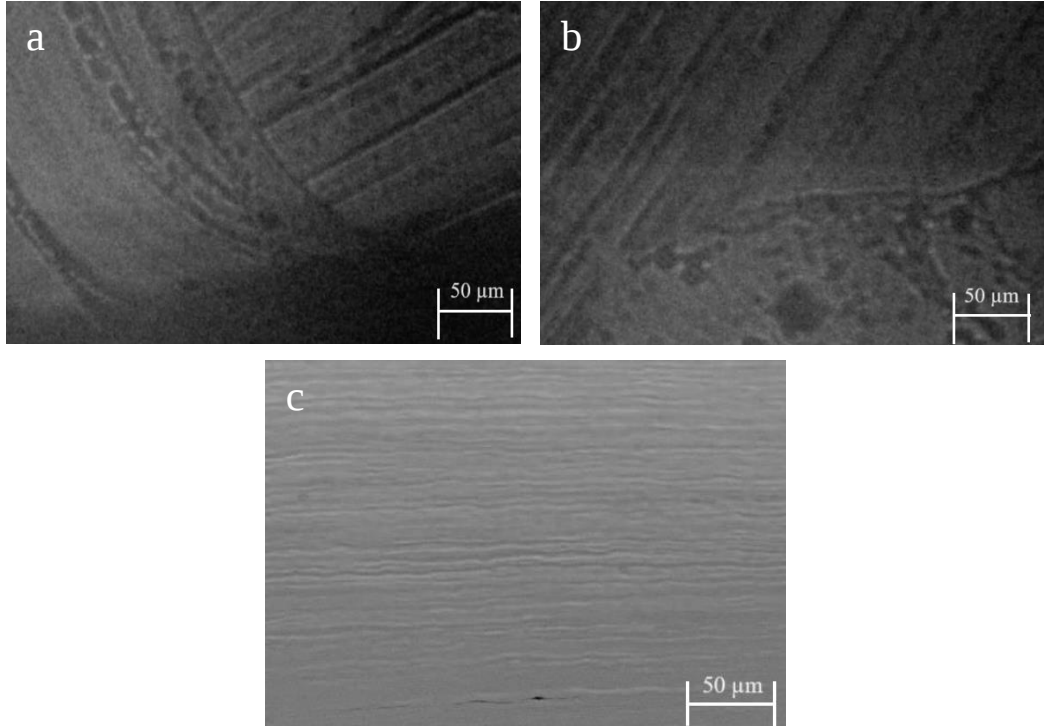


Şekil 4.15 Numunelerin Olympus marka optik mikroskobu ile görüntülenmesi



**Şekil 4.16** 120 amper akım kaynak parametresi ile hazırlanan mikroyapı numunesinin optik mikroskop görüntüsü; (a) Kaynak metali, (b) Kaynak geçiş bölgesi, (c) Ana malzeme

Şekil 4.16’da optik mikroskop ile 120 amper akım parametresinde hazırlanan numunelerin mikroyapı görüntülerine yer verilmiş olup ana malzeme, kaynak geçiş bölgesi ve kaynak bölgeleri görüntülenmektedir.



**Şekil 4.17** 100 amper akım kaynak parametresi ile hazırlanan mikroyapı numunesinin optik mikroskop görüntüsü; (a) Kaynak metali, (b) Kaynak geçiş bölgesi, (c) Ana malzeme

Şekil 4.17’de optik mikroskop yardımı ile 100 amper akım parametresinde hazırlanan numunenin mikroyapı analiz görüntülerine yer verilmiş olup ana malzeme, kaynak geçiş bölgesi ve kaynak bölgeleri görüntülenmektedir.

Numunelerin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi esnasında kaynak bölgesindeki soğuma hızlı olduğu için kaynak metalindeki mikroyapı östenit faza dönecek zamanı bulamadığından dolayı kaynak metalinin mikroyapısında östenit ve ferritik fazlar meydana gelmiştir.

TIG kaynağı ile gerçekleştirilen kaynak işleminde akım değerinin artırılması ile kaynak metalinde ve ITAB’ da tane yapısında büyüme gerçekleşmiştir. Tane yapılarının büyümesinde kaynak akım değerinin artırılmasıyla birlikte kaynak bölgesinde gerçekleşen ısı ile kaynak bölgesinin soğuma zamanının artmasından dolayıdır. Soğuma hızı azaldığından dolayı kaynak bölgesinde katı hale geçme süreside uzayacağı için tane yapılarında büyüme meydana gelmektedir (Topcu, 2019).

ITAB, kaynak metalinin etrafını çevreleyen ve kaynak işlemi sırasında açığa çıkan ısı ve kaynak işleminden sonra oluşan soğumadan direkt etkilenen bölgedir. Bundan dolayı numunenin mikroyapısı da uygulanan akım değerlerindeki farklılıklara göre değişiklikler gözlemlenmektedir.

Yapılan mikroyapı çalışmaları sonucunda elde edilen görüntüler yardımı ile 100 amper akım parametresinde kaynak işlemi gerçekleştirilen kaynaklı AISI 316L plakalardan hazırlanan numunede akım değeri 120 amper akım parametresinden küçük olduğu için daha az ısıdan etkilenme oluşmuştur ve soğumada daha hızlı gerçekleşir. Tane yapıları da bu durumdan etkilendiğinden dolayı 100 amper kaynaklı numunede daha düşük kalırken 120 amper kaynaklı numunede ise daha büyüktür. Görüntüler incelendiğinde gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelerin her ikisinde de kök ve kaynak bölgelerinde kaynak hataları görülmemektedir. Fakat kaynak işleminin gerçekleştirildiği ortamda havada bulunan argon gazının uzaklaştıramadığı yabancı materyallerden dolayı dağlama esnasında bazı bölgelerde az miktarda oyuklar oluşmuştur.

## 5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Gemicilik, tıp, inşaat, otomotiv sektörleri gibi geniş bir kullanım ağına sahip AISI 316L östenitik paslanmaz çelik plakaları TIG kaynak yöntemi ile tüm koşullar sabit kalma koşulu ile oda sıcaklığında Ø 2 mm tungsten elektrot, Ø 2 mm ER316L kaynak teli ve koruyucu argon gazı altında 120 ve 100 amper akım parametreleri kullanarak birleştirilme işlemi sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Birleştirilen plakalardan çekme testi, üç nokta eğme testi, mikrosertlik analiz ve mikroyapı inceleme numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler ile testler ve analizler gerçekleştirilmiş olup elde edilen veriler farklı akım parametrelerinde gerçekleştirilen birleştirme işleminin, malzemenin mekanik davranışlarına ve mikroyapılarına olan etkisini incelenmiştir. Farklı akım değerlerinde gerçekleştirilen kaynak işlemi sonrasında gerçekleşen malzemede gerçekleşen değişimler ve test sonuçları detaylı olarak incelenmiştir.

Çekme testi için hazırlanan TIG kaynağı ile 120 amper ve 100 amper akım parametresinde birleştirilen numunelerin test sonuçlarının ortalama değerleri alınmıştır. 120 amper akım parametresinde birleştirilen numunelerin ortalama akma dayanımı 276,1 MPa, 100 amper akım parametresinde birleştirilen numunelerin ortalama akma dayanımı ise 279,7 MPa olarak hesaplanmaktadır. Bu veriler yardımı ile akma dayanımı 100 amper akım parametresindeki numunede 120 amper akım parametresindeki numuneye göre 3.6 MPa daha fazladır. Çekme dayanımı 120 amper akım parametresindeki numune de 463,4 MPa, 100 amper akım parametresindeki numunede ise 467,3 MPa olarak ortaya çıkmaktadır. Çekme dayanımı 100 amper akım parametresinde birleştirilen numune de 120 amper akım parametresindeki numuneden 3.9 MPa daha fazladır. Yüzde gerinim 120 ve 100 amper akım parametrelerinde hazırlanan numuneler için sırası ile 34,4-39,1 olarak ölçülmüştür. 100 amper akım parametresindeki numunede gerinim yüzdesi 120 amper akım parametresindeki numuneye göre 4.7 daha fazladır. Ölçümler gerçekleştirilirken olası hatalara karşı hazırlanan 3'er adet numuneden alınan ölçümlerde çekme, akma ve gerinim yüzde değerleri arasındaki farklar ortalama değerler alındığı için oluşmaktadır. 120 ve 100 amper akım parametresinde hazırlanan numunelerin hesaplanan ortalama akma dayanımları MPa cinsinden sırasıyla 276,1-279,7 olup 100 amper akım parametresinde hazırlanan numunelerin hesaplanan ortalama gerinim yüzdesi de daha fazladır. Dolayısı ile 100 amper akım parametresindeki numunenin kopmaya olan direnci de daha fazladır. 100 Amper akım parametresinde gerçekleştirilen kaynak imalatı 120 amper akım parametresinde gerçekleştirilen kaynak imalatına göre daha fazla çekme

dayanımına ve gerinime sahiptir. Çekme testi esasında malzemelerde kırılma ve kopmalar gevrek kırılma karakteristiğine sahip malzemede gerçekleşmektedir (Zhou and friends, 2018). Çekme testi sonrası elde edilen ölçümler literatür ile uyum sağlamaktadır. Numunelerde kopma ITAB'dan hemen sonra ısıya maruz kalıp soğumanın hızla gerçekleştiği bölgede gerçekleşmiştir.

Üç nokta eğme test sonucunda TIG kaynak metoduyla ayrı ayrı 120 ve 100 amper akım parametresi ile birleştirilen numuneler normal şartlarda sorunsuz bir şekilde şekillendirilebilme kabiliyetlerine sahip olduğu ve farklı akım parametrelerinde gerçekleştirilen birleştirmeler sonucu herhangi bir değişiklik gerçekleşmediği gözlemlenmiştir. AISI 316L östenitik paslanmaz çelikler yapıları gereği şekil verilebilme yetenekleri iyi malzemelerdir.

Mikrosertlik incelemeleri birbirlerine TIG kaynak metodu ile farklı akım parametrelerinde kaynaklanmış AISI 316L plakalardan hazırlanan numunelerin kaynak bölgesi ve ITAB' da oluşan sertliğini ölçülmesi için yapılmaktadır. Mikrosertlik çalışmalarında, kaynak bölgesinde (WZ) en yüksek sertlik 255 HV ile 100 amper akım parametresinde kaynaklanmış numunede ölçülmüştür. En az sertlik ise 210 HV ölçülen 120 amper akım parametresinde kaynaklanmış numunededir. ITAB'da en yüksek sertlik 227 HV değerinde ölçülen 100 amper akım parametresi ile kaynaklanmış numunedir. En az sertlik ise 190 HV olarak ölçülmüş olup 120 amper akım parametresinde birleştirilmiş numunedir. Ölçülen sertlik değerlerinin kaynak bölgesinden ana malzemeye gidildikçe azaldığı gözlemlenmiştir (Topcu, 2019).

TIG kaynağında akım değerinde yapılan artışlar ile kaynağın yapıldığı bölgede ısı yükselmekte ve soğuma hızında farklılıklar oluşmaktadır. Soğuma hızında oluşan değişiklikler kaynak havuzunda katılma hızını da doğrudan etkilediği için numunenin tane yapısı artmakta ve ısı tesiri altında kalan bölgelerde (ITAB) ve kaynak bölgesinde (WZ) sertlik düşüşü izlenmektedir (Kılınçer ve Kahraman, 2009).

Bu çalışmanın sonucu olarak 100 amper akım parametresinde yapılan birleştirme sonrası sertlik ölçümleri kaynak bölgesi (WZ) ve ITAB (HAZ)'da, 120 amper akım parametresinde yapılan kaynaklı birleştirme sonrası sertlik ölçümlerinden daha fazla olduğu belirlenmiş olup bu incelemeler literatür çalışmaları ile uyum sağlamaktadır (Eroğlu ve Aksoy, 1999).

Gerçekleştirilen optik mikroskobu ile mikroyapı incelemelerinden sonra numunelerin hepsinde ana malzemeden kaynak bölgesine ilerledikçe kaynak işlemi ile

açığa çıkan ısıdan dolayı kaynak bölgesinde karbon atomları tane sınırlarından malzemenin tane yapısının iç kısmına doğru ilerlediği için tane yapılarının büyüdüğü görülmektedir (Anık, 1991). Mikroyapı incelemesi sırasında Olympus optik mikroskobu ile görüntülenen numuneler, 100 amper akım parametresinde kaynaklanan numunede, numune üzerine etki eden akım 120 amper akım parametresinden daha az olduğundan dolayı ısıdan daha az etkilenmiştir ve soğumada daha hızlıdır. Tane yapıları ısı girdisinden direkt etkilendiği için 100 amper akım parametresi ile kaynaklı numunede daha küçük oluşurken, 120 amper akım parametresi ile kaynaklı numunede ise daha büyüktür. Gerçekleştirilen gözlemler sonucunda her iki ayrı kaynak parametresinde de kök ve kaynak bölgelerinde kaynaktan dolayı oluşan bir hata gözlemlenmemekle birlikte yapılan deneysel çalışma ve literatür çalışmaları ile aralarında bir uyumsuzluk görülmemektedir (Topcu vd, 2019).

Bu deneysel çalışmalar sırasında gerçekleştirilen tüm testler, analizler ve gözlemlerin sonucunda elde edilen veriler ile, AISI 316L plakalara 100 ve 120 amper akım parametresinde gerçekleştirilen TIG kaynağı ile birleştirme işlemiyle malzemelerin mekanik davranışlarında ve mikroyapılarında gerçekleşen değişimlerin avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak 100 amper akım parametresinde yapılan kaynak işleminden sonra mekanik davranışlar ve mikroyapılarının 120 amper akım parametresinde gerçekleştirilen kaynak işleminden daha üstün olduğu yorumunu yapmak mümkün olmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- Anık, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı*. Gedik Holding Yayını, İstanbul.
- Anık, S., Anık, E. S. ve Vural, M. (1993). *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt I ve II*. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Anık, S., Vural, M. (1996). *TIG-MIG-MAG Kaynağı*. Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul, Sayı 3.
- Aran, A. ve Temel, M.A. (2003). Paslanmaz Çelik Yası Mamuller. Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Sayı 165.
- Baylan, O. (2004). *Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik- Martenzitik Farklı Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklı Bağlantılarında, Mikroyapı ile Özellikler Arasında İlişkinin Araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Zonguldak Karabük Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Zonguldak.
- Castner, H.R. (1992). *Material and Procedure Considerations for Welded Austenitic Stainless Steels. 8th Annual North American Welding Research Conference*. Edison Welding Institute. Columbus, Ohio, 1-6.
- Eroğlu, M. ve Aksoy, M. (1999). *Enerji girişinin kaynak metal mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi. Bilim Günleri Bildiriler Kitabı*. Denizli: Makina Mühendisleri Odası, 434-439.
- Kaluç, E. (1999). Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında krom karbür çökmesi ve tanelerarası korozyon. *Arctech Kaynak Teknolojisi*, İstanbul.
- Kaluç, E. ve Tülbentçi, K. (1998). *Paslanmaz çeliklerin kaynağı*. Kocaeli Üniversitesi, Kaynak teknolojisi eğitim ve uygulama merkezi, Kocaeli.
- Kanbolu, S. (1996). *Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri*. (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 73.
- Kılınçer, S. ve Kahraman, N. (2009). AISI 409 ve Ç1010 Çeliğin Östenitik Elektrod Kullanarak MIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara, Sayı 24, 1.
- Kocabekir, B., Kacar, R., Gündüz, S. and Hayat, F. (2008). An effect of heat input, weld atmosphere and weld cooling conditions on the resistance spot weldability of 316L austenitic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 195, 327-335.
- Lippold, J.C. (1992). *Recent Developments in The Welding and Weldability of Austenitic Stainless Steels. 8th Annual North American Welding Research Conference*. Edison Welding Institute, Columbus, Ohio, 1-7.
- Lula, R.A. (1993). *Stainless steel (5th)*. Carnes publication services. American society for metals. Metals park ohio, USA.
- Odabaş, C. (2004). Paslanmaz Çeliklerin Temel Özellikleri, Kullanım Alanları ve Kaynak Yöntemleri. *As Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul.
- Temel, M. A. (2004). Paslanmaz Çelikler. *Sarıtaş Teknik Yayını*, İstanbul, Sayı 1.

- Topcu, İ. (2007). *Determination of Mechanical Properties of Ceramic Reinforced Al Matrix Composites Under Dynamic Loading Conditions*. (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Lisansüstü Teorik Çalışmalar ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Topcu, İ. (2018). Karbon Nanotüp Takviyeli Alüminyum Matriksli AlMg/KNT Kompozitlerinin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 4(1), 99-109.
- Topcu, İ. (2019). TIG ve MIG Kaynağı ile İşlem Gören 304 ve 1040 Çeliklerin ITAB Bölgesindeki Mekanik Özelliklerin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 34(3), 171-182.
- Topcu, İ., Gulsoy, H., and Gulluoglu, A. N. (2019). Evaluation of Multi-Walled CNT Particulate Reinforced Ti6Al4V Alloy Based Composites Creep Behavior of Materials Under Static Loads. *Gazi University Journal of Science*. 32(1), 286-298.
- Topcu, İ. ve Karaman, E. (2019). Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Takviyeli Düzenli/Düzensiz Şekli Ti-6Al-4V Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 7(3), 1249-1260. <https://doi.org/10.29130/dubited.545434>.
- Topcu, İ. (2021), Examination of wear properties of Al/B4C composites reinforced with irregularly shaped B4C. *Journal of Ceramic Processing Research*. 22 (3), 276-282.
- Topcu, İ. ve Ceylan, M. (2021). Wear behavior of irregular shape Ti6Al4V powder reinforced with carbon nanotubes. *Journal of Ceramic Processing Research*. 21(5), 539-546.
- Topcu, İ., Çetiner, B.N., Güllüoğlu, A.N. and Gülsoy, Ö. (2020). *Investigation of Creep Behavior of CNT Reinforced Ti6Al4V Under Dynamic Loads*. J.Chem.Soc.Pak. 42(1), 70-80.
- Topcu, İ., Devrim, A., Unal, B. ve Vanlı, B. (2020). Development and Design and Heat Treatment of Production, Storage and Mine Drilling Pipes in Petroleum and Geothermal Industries. *Düzce Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 8(1), 410-417. <https://doi.org/10.29130/dubited.540762>.
- Topcu, İ., Çınar, Ö., Alyanakoğlu, A. E., Çetiner, B. N., vd. (2019). The Similar and Dissimilar Spot Welding of 304 and 316L Austenitic Stainless Steels. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*. 1(2), 55-59.
- Uzunonat, Y. (2012). *TIG Kaynağı Uygulanmış Inconel 718 Malzemenin Darbe Dayanımının İncelenmesi*. (Doktora tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ürgen, M. ve Çakır, A. F. (1990). *Molibdenin Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu Üzerindeki etkisi*. Ankara: II. Korozyon Sempozyumu, ODTÜ.
- William, D. C. and David, G. R. (2013). *Materials Science and Engineering (9th)*. Lova, Utah: Wiley.
- Woollin, P. (1994 January). *Developments in Fusion Welding of Stainless Steels*. Welding&Metal Fabrication. Cambridge, 18-26.
- Yalçın, H. ve Koç, T. (1998). *Mühendisler için korozyon*. Ankara: TMMOB Kimya Mühendisleri Odası.

Zhou, L., Min, J., He, W. X., Huang, Y. X. and Song, X. G. (2018). *Effect of Welding Time on Microstructure and Mechanical Properties of Al-Ti Ultrasonic Spot Welds*. Journal of Manufacturing Processes, Vol 33, 64-73.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Tayfun KARAGÖZ

### Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2010-2014, Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- 2016-2019, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans
- 2014-2015, Teknik Müdür Yardımcısı, Nazar Beach Hotel
- 2015-2016, Saha Şef Mühendisi, Elektrolux / Hırvatistan
- 2016-2019, Makine Mühendisi, Adalya Doğalgaz
- 2019-2020, Teknik Koordinatör, Nashira Resort Hotel
- 2020-2022, Baş Mühendis, SM Yachts
- 2022-....., Tasarım ve İmalat Müdürü, GNZ Krom

### Yayınları ve Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- 2014, Dizel ve Benzinli Motorlardaki Teknolojik Gelişmeler, Bitirme Projesi, Hatay
- 2019, Katodik Koruma ile Boruların Korozyondan Korunması, Yüksek lisans tezi Antalya
- Karagöz T. ve Topçu İ. (2021, Aralık). Ülkemizde Petrol ve Doğalgaz Hatlarında Galvanik Anotlu Katodik Korumaya Yönelik Çalışmalar. Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar, Kitap Bölümü, Ankara, 273-287.
- Karagöz T. ve Topçu İ. (2021, 7-8 Haziran). Petrol ve Doğalgaz Hatlarında Galvanik Anotlu Katodik Koruma. II. International Ankara Multidisciplinary Studies Congress, Proceedings Book, 322-330.
- Karagöz T. ve Topçu İ. (2021, 7-8 Haziran). Petrol ve Doğalgaz Hatlarında Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma. II. International Ankara Multidisciplinary Studies Congress, Proceedings Book, 314-321.

### Yabancı Dil Bilgisi:

- İngilizce, Almanca

### Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2014, Makine Mühendisleri Odası, Antalya