

**YAŞLANDIRILMIŞ 17-4 PH PASLANMAZ
ÇELİKLERE İLAVE EDİLEN ALAŞIM
ELEMENTLERİNİN KOROZYON DAVRANIŞINA
ETKİSİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

SALİH ÇAĞATAY KOÇAK

**YAŞLANDIRILMIŞ 17-4 PH PASLANMAZ ÇELİKLERE İLAVE EDİLEN
ALAŞIM ELEMENTLERİNİN KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİ**

Salih Çağatay KOÇAK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Eylül 2019

Salih Çağatay KOÇAK tarafından hazırlanan “YAŞLANDIRILMIŞ 17-4 PH PASLANMAZ ÇELİKLERE İLAVE EDİLEN ALAŞIM ELEMENTLERİNİN KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/09/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası


Başkan : Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN (GTÜ)



Üye : Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Tansel TUNÇAY (KBÜ)

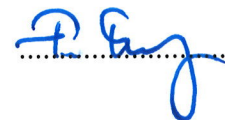


27.09/2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





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

Salih Çağatay KOÇAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAŞLANDIRILMIŞ 17-4 PH PASLANMAZ ÇELİKLERE İLAVE EDİLEN ALAŞIM ELEMENTLERİNİN KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİ

Salih Çağatay KOÇAK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışman:

Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Haziran 2019, 67 sayfa

Bu çalışmada, yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş ve içerisine farklı oranlarda Tantalum ve Titanyum ilave edilerek üretilen 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımlarının korozyon davranışlarının incelenmesi yapılmıştır. Hazırlanan alaşım tozları soğuk presleme (800 MPa) ile ham numuneler şeklinde üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen ham numunelere 10^{-6} milibar vakum uygulanarak 1300 °C'de 1 saat sinterleme işlemine tutulmuş olup fırın ortamında oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Daha sonra Tantalum ve Titanyum ilave edilen numuneler 480 °C'de vakumlu fırın ortamında 1, 4 ve 8 saat yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Bu işlemler sonrasında tantalum (Ta) ve titanyum (Ti) ilave edilen numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM+EDS), X-ışını kırınımı (XRD), yoğunluk ve sertlik ölçümleri ile karakterize edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, farklı oranlarda Ta ilave edilen (%0,15-%0,30-%0,45-%0,60) 17-4 PH paslanmaz çeliğin yoğunluklarının, % Ta oranıyla birlikte hem yoğunluklarının hem de sertliklerinin arttığı belirlenmiştir. Artan Ta

oranıyla birlikte korozyon direncinin arttığı, artan yaşlandırma süresinin ise Ta ilaveli alaşımın korozyon direncini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca, farklı oranda Ti ilave edilen (%0,5-%1- %1,5-%2) 17-4 PH paslanmaz çeliğin yoğunluklarının artan % Ti oranıyla birlikte azaldığı, sertliklerinin ise arttığı belirlenmiştir. Yine artan Ti oranıyla birlikte alaşımın korozyona karşı direnci artmış, yaşlandırma süresi arttıkça alaşımın korozyon direncinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Yaşlandırma, 17- PH, Çelik, Paslanmaz Çelik, Korozyon.

Bilim Kodu : 916.3.028



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF ALLOY ELEMENTS ADDED ON AGAINST CORROSION BEHAVIOR ADDED TO AGAINST 17-4 PH STAINLESS STEELS

Salih Çağatay KOÇAK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK

September 2019, 67 pages

In this study, the corrosion behavior of 17-4 PH stainless steel alloys produced by adding tantalum and titanium in different proportions was investigated. The prepared alloy powders are produced as raw samples with coldpressing (800 MPa). The green compacts which were produced were sintered at 1300 ° C for 1 hour by applying vacuum to 10⁻⁶ milibar and cooled to room temperature in the furnace environment. Tantalum and titanium added samples were the naged at 480 ° C for 1, 4 and 8 hours in a vacuum ovenenvironment. After these processes, tantalum (Ta) and titanium (Ti) were added to the samples, scanning electronmicroscopy (SEM + EDS),X-ray diffraction (XRD), density and hardness measurements were made by making necessary measurements. As a result of the studies performed, different concentrations of 0.1% -0.1% -0.4% -0.45% -0.40% of the densities of 17-4 PH stainless steel have the same. It was determined that after 8 hours aging time increased. It has been

observed that corrosion resistance increases with increasing Ta ratio and increasing aging time decreases corrosion resistance of Ta addition alloy. In addition, 17-4 PH stainless steel densities decreased with increasing Ti%, hardness increased and 17-4 PH alloys were added in the alloys of stainless steel, with a different ratio of Ti added (0.5% -1% - 1.5% - 2%). Again with the increased Ti ratio, the corrosion resistance of the alloy increased and the corrosion resistance of the alloy decreased with increasing aging time.

KeyWords : Aging, Steel, 17-4 PH stainless steel, Corrosion.

ScienceCode : 916.3.028



TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu süreçte desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. İjlal şİMŞEK, Öğr. Gör. Dr. Doğan şİMŞEK hocalarıma, kıymetli arkadaşım Oğuzhan ÇALIŐKAN'a ve Kes Klima San. Tic. Ltd. őti ailesine teőekkürü bir borç bilirim.

Bu Yüksek Lisans Tez alıőmasında, Karabük Üniversitesi Rektörlüğü BAP Komisyonuna KBÜ-BAP-17-YL-419 numaralı proje ile desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Sevgili aileme, maddi ve manevi yardımlarını benden esirgmeden her zaman yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | vi |
| TEŞEKKÜR | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xiii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xvi |
| | |
| BÖLÜM 1 | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 | 3 |
| TOZ METALURJİSİ VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ | 3 |
| 2.1. TOZ METALURJİSİ KULLANIM ALANLARI | 4 |
| 2.2. TOZ METALURJİSİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI | 5 |
| 2.3. MEKANİK ALAŞIMLAMA | 5 |
| 2.3.1. Mekanik Alaşımlama Cihazları | 10 |
| 2.3.2. Mekanik Alaşımlamaya Etki Eden Parametreler | 12 |
| 2.3.2.1. Öğütücü Haznesi Malzemesi | 12 |
| 2.3.2.2. Öğütme Ortamı | 12 |
| 2.3.2.3. Bilya ve Tozun Oranı | 13 |
| 2.3.2.4. Öğütme Atmosferi | 13 |
| 2.3.2.5. Öğütme Süresi | 13 |
| 2.3.2.6. Bağlayıcının Cinsi | 13 |
| 2.4. METAL TOZLARININ SIKIŞTIRILMASI | 14 |
| 2.4.1. Sıkıştırma Teorisi | 15 |
| 2.4.2. Sıkıştırma Yöntemleri | 15 |

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 2.4.2.1. Kalıp İçerisinde Sıkıştırma | 15 |
| 2.4.2.2. İzostatik Sıkıştırma | 16 |
| 2.4.2.3. Yüksek Enerji İle Sıkıştırma | 17 |
| 2.4.2.4. Ekstrüzyon Yöntemi İle Sıkıştırma..... | 17 |
| 2.4.2.5. Titreşim İle Sıkıştırma | 17 |
| 2.5. TOZLARIN SİNERLENMESİ..... | 18 |
| 2.5.1. Katı Faz Sinterlemesi..... | 18 |
| 2.5.2. Sıvı Faz Sinterlemesi | 19 |
| 2.5.3. Sinterleme Atmosferi Ve Etkisi..... | 20 |
| BÖLÜM 3 | 22 |
| PASLANMAZ ÇELİKLER..... | 22 |
| 3.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ÜSTÜNLÜKLERİ..... | 23 |
| 3.2. PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ..... | 23 |
| 3.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler | 24 |
| 3.2.2. Martenitik Paslanmaz Çelikler..... | 25 |
| 3.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler..... | 25 |
| 3.2.4. Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler | 26 |
| 3.2.5. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler..... | 27 |
| 3.2.5.1. 17-4 PH Paslanmaz Çeliğinin Toz Metalurjisi İle Üretimi..... | 28 |
| BÖLÜM 4 | 29 |
| KOROZYON | 29 |
| 4.1. KOROZYONA ETKİ EDEN PARAMETRELER | 29 |
| 4.1.1. Ortamın Etkisi..... | 29 |
| 4.1.2. Sıcaklığın Etkisi..... | 29 |
| 4.1.3. Malzeme Seçiminin Etkisi | 30 |
| 4.1.4. Taneler Arasındaki Özelliklerin Farklılıkları | 30 |
| 4.1.5. Sistemin Tasarımı | 30 |
| 4.1.6. Sistemin Yer Aldığı Ortamın Oksijen Yoğunluğu | 30 |
| 4.1.7. Zemin Elektriksel Özgül Direncinin Etkisi | 30 |
| 4.2. KOROZYON MEKANİZMASI | 31 |

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 4.2.1. Fiziksel Korozyon..... | 31 |
| 4.2.2. Kimyasal Korozyon..... | 31 |
| 4.2.3. Elektrokimyasal Korozyon..... | 31 |
| 4.3. KOROZYON TÜRLERİ..... | 32 |
| 4.4. KOROZYON HIZININ BELİRLENMESİ YÖNTEMLERİ..... | 33 |
| 4.4.1. Kimyasal Yöntemler..... | 34 |
| 4.4.1.1. Ağırlık Kaybıyla Korozyon Hızının Ölçülmesi..... | 34 |
| 4.4.2. Elektrokimyasal Yöntemler..... | 36 |
| 4.4.2.1. Lineer Polarizasyon Yöntemi..... | 36 |
| 4.4.2.2. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi Yöntemi..... | 38 |
| 4.4.2.3. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi..... | 40 |
| BÖLÜM 5 | 43 |
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 43 |
| 5.1. DENEYSEL MALZEMELER..... | 43 |
| 5.2. ELEMENT TOZLARIN KARIŞTIRILMASI..... | 44 |
| 5.3. TOZ KARIŞIMININ SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMESİ..... | 45 |
| 5.4. SİNERLEME..... | 46 |
| 5.5. YAŞLANDIRMA İŞLEMLERİ..... | 47 |
| 5.6. KARAKTERİZASYON İŞLEMLERİ..... | 48 |
| 5.6.1. Metalografik İşlemler..... | 48 |
| 5.6.2. SEM, EDS ve XRD İncelemeleri..... | 48 |
| 5.6.3. Sertlik Ölçümleri..... | 48 |
| 5.6.4. Yoğunluk Ölçümü..... | 49 |
| 5.6. KOROZYON TESTLERİ..... | 49 |
| BÖLÜM 6 | 51 |
| DENEYSEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ | 51 |
| 6.1. MİKRO YAPI İNCELEMELERİ..... | 51 |
| 6.1.1. Ta İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların SEM ve EDS İncelemeleri..... | 51 |
| 6.1.2. Ti İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların SEM ve EDS İncelemeleri..... | 53 |
| 6.2. YOĞUNLUK VE SERTLİK SONUÇLARININ İNCELENMESİ..... | 55 |

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 6.2.1. Ta İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların Yoğunluk ve Sertlik Sonuçlarının İncelenmesi | 55 |
| 6.2.2. Ti İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların Yoğunluk ve Sertlik Sonuçlarının İncelenmesi | 56 |
| 6.3. XRD ANALİZİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ | 57 |
| 6.3.1. Ta İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların XRD Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 57 |
| 6.3.2. Ti İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların XRD Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 58 |
| 6.4. KOROZYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ | 59 |
| 6.4.1. Ta İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların Korozyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 59 |
| 6.4.2. Ti İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların Korozyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 63 |
| | |
| BÖLÜM 7 | 68 |
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 68 |
| | |
| KAYNAKLAR | 70 |
| | |
| ÖZGEÇMİŞ | 75 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 2.1. Toz metalurjisi üretim yönteminin işlem basamakları | 2 |
| Şekil 2.2. Mekanik alaşımlama esnasında tozlarda oluşan deformasyon | 6 |
| Şekil 2.3. Bilyaların tozlarla çarpışmasının şematik olarak gösterimi | 7 |
| Şekil 2.4. Mekanik alaşımlama yönteminin ilk evresi | 8 |
| Şekil 2.5. Mekanik alaşımlama işleminin ikinci aşaması | 9 |
| Şekil 2.6. Mekanik alaşımlama işleminin son aşaması | 9 |
| Şekil 2.7. Spex tipi öğütücü | 10 |
| Şekil 2.8. Fritsch Pulverisette 7 marka gezegen tipli öğütücü | 11 |
| Şekil 2.9. Atritör tipi karıştırıcı | 11 |
| Şekil 2.10. Kalıpta sıkıştırma yöntemi | 16 |
| Şekil 2.11. (a) İzostatik sıkıştırma, (b) Sıcak presleme cihazı | 17 |
| Şekil 4.1. Korozyon hücresi | 31 |
| Şekil 4.2. Korozyon türleri | 32 |
| Şekil 4.3. Lineer polarizasyon yöntemi ile Rp bulunması | 36 |
| Şekil 4.4. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri | 41 |
| Şekil 5.1. Precisa XB220A marka hassas tartı cihazı | 43 |
| Şekil 5.2. Turbula Shaker Mixer (Model T2F Glenn Mills) tipi karıştırıcı cihazı | 44 |
| Şekil 5.3. Presleme kalıbı | 44 |
| Şekil 5.4. Tek eksenli 50 ton kapasiteli Hidroliksan marka pres cihazı | 45 |
| Şekil 5.5. Thermal Technology GMBH marka ısıl işlem fırını | 46 |
| Şekil 5.6. 17-4 PH alaşımının sinterlenme sıcaklık zaman grafiği | 46 |
| Şekil 5.7. SHIMADZU marka HMV (vickers) sertlik cihazı | 48 |
| Şekil 5.8. IviumStat xRE Bilgisayar Kontrollü Potansiyotat/Galvanostat Test Cihazı | 48 |
| Şekil 6.1. Farklı miktarlarda Ta ilave edilen 480 °C sıcaklıkta 1, 4 ve 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin mikro yapı SEM görüntüleri | 50 |

| | |
|---|----|
| Şekil 6.2. Farklı miktarlarda Ti ilave edilen 480 °C sıcaklıkta 1, 4 ve 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin mikroyapı SEM görüntüleri | 52 |
| Şekil 6.3. Farklı miktarlarda Ta ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çeliklerin yoğunluk (a) ve sertlik (b) değişimleri..... | 54 |
| Şekil 6.4. Farklı miktarlarda Ti ilave edilen 17-4PH paslanmaz çeliklerin yoğunluk (a) ve sertlik (b) değişimleri..... | 55 |
| Şekil 6.5. Farklı miktarlarda Ta içeren 17-4 PH paslanmaz çeliklerin XRD sonuçları..... | 56 |
| Şekil 6.6. Farklı miktarlarda Ti içeren 17-4 PH paslanmaz çeliklerin XRD sonuçları..... | 57 |
| Şekil 6.7. Farklı miktarlarda Ta içeren 17-4 PH paslanmaz çeliklerin potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrileri (a) %0,15 Ta, (b) %0,3 Ta, (c) %0,45 Ta ve (d) %0,6 Ta..... | 59 |
| Şekil 6.8. Farklı miktarlarda Ta ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin korozyon testi sonrası mikro yapı SEM görüntüleri..... | 62 |
| Şekil 6.9. Farklı miktarlarda Ti içeren 17-4 PH paslanmaz çeliklerin potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrileri (a) %0,5 Ti, (b) %1,0 Ti, (c) %1,5 Ti ve (d) %2,0 Ti..... | 64 |
| Şekil 6.10. Farklı miktarlarda Ti ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480°C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin korozyon testi sonrası mikro yapı SEM görüntüleri..... | 66 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| Çizelge 4.1. Bağlı korozyon direnci..... | 35 |
| Çizelge 5.1. Deneysel çalışmalarda elemental tozların saflık oranları | 42 |
| Çizelge 5.2. Deney çalışmalarında kullanılan 17-4 PH paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri | 43 |
| Çizelge 6.1. Farklı miktarlarda Ta ilave edilen 480 °C sıcaklıkta 1, 4 ve 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin EDS analizi sonuçları | 51 |
| Çizelge 6.2. Farklı miktarlarda Ti ilave edilen 480 °C sıcaklıkta 1, 4 ve 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin EDS analizi sonuçları | 53 |
| Çizelge 6.3. 0,1 M H ₂ SO ₄ sıvısı içerisinde farklı miktarlarda Ta ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik elektrotları ve Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametleri..... | 60 |
| Çizelge 6.4. 0,1 M H ₂ SO ₄ sıvısı içerisinde farklı miktarlarda Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik elektrotları ve Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametleri..... | 65 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

| | |
|----|-------------|
| C | : karbon |
| Cr | : krom |
| Cu | : bakır |
| Mo | : molibden |
| N | : azot |
| Ni | : nikel |
| Os | : osmiyum |
| Ta | : tantalyum |
| Ti | : titanyum |
| V | : vanadyum |
| W | : volfram |
| Zr | : zirkonyum |

KISALTMALAR

| | |
|-----|---|
| EIS | : Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi |
| HMV | : Hardness Micro Vickers (Mikro Vickers Sertlik) |
| MMK | : Metal Matriksli Kompozit |
| SEM | : Scanning Electron Microscobe (Taramalı Elektron Mikroskobu) |
| TM | : Toz Metalurjisi |
| XRD | : X-Ray Diffraction (X-Işını Difraksiyonu) |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yaşlandırma ile dayanımları arttırılan paslanmaz çelikler, korozyon direncinin yanı sıra bu alaşımların dayanımlarının iyileştirilerek, daha yüksek sertlik elde edilebilen malzemelerdir [1]. Yapıda yaşlanma ısı işlemi ile oluşturulan çökeltiler ilk olarak 1940'larda fark edilmiştir. Bu nedenle, özel uygulamalarda oldukça tercih edilmektedir. 17-4 PH (çökelti sertleştirmeli) paslanmaz çelik kimyasal bileşiminde yaklaşık olarak %17 Cr, %4Ni, %3 Cu bulunmaktadır [2]. Bu paslanmaz çelikler yüksek mukavemet ve kırılma tokluğu, kaynaklanabilirlik ve işlenebilirlikleri nedeniyle kimya sektöründe, enerji santrallerinde ve su reaktörlerinde kullanılmaktadır [3]. Bunun yanında, petrol sektöründe ve buna bağlı olarak üretilen araç ve gereçlerin yapımında, havacılık sektöründe, bağlantı elemanlarında, nükleer reaktörlerde ve savunma sanayiinde tercih edilmektedir. 17-4 PH paslanmaz çeliklerin olumsuz yanı ise, mekanik özelliklerinin zayıf olmasıdır. Yani bu alaşımlar zayıf aşınma özelliğine sahiptir [4]. Bu nedenle, gerilim altında ve sürtünme ile çalışan parçalarda, kısa zamanda deformasyon meydana gelmektedir. Bundan dolayı da, bu alaşımların dayanımlarının iyileştirilmesi büyük önem arz etmektedir. 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımların dayanımlarının arttırılmasında en çok tercih edilen yöntem ise, yaşlandırma ısı işlemidir. Buna karşılık, yaşlandırılan alaşımlarda karşılaşılan en ciddi problem, alaşımların korozyon dirençlerinin azalmasıdır. Başka bir deyişle, yaşlandırılan malzemelerin korozyona uğraması riskidir. Bu paslanmaz çelikler yaşlandırılarak birçok farklı sektörde ihtiyacı karşılarken, kullanım alanında istenen şartlar karşılanırken, ortopedik cerrahi gibi bazı yeni ve güncel olarak kabul gören ve bu alaşımların korozyon dirençleri ile birlikte özel tasarımlara olan gereksinimler de her geçen gün artma eğilimi sergilemektedir.

Bu çalışmada, yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz elik malzemelerin dayanımını ve kullanım ömrünü attırmak için orijinal bileşime alaşım elementi olarak farklı miktarlarda, Ta ve Ti ilave edilmiştir. Farklı miktarlarda Ta ve Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz elik alaşımlara ise yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. 480  C'de ve farklı sürelerde yaşlandırılan 17-4 PH paslanmaz çeliklerde alaşım element miktarı ve yaşlandırma sürelerinin, alaşımların mikro yapı ve korozyon çalışmaları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

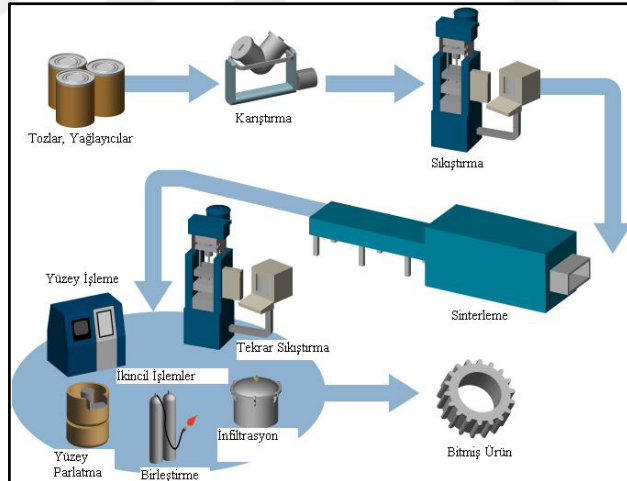


BÖLÜM 2

TOZ METALURJİSİ VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Toz metalurjisi (TM) yöntemi 5000 yıl öncesine kadar dayanan bir tarihe sahiptir [5,6]. İlk ticari uygulamaları karbon (C), zirkonyum (Zr), vanadyum (V), osmiyum (Os), tantal (Ta) ve volframın (W) lamba filamanlarında kullanılmasına dayanmaktadır.

Toz metalurjisi yöntemi genelde elementel veya alaşım toz malzemelerinin karıştırılması, şekillendirilmesi ve sinterlenmesi süreçlerini içermektedir. Bu yöntem, diğer alternatif yöntemlere kıyasla daha düşük sıcaklarda kullanılmaktadır. TM yönteminde mikro yapının iyi bir şekilde elde edilebilmesi için kullanılan toz parçacıkların yapı içerisinde homojen olarak dağıtılması oldukça önemlidir [7]. Şekil 2.1'de TM üretim yönteminin işlem basamakları görülmektedir [8].



Şekil 2.1. Toz metalurjisi üretim yönteminin işlem basamakları [8].

TM yöntemi, üretimde sunduğu çeşitlilikten dolayı bütün metal işleme yöntemleri arasında en kapsamlı şekillendirme ve imalat yöntemidir. TM üretim yöntemini cazip kılan en önemli unsur, yüksek kaliteye sahip karmaşık geometriye sahip ürünlerin istenilen toleranslarda ve ekonomik olarak üretilebilmesidir.

TM yöntemi hem sürekli hem de süreksiz katkılı metal matrisli kompozit (MMK) malzemelerin üretimine de imkân sağlamaktadır. Genellikle TM ile üretilen MMK malzemelerin, diğer alternatif imalat yöntemlerine kıyasla daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Geliştirilen mukavemetin yanı sıra süneklilik, tokluk ve yorulmayı ihtiva eden kırılma özellikleri de etkili bir biçimde dengelenmektedir [9]. Özellikle MMK'lerin her biri için geliştirilen ısıl işlem ile katkı malzemesi ve yaşlanma şartları, en iyi mekanik özelliklerin elde edilmesini sağlamaktadır. Matrise ilave edilen seramik takviye fazı, kompozitlerin yüksek sıcaklık dayanımlarını arttırmaktadır [10].

2.1. TOZ METALURJİSİ KULLANIM ALANLARI

Gelişen teknolojiyle birlikte TM'nin uygulama alanları oldukça artmıştır. 200 µm'den küçük metal parçacıkları toz olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemle üretilen parçalar birçok alanda kullanılmaktadır. Genellikle demir içeren alaşımların üretiminde kullanılan TM yöntemi, özellikle otomotiv sektöründe vazgeçilmezdir. TM yöntemi otomotiv sektörünün dışında da kullanılmaktadır. Bunların bazıları;

- Kendinden yağlamalı yatak burçları,
- Mekanik filtreler,
- Metal ve metal olmayan malzeme alaşımları,
- Belirli ömre sahip mıknatıslar,
- Elektrik ampüllerinde bulunan filamentler,
- Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlar,
- Sürekli mıknatıslar,
- Mermi kovanları,
- Sürtünme ile çalışan yataklar,
- Dişli sistemleri,

- Pompa ve sistemleridir [11].

2.2. TOZ METALURJİSİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Avantajları;

- Ergitme sırasında kayıplar yoktur.
- Talaş kaldırma işlemlerini azaltmakta ya da işlem sırasında oluşan hurda kayıplarını azaltmaktadır.
- Sıkı toleranslara sahip ve düzgün bitirme yüzeylerine sahip malzemelerin üretilmesini sağlar.
- Yoğunluk ve ergime noktalarındaki farklılıklardan dolayı farklı yöntemler ile üretimi olası olmayan alaşım ya da karışımların üretilmesini mümkün kılar.
- Üretilen parçalar gözenekli yapıya sahip olduğundan dolayı aşınma dayanımlarını arttırabilmek için gözeneklere yağ emdirme işlemi yapılabilir.
- Seri üretim için uygundur.

Dezavantajları;

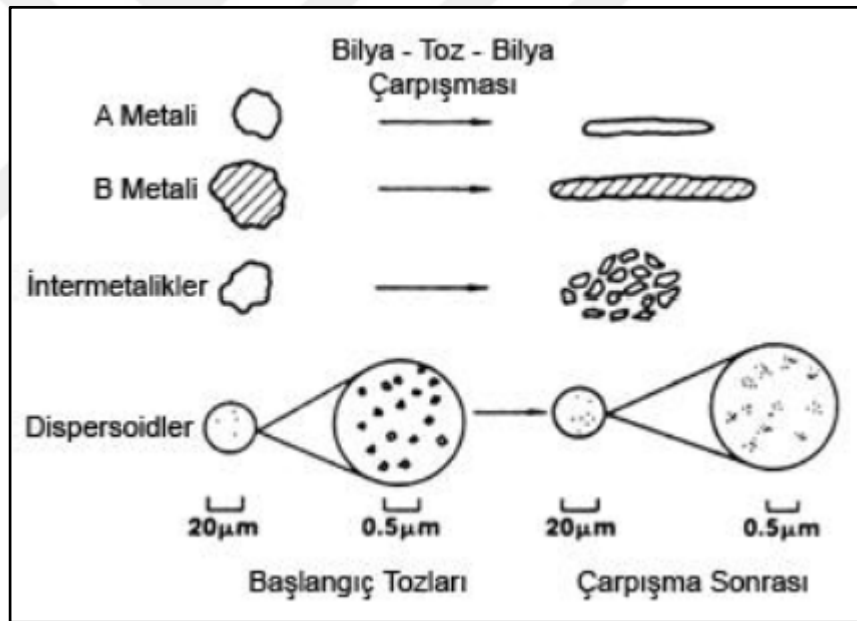
- Üretim sırasında kullanılan metal tozlarının kalıp içindeki akıcılığının sınırlı olması nedeniyle parça şeklinin sınırlı olması
- Karmaşık geometrilere sahip parçaların üretimi sonrasında parçanın yoğunluğunun her yerinde aynı olmaması
- Bu yöntem ile üretilmiş olan parçaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi için ek işlemlerin gerekliliği
- Metal tozlarının ingot malzemelerden daha pahalı olması [12].

2.3. MEKANİK ALAŞIMLAMA

Mekanik alaşımlama (MA), toz parçacıklarının yüksek enerjili bilyalı öğütlemeyle soğuk kaynaklanma, kırılma, tekrardan soğuk kaynaklanma aşamalarından oluşan bir katı hal işlemidir. İşlem sırasında mekanik kuvvetler ve tekrarlanan gerilmeler, parçacıklarda deformasyon sertleşmesini oluşturmaktadır. Bunun sonucunda

parçacıklar kırılmaktadır. Mekanik alaşımlama ile yapılan üretimler, TM’de önemli bir yere sahiptir. MA yöntemi 80’li yılların ortalarından başlayarak, malzemelerin mikro yapılarında kararlı ve yarı kararlı fazların, aşırı doymuş katı eriyiklerin, nanokristal ve yarı kristal ara fazlarının ve amorf alaşımlarının sentezlenmesi için kullanılmıştır [13,14]. Ayrıca mekanik alaşımlama ile elementel toz karışımlarının mekanik olarak aktif edilmesi, kimyasal tepkimelere yol açabilmektedir [15].

Mekanik alaşımlanan parçacıklar hem mikro yapısal hem de yapısal olarak denge durumundan uzaklaşmaktadır. Bu yöntemin en belirgin özelliği, birbirlerine karışmayan elementlerin alaşımlandırılmasının gerçekleştirilmesi ve nano boyutlarda homojen karışımın elde edilebilmesidir. Şekil 2.2’de mekanik alaşımlama sürecine bağlı olarak, parçacıklarda oluşan değişimler görülmektedir.

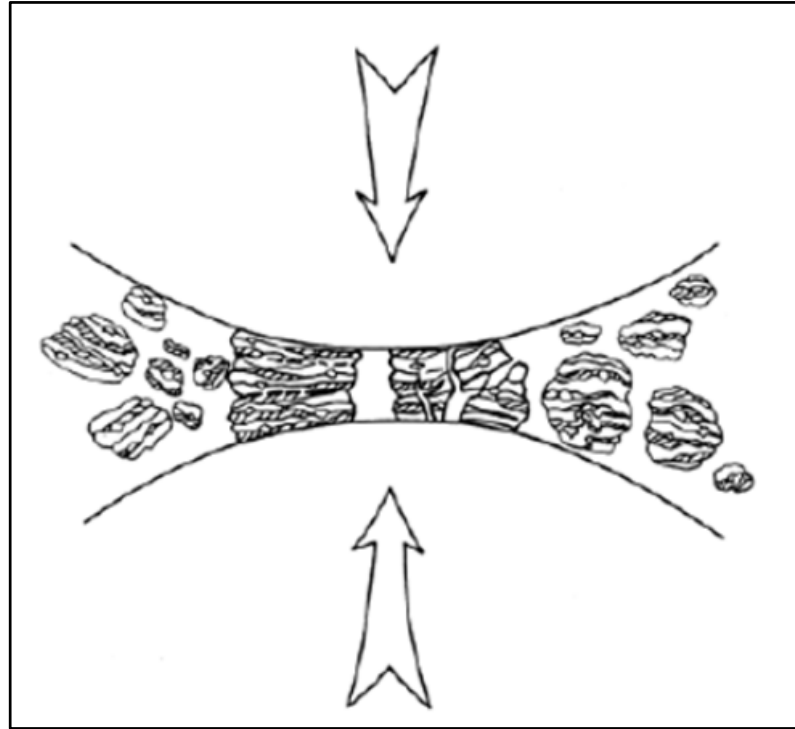


Şekil 2.2. Mekanik alaşımlama sırasında tozlarda oluşan deformasyon [16].

MA sürecinin ilk evrelerinde istenen alaşımlama tam olarak oluşmamaktadır. MA işleminin ilk aşamasında soğuk kaynaklanmadan dolayı kullanılan tozlar katmanlar şeklindedir. MA yönteminin ilerleyen aşamalarında ise deformasyon sertleşmesi nedeniyle tozlar gevrekleşmektedir. Bunun sonucunda, kırılma gerçekleşmektedir [17].

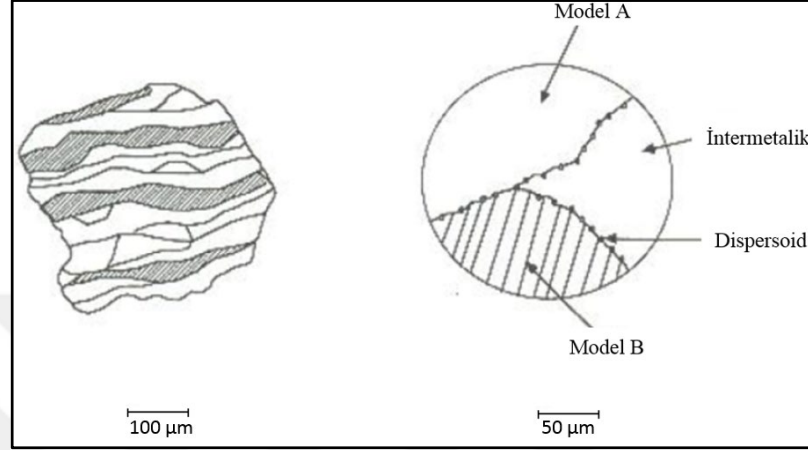
Toz metalürjisinde, ergitme yöntemleri (yani döküm metalurjisi veya yayınlı kaynak gibi) diğer alternatif yöntemlere kıyasla daha düşük sıcaklıkların kullanılmasından dolayı istenmeyen tepkimeler meydana gelmemektedir. Böylece, sıvı faz ve döküm yöntemi ile meydana gelen yapı kusurları olabildiğince giderilmektedir. Bu sayede ergitme döküm süreçleri ile elde edilmesi mümkün olmayan ve şekillendirilemeyen tam olarak homojen, yoğun, mikronaltı ya da nano boyutlu kristal taneli, segregasyonsuz ve yüksek mukavemetli malzemelerin üretilmeleri mümkündür [8,17]. MA işlemi sırasında tozlarda meydana gelen fiziksel değişimlerin daha iyi anlaşılabilmesi için, mekanik alaşımlamayı üç aşamada incelemek gerekir [16].

Mekanik alaşımlamanın ilk aşamasında metalik parçacıklar, birbirlerinin üzerine binen levhalar şeklide olmaktadır. Öğütme işleminin ilk aşamasında sünek haldeki tozlar birbirlerine soğuk kaynaklanmaktadır. Bu aşamada, ortalama parçacık boyutu soğuk kaynaklama mekanizmasının, kırılma mekanizmasına göre üstün olması nedeniyle yüksektir [17]. Şekil 2.3'te öğütücü ortamda bulunan bilyaların çarpışması sırasında bilyalar arasında sıkışan parçacıklara ilişkin görüntü verilmektedir [16].



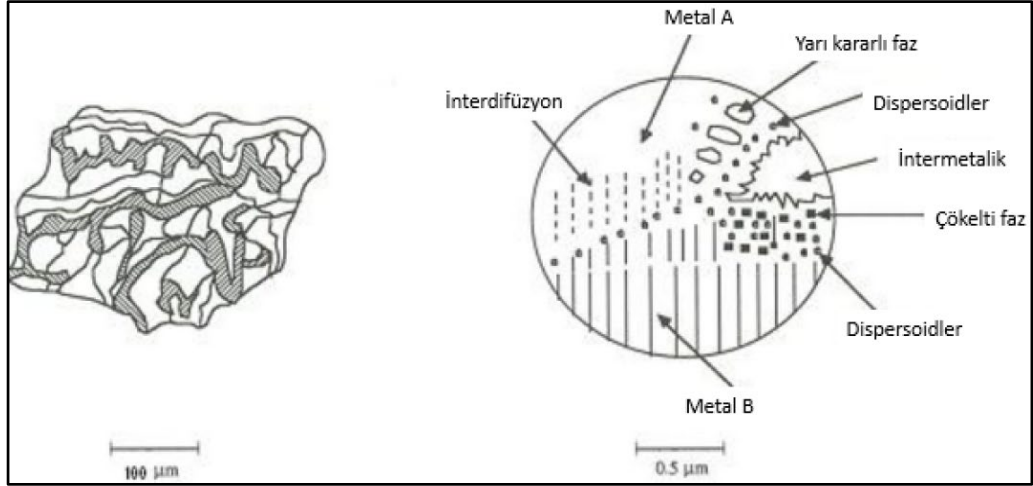
Şekil 2.3. Bilyaların tozlarla çarpışmasının şematik olarak gösterimi [16].

Eğer öğütme ortamında gevrek ve kırılğan parçacıklar varsa, bu gevrek ve kırılğan parçacıklar birbirlerine kaynaklanmış ve levha halindeki sünek tozların arasında sıkıştlar [16]. Şekil 2.4'te mekanik alaşımlamanın ilk evresindeki parçacık biçimi ve dağılımı verilmiştir [16,18].



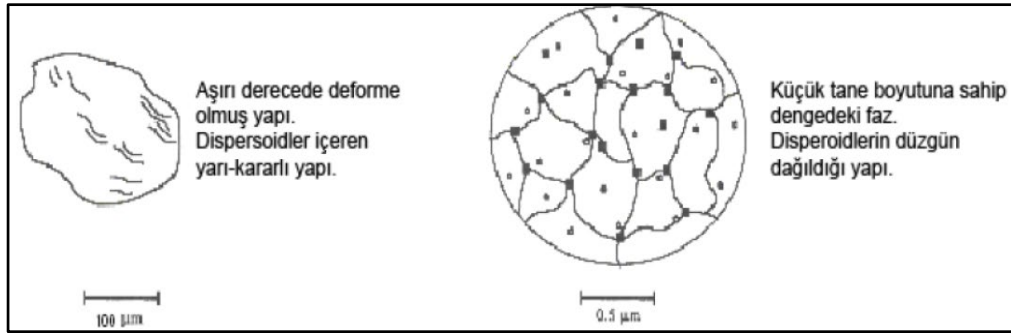
Şekil 2.4. Mekanik alaşımlama yönteminin ilk aşaması [16].

İkinci aşamada ise, öğütme süresinin artmasıyla dislokasyon sertleşmesinin yanında gevrek dispersoidler ve intermetalik fazlar oluşmaktadır. Bu aşamada kırılma mekanizması, soğuk kaynaklanma mekanizmasına göre daha baskındır [16,17]. Öğütme bilyalarında depolanan kinetik enerji, parçacık boyutundaki düşüş, mikro yapısal karışımındaki artış ve yüksek sıcaklığa neden olmaktadır. Böylece metalik yapıdaki tozda çözünürlük meydana gelmektedir [18]. Öğütme ortamındaki sıcaklığın artmasına bağlı olarak, tek fazlı yapıya sahip bölgeler arasındaki atomik seviyedeki yayınma mesafeleri azalmaktadır. Yayınma için gereklilik arz eden aktivasyon enerjisindeki azalma, söz konusu bölgelerde yeni fazların meydana gelmesine imkan vermektedir [16]. Şekil 2.5'te mekanik alaşımlama işleminin ikinci aşamasında incelen lamelin kalınlığı, çözünürlük bölgesi ve yeni fazın meydana gelmesi verilmiştir [16,18].



Şekil 2.5. Mekanik alaşımlama işleminin ikinci aşaması [16].

Mekanik alaşımlamanın son aşamasında, düzenli yapının elde edilmesi ve parçacık boyutunun artmasına neden olan soğuk kaynaklanma ile parçacık boyutunun azalmasına neden olan kırılma mekanizmaları arasında dengeye ulaşılmaktadır. Sonuç olarak küçük boyutlu parçacıklarla büyük boyutlu parçacıklar birbirleriyle karışarak boyutsal olarak homojen bir yapı oluşturmaktadır [17]. Şekil 2.6'da verilen şematik görüntüde mekanik alaşımlamanın son aşamasında meydana gelen yapı görülmektedir [19].



Şekil 2.6. Mekanik alaşımlama işleminin son aşaması[16].

Mekanik alaşımlama süresinin arttırılmasının üretilen malzemenin homojen dağılımlı olmasına herhangi bir etkisi olmamaktadır. Teknik üstünlükleriyle mekanik alaşımlamanın değerlendirilmesi yapıldığında oldukça verimli bir yöntem olduğu anlaşılmaktadır. Geleneksel yöntemler ile alaşımlaması yapılamayan elementler alaşımlandırılabilir [20].

2.3.1. Mekanik Alaşımlama Cihazları

Mekanik alaşımlamada farklı tiplerde yüksek enerjili bilyalı öğütücüler kullanılmaktadır. Kullanılan öğütücüler spex tipi, gezegen tipi ve çeşitli atritör öğütücüler olarak gruplandırılmaktadır. Öğütücü ekipmanların farklı olmasının nedeni, farklı kapasitelere sahip olmaları, öğütme verimlilikleri veya ısıtma ve soğutma amaçlı düzeneklere sahip olmasıdır [17]. En yaygın olarak kullanılan öğütücü tipi Spex tipi öğütücülerdir. Bu tip öğütücüler yaklaşık 10-20 g arasında tozu öğütebilme kapasitesine sahiptir. Ayrıca bu öğütücü tipi, malzeme ve bilyaların konulacağı kavanoz, kilit mekanizması ve 1200 devirle sarsıntı oluşturan karıştırma cihazından oluşmaktadır. Şekil 2.7’de Spex tipi öğütücünün görünümü verilmiştir.



Şekil 2.7. Spex tipi öğütücü.

Bunun haricinde kullanılan diğer öğütücü tipi ise gezegen tipi değerirmenlerdir. Şekil 2.8’de Fritsch Pulverisette 7 marka planeter tipi öğütücünün görüntüsü verilmiştir [17].



Şekil 2.8. Fritsch Pulverisette 7 marka planeter tipi öğütücü.

Bir diğer öğütücü türü ise atritörlerdir. Bu tip öğütücülerde oldukça yüksek miktarlarda (0,5-40 kg) tozların öğütülmesi mümkündür. Bu öğütücüde dikey konumdaki shaftın ve karıştırıcıların sistem içerisinde bulunan tankta dakikada 250 devir hızla dönerek öğütme işlemini gerçekleştirir [17]. Şekil 2.9’da atritör tipi öğütücünün görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.9. Atritör tipi karıştırıcı.

Artan enerjiyle birlikte öğütme süresinde azalma olmaktadır. Bu bağlamda Spex tipi öğütücü makinesinde öğütme işlemi birkaç dakika sürerken, atritör tipi öğütücüde bu işlem saatler sürmektedir.

2.3.2. Mekanik Alaşımlamaya Etki Eden Parametreler

Öğütücü tipine göre mekanik alaşımlama işlemine etki eden çeşitli parametreler bulunmaktadır. Bunlar;

- Öğütücü hanesinin malzemesi
- Öğütme ortamı
- Bilya ve toz oranı
- Öğütme atmosferi
- Öğütme süresi
- İşlem kontrol kimyasalıdır [17].

2.3.2.1. Öğütücü Haznesi Malzemesi

Öğütme sırasında hazne iç duvarlarında az da olsa aşınma oluşabilmektedir. Bu aşınma sonucuyla hazne yüzeyinden kopan parçalar üretim esnasında olan tozları kirleterek, tozların kimyasal bileşiminin değişmesine neden olmaktadır.

2.3.2.2. Öğütme Ortamı

Eğer kullanılan öğütücü ve öğütülen malzeme birbirlerinden farklı ise üretilen tozlar bu haznenin içerisinde karışabilmektedir. Aynı tür malzeme seçilir ise birbirleri arasında çözünme oluşsa bile üretilen alaşım etkilenmez [17]. Bu nedenle, üretimi yapılacak olan malzemeye uygun öğütme sisteminin seçilmesi gereklidir. Ayrıca öğütme işlemi için seçilen malzeme, öğütmenin yapılabilmesi için gerekli olan etkiyi gösterecek kadar yoğun yapıya sahip malzeme olmalıdır [17].

2.3.2.3. Bilya ve Tozun Oranı

Bilya ve tozlar arasındaki oran 1:1'den 22:1'e kadar değişen oranlarda kullanılmaktadır. Genellikle Spex tipi öğütme cihazlarında kullanılan oran 10:1'dir. Bilya ve toz oranı istenilen sürede istenilen seviyede bir öğütmenin oluşmasının sağlanabilmesi açısından oldukça önemli bir parametredir [17].

2.3.2.4. Öğütme Atmosferi

Öğütme atmosferinin en önemli etkisi kirlenmedir. Bu nedenle tozlar genelde vakum veya inert gazlar olan argon veya helyum atmosferinde gerçekleşmektedir. Yüksek saflığa sahip argon, oksidasyonun ve kirlenmenin önlenmesine yönelik yaygın olarak kullanılan gazdır. Öğütme haznesindeki hava malzemede öğütme sırasında oksit veya nitrür oluşumuna neden olabilmektedir. Bu nedenle, tozların öğütücüye konulmasından ve öğütücüden çıkarılmasına kadar geçen kısım, koruyucu bir gaz atmosferinde gerçekleştirilmelidir [17].

2.3.2.5. Öğütme Süresi

En genel olarak içyapıda oluşan düzen, mekanik alaşımlamanın süresine bağlı olarak başlangıç tozlarının boyutunu etkilemektedir. Normalde tozların kırılması ve soğuk kaynaklanması sonucunda kararlı fazın meydana getirilmesi için yeterli sürede öğütme işlemi yapılmalıdır. Fakat süre, kullanılan öğütücünün cinsine, bilya/toz oranına, öğütmenin verimine ve öğütmenin sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Sürenin belirlenebilmesi için bu parametrelerin dikkate alınması gereklidir. Öğütülmesi istenen tozların gerekenden fazla süre öğütülmesi ve gereğinden fazla mekanik alaşımlanması, tozlarda kirlenme seviyesini artırır ve istenilmeyen fazların sistemde oluşmasına neden olabilir [17].

2.3.2.6. Bağlayıcının Cinsi

Genellikle sünek malzemeler meydana gelen yüksek düzeydeki plastik deformasyonun etkisiyle birbirlerine soğuk kaynaklanmaktadır. Uygun alaşımlama

işlemi soğuk kaynamayla kırılma arasındaki denge durumunun sağlanmasıyla gerçekleşmesinden dolayı, ilave edilen bağlayıcılar ile soğuk kaynaklanmanın miktarı azaltılmaktadır. Bu bağlayıcılar, katı, sıvı veya gaz durumunda olabilir. Genellikle bağlayıcılar organik bileşikler olup malzemenin yüzeyini kaplayarak toz parçacıklarının arasında oluşan soğuk kaynamayı azaltmakta ve topaklanma oluşumunu da engellemektedir [17].

2.4. METAL TOZLARININ SIKIŞTIRILMASI

Toz taneciklerinin tamamı aynı şekle ve boyuta sahip olmadığından dolayı, sıkıştırma işlemi öncesinde homojen bir dağılımın oluşturulması amacıyla tozlar yağlayıcılar ile birlikte belirli bir süre karıştırılmalıdır. Sıkıştırılma işlemi için yağlayıcının kullanılmasındaki amaç, toz parçacıklarının kullanılan kalıp çeperlerinde oluşturdukları aşınmayı minimize etmenin yanı sıra üretilen malzemenin kalıp içinden rahat çıkarılması, toz parçacıklarının kendi aralarında oluşturdukları sürtünmeyi azaltarak toz akışının kolay olmasını sağlamak ve meydana gelebilecek enerji kayıplarını minimuma indirmektir [21].

Yağlayıcının ve tozların karıştırılma süreleri optimum seviyede olmalıdır. Bunun nedeni, karışımın fazla olması durumunda ergime sıcaklığı düşük yağlayıcıların ısınması neticesinde yapışkan bir hal almasıdır. Karışım süresi az olduğunda ise, yağlayıcıdan istenilen özellikler tam olarak alınamayabilir. Çeşitli yağlayıcı türleri malzemelerin dayanımlarına etki ederken bir kısım yağlayıcılar da sinterleme sırasında yanma işlemine maruz kalarak ürünlerde gözenekliliğin artmasına neden olabilmektedir [22]. Metal tozlarının ve yağlayıcıların karıştırılması sonrasında ve sinterleme öncesinde üretilen parçaya son şeklin verilmesi amacıyla daha önceden üretilmesi istenen parçanın şekline göre hazırlanan kalıpların içerisinde sıkıştırılırlar [23]. Sıkıştırılma sonucunda ve basıncın artması ile meydana gelen plastik deformasyon ile birlikte birbirlerine temas eden yüzeylerde yoğunluk artışı olmaktadır. Meydana gelen plastik deformasyonun sonucunda oluşan soğuk kaynaklanma, sıkışma sonrasında ham mukavemetin artmasını sağlamaktadır. Temas miktarının artmasıyla gözenek oranı azalmaktadır. Tüm toz parçacıklarında soğuk deformasyon sertleşmesi oluşmaktadır [24].

2.4.1. Sıkıştırma Teorisi

Presleme sırasındaki sıkışma olayı, sıkıştırma kuvvetlerinin doğrultusunda ve kalıbın yan duvarlarına doğru olmaktadır. Sıkıştırma işlemiyle gözeneklilik azalarak yoğunluk artmaktadır. Presleme neticesinde toz numunelerinin mikro sertliklerinin artması plastik deformasyon sertleşmesinin sonucudur. Kütlenin içinde bulunan hava boşluklarının yerini toz parçacıklarının almasıyla yoğunlukta artmaktadır. Ancak sıkışan havanın bir miktarı gözeneklerin içerisinde kalarak mukavemetin azalmasına neden olmaktadır [25].

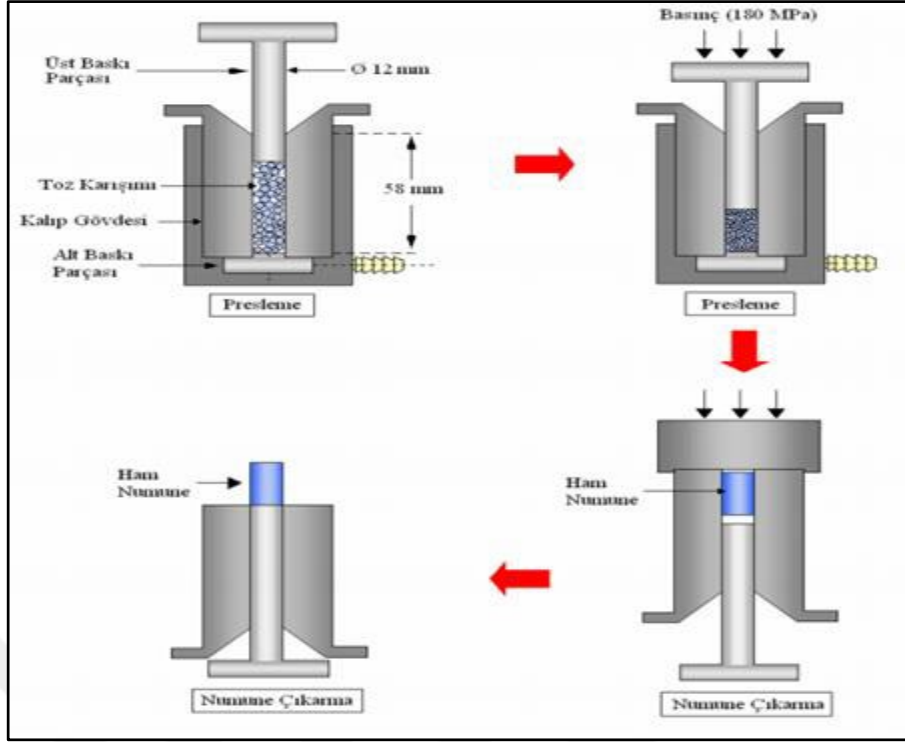
Toz ile kalıp duvarlarının arasındaki sürtünme, sıkıştırma işlemi için önemli sorun teşkil etmektedir. Presleme işleminde toz ile kalıp arasındaki sürtünme yüzeyinin artmasından dolayı sürtünme kuvveti de artmaktadır. Kalıp duvarlarının yağlanması, sürtünmenin direncini düşürür ve toz parçacıklarının daha iyi şekilde sıkışmasını sağlamaktadır. Preslemeden dolayı oluşan tanecik yapılarının arasındaki bağın iyi olması dayanıklılığı artırır [24].

2.4.2. Sıkıştırma Yöntemleri

Toz parçacıklarının sıkıştırılmasında, ekstrüzyonda sıkıştırma, yüksek enerji ile sıkıştırma, izostatik sıkıştırma, titreşimle sıkıştırma ve kalıp içerisinde sıkıştırma yöntemleri kullanılmaktadır [23].

2.4.2.1. Kalıp İçerisinde Sıkıştırma

Tek yönlü veya çift yönlü basınç uygulanarak gerçekleştirilen kalıbın içerisinde sıkıştırma en çok tercih edilen yöntemdir. Tek yönlü sıkıştırmada alt zımba sabit kalarak üst zımba hareketli olmaktadır ve üstteki zımbanın hareketiyle alt zımbaya doğru malzeme sıkıştırılmaktadır (Şekil 2.10). Sıkıştırma işlemi sonrasında parçadaki yoğunluk üst zımbadan hareket ile alt zımba doğrultusunda gittikçe azalma eğilimi göstermektedir [26].

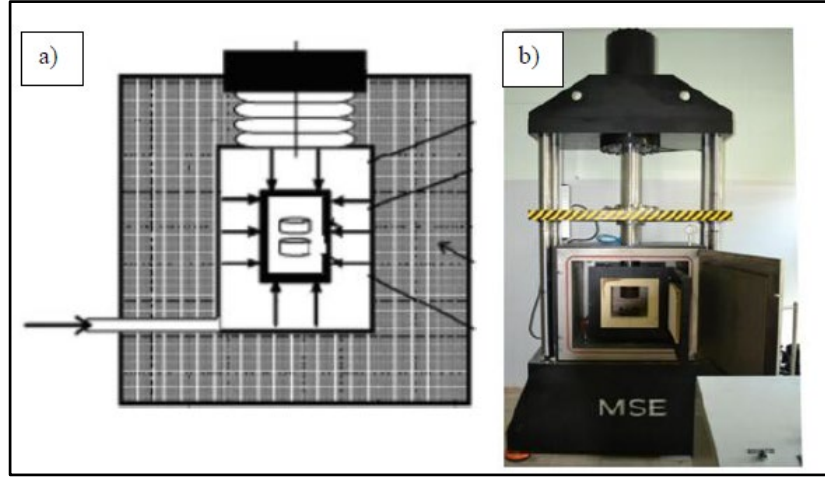


Şekil 2.10. Kalıpta sıkıştırma yöntemi [27].

Çift yönlü sıkıştırma işleminde, üst ve alt zımbanın her ikisi de hareketlidir. Toz üst ve alt zımbaların birbirine doğru hareketiyle her iki taraftan da sıkıştırılmasından dolayı parçaların yoğunluk dağılımları tek yönlüye göre daha homojendir [28].

2.4.2.2. İzostatik Sıkıştırma

İzostatik sıkıştırma (Şekil 2.11), homojen bir yapının elde edilebilmesi için kullanılan bir yöntemdir. İzostatik sıkıştırma işleminde, presleme basıncı bir gazın veya sıvının yardımı ile malzemeye bütün yönlerden aynı şekilde iletilerek daha da homojen bir yapı sağlanır [24].



Şekil 2.11. (a) İzostatik sıkıştırma, (b) Sıcak presleme cihazı [29].

2.4.2.3. Yüksek Enerji İle Sıkıştırma

Yüksek enerjili sıkıştırmada, mekanik, havalı ve patlamalı basınçların uygulanmasıyla büyük bir basıncın, 50 mili saniye kadar bir zaman içerisinde uygulanması ile gerçekleşmektedir [23].

2.4.2.4. Ekstrüzyon Yöntemi İle Sıkıştırma

Toz şekillendirilme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde tozlar, kapalı bir kabın içerisine konur ve ardından kap içerisinde hava alınır. Kap içindeki toz tanecikleri ısıtılır ve ekstrüzyon yoluyla malzeme üretilir. Ekstrüzyon yönteminde yüksek yoğunluklu parçaların üretimi yapılır. Ekstrüzyon öncesinde tozlar ısıya maruz bırakılmış ise sinterleme işlemi gereksizdir. Ekstrüzyon, genellikle önceden izostatik sıkıştırma ile yoğunlaştırılan metal toz malzemeye uygulanan bir yöntemdir. Daha fazla takım çeliklerinin üretilmesinde tercih edilmektedir [30].

2.4.2.5. Titreşim İle Sıkıştırma

Bu yöntemde amaç, düşük basınç ile kalıbın içinde parçanın son şekline yakın bir yoğun yapı sağlanmasıdır. Kalıp içerisindeki toza basınç uygulanmasına paralel olarak ayarlanmış frekanslarda titreşim uygulanarak malzeme üretimi gerçekleştirilir [23].

2.5. TOZLARIN SİNTERLENMESİ

Sinterleme işlemi, ön şekil verilen tozların belli sıcaklıklarda ve sürelerde birbirine bağlanarak bir kütleye dönüştürme işlemidir. Ham malzemelerdeki bağlanma olayı mekanik bir bağlanmadır. Yeterli seviyede dayanıma sahip preslenmiş ve ön sinterlenmiş olan malzemelerin istenilen seviyede yoğunluğa ve mukavemete ulaşmaları için sinterlenmelidirler. Sinterlenmenin gerçekleşmesi için gerekli olan itici güç, sistemde meydana gelen iç enerjinin azalmasıdır. İç enerjinin azalmasını sağlayan faktörler;

- Sinterlenen numune yüzeyi alanında azalma
- Gözeneklerin hacimlerinin azalması ya da küreselleşmesi
- Çok bileşene sahip sistemlerin içerisinde katı faz yapısının, sıvı faz yapısının içerisinde çözünmesiyle meydana gelen yoğunluk farklılığının giderilmesidir [8,31].

Sinterleme işlemi iki farklı fazda gerçekleştirilmektedir. Bunlar; katı faz sinterlemesi ve sıvı faz sinterlemesidir.

2.5.1. Katı Faz Sinterlemesi

Katı faz sinterlemesi, toz parçacıklarının arasındaki ilk bağın meydana gelmesi, boyun meydana gelmesi ve büyümesi, gözenek kanallarındaki kapanma, gözeneklerdeki yuvarlaklaşma, yoğunlaşma ve gözeneklerin birleşmesiyle irileşmesi aşamalarından meydana gelmektedir. Sinterleme işlemi toz parçacıklarının arasında boyun oluşumuyla başlamaktadır. Sinterleme işlemi devam ettikçe bağlar büyür ve bağların büyümesi evresi boyun büyümesi olarak adlandırılmaktadır. Bağlardaki büyümeyle gözeneklerde azalma meydana gelmez, fakat malzemenin mukavemeti artar. Ayrıca düzensiz olan gözenekler düzenli bir yapı oluştururlar. Meydana gelen gözenek kanallarının kapanması sırasında mikro yapı içerisinde önemli değişiklikler oluşur. Malzemenin taşınım mekanizmalarının aktif olması ve boyun büyümesiyle beraber birbirleri ile bağlantılı olarak gözeneklerin kapanması izole olmuş gözeneklerin meydana gelmesine sebebiyet verir. Yüksek sıcaklık oluşan gözeneklerin

yapısının yuvarlaklaşmasını arttırır. Bu aşama malzemenin mukavemetinin artışı yönünden oldukça önemlidir. Gözeneklerin küçülmesi ve malzemenin yoğunlaşması sinterleme işleminin önemli bir aşamasıdır. Malzeme taşınımıyla katının gözeneklere taşınımı ve gözeneklerde bulunan havanın dışarı atılmasıyla malzeme hacminde azalma olmaktadır. Sinterleme işleminin son aşamasında ise küçük gözenekler büyük gözeneklere doğru hareket ederek birleşir ve daha büyük gözeneklerin oluşmasını sağlamaktadır [8,32].

2.5.2. Sıvı Faz Sinterlemesi

Sıvı fazın varlığına bağlı olarak geçici veya sürekli olarak sıvı faz sinterlemesi ikiye ayrılmaktadır. Geçici sıvı faz sinterleme işleminde sıvı faz iç yayınma ile katı eriyiğe geçmesiyle yok olur. Sürekli sıvı faz sinterleme işleminde sinterleme boyunca daima sıvı faz bulunmaktadır. Katkı malzemesinin ana malzemede çözünürlüğün düşük olmasına karşın ana malzemenin katkı malzemesinde ve meydana gelen sıvıda çözünürlüğün yüksek olması gerekmektedir. Eğer katkı malzemesinin ana malzeme içerisindeki çözünürlüğü yüksek ise sinterleme sırasında şişme oluşmaktadır [8,33].

Sıvı faz sinterleme işleminin avantajları;

- Sinterleme sıcaklığının ve süresinin düşük olması
- Yoğunlaşmanın hızlı gerçekleşmesi
- Yoğunluğunun ve mekanik özelliklerinin üstün olmasıdır.

Sıvı faz tarafından meydana getirilen kılcal çekim kuvvetlerine sahip parçacıklar kendilerini birbirlerine çekerek hızlı bir biçimde yoğunlaşma oluşmasını sağlamaktadır. Sıvı fazı elde etmenin iki yolu bulunmaktadır. Bunlar;

- Farklı kimyasal yapılara sahip tozların kullanılması ve bu tozların birbirleri ile etkileşimleri sonucu bir sıvının oluşumudur.
- Ön alaşımlandırılmış metal tozu, sıvılaştırma ve katılaştırma eğrilerinin arasında bir sıcaklığa ısıtılması ile oluşturulmasıdır.

Sıvı faz sinterlemede karşılaşılan en önemli sorun ise gereğinden fazla miktarda sıvı fazın oluşumuyla beraber, ham malzemenin biçimini koruyamamasıdır. Sıvı faz sinterleme işleminde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bu hususlar;

- Faz diyagramına göre sinterleme sıcaklığında sıvı ve katı fazın bir arada uzun süre bulunabileceği alaşım noktasının seçilmesi gereklidir.
- Katı fazın, sıvı faz içinde sınırlı çözünürlüğünün olması gereklidir.
- Ergime sıcaklığı düşük olan bir sıvı faz seçilmelidir.
- Katı faz tanelerinin sıvı faz tarafından ıslatılması iyi olmalıdır.
- Sıvı miktarı malzemenin biçimini muhafaza edebileceği kadar az ve istenilen miktardaki yoğunluğa ulaşılabilecek kadar fazla olmalıdır.

Sıvı faz sinterleme işlemi üç aşamadan meydana gelmektedir. Sıcaklığın artışıyla beraber düşük ergime sıcaklığına sahip bileşenler sıvılaşır. Sıvı fazın oluşumu ile beraber kılcal boşluklar sebebiyle meydana gelen kuvvetler, sıvı fazın kılcal boşluklara doğru ilerlemesine yol açar. Katı parçacıkların üzerinde sıvı faz tarafından ortaya konulan kuvvete bağlı olarak, hızlı bir yoğunlaşma meydana gelir. Meydana gelen sıvı faz, katı parçacıkların birbirlerinin üzerinde kaymalarına sebep olur. Böylece mikro yapı, preslenmiş mikro yapıdan farklı yeniden düzenlenmeye başlar ve düzenleme süresi boyunca mikro yapı viskoz bir katı olarak davranmaktadır. İkinci aşamada çözünme ve yeniden çökme aşamasıdır. Sıvı içerisinde küçük yapılı taneler daha yüksek çözünürlüğe sahiptirler. Son aşamada ise katı hal kontrollü sinterleme işlemidir. Yoğunlaşma işlemi bu aşamada yavaş gerçekleşmektedir. Ayrıca bu aşamada malzemede tane büyümesi olmaktadır [33,34].

2.5.3. Sinterleme Atmosferi ve Etkisi

Sinterleme işleminde atmosfer, malzeme ve fırında oluşan oksitlenmeyi önlemek ve yüzeysel oksitlenmenin önlenmesi önemlidir. Fırın içerisinde buharlaşan yağlayıcıdan çıkan gazların dışarı atılması ve demir-karbon alaşımlarındaki blok parçaların bileşiminin kontrol edilebilmesi için parçaya uygun sinterleme atmosferinin seçilmesi

gereklidir. Endüstride genellikle Ar, H ya da N gazları oksitlenmeyi minimize etmek için kullanılmaktadır [35].



BÖLÜM 3

PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon direncine sahiptir. Ayrıca farklı mekanik özelliklere sahip çeşitlerinin olması, şekil verme işlemlerinin kolay olması, yüksek ve düşük sıcaklıklarda kullanılabilmesi ve estetik görünümüne sahip olması gibi özellikleri vardır. Paslanmaz çeliklerin kullanımlarının gün geçtikçe artması, gelişmiş toplumlarda refah seviyesinin göstergesi olarak sayılmaktadır. Dünya genelinde bir yıl içinde yaklaşık olarak 20 milyon ton paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Kullanılan paslanmaz çeliğin büyük çoğunluğunu yassı ürünler oluştururken, az kısmını ise çubuklar, teller, borular, dökümler ve dövme parçalar oluşturmaktadır. Paslanmaz çelikler, diğer çeliklere göre daha pahalıdır. Fakat bakım işlemlerinin kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi ve ucuz olması, kullanım ömürlerinin uzun olması, çevre dostu özelliğe sahip olması ve geri dönüşüm sırasında tamamının yapılabilmesi gibi avantajlarının olması, maliyet fiyatını gölgede bırakarak uzun vadede daha ekonomik olmasını sağlamaktadır.

Paslanmaz çeliklerin bileşimlerinde en az %11 civarında krom bulunmaktadır. Paslanmaz çeliklerin yüksek korozyon dayanımı sağlayan etken, çeliğin yüzeyine kuvvetli bir şekilde tutunan yoğun ve sünek yapıda, çok ince ve saydam bir yapıda olan oksit tabasıdır. Çok ince bir yapıda bulunan bu amorf katman sayesinde paslanmaz çeliklerin kimyasal etkileşimlere karşı pasif davranmasını sağlar ve ingirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı dayanım kazanırlar. Söz konusu oksit katmanı oksijenin bulunduğu ortamlarda meydana gelir ve dış etkenler ile bozulması durumunda kendini yeniden onararak eski özelliğine tekrardan kavuşur.

3.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ÜSTÜNLÜKLERİ

Korozyon dayanımı: Paslanmaz çeliklerinin tamamı korozyona karşı dayanıklıdır. Düşük alaşımlı çeşitleri atmosferik korozyona, yüksek alaşıma sahip çeşitleri ise asit, alkali çözeltilerle klorür ihtiva eden ortamlarda dahi dayanıklıdır. Ayrıca bu çelikler, yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı ortamlarında da kullanılabilir.

Yüksek ve düşük sıcaklıklar: Bazı paslanmaz çelik çeşitlerinde yüksek sıcaklıklarda tufallanma görülmediği gibi mekanik özelliklerde azalma görülmemektedir. Bazı türlerinde de çok düşük sıcaklıklarda bile gevrekleşme ve tokluklarında azalma meydana gelmez.

Üretim kolaylığı: Paslanmaz çeliklerin hemen hemen bütün türlerinin istisnalar dışında şekillendirilebilirlikleri, kesme ve kaynak işlemleri kolaydır.

Mekanik dayanım: Paslanmaz çeliklerin çoğu soğuk şekillendirme yöntemleri ile pekleşir ve dayanımının artması ile tasarım işlemlerinde malzeme kalınlıklarının azaltılması ile parça ağırlıklarında ve maliyette düşüşler sağlanabilir. Bazı çeşitlerinde ise ısıl işlemler aracılığı ile dayanımlarının artırılması mümkündür.

Görünüm: Paslanmaz çeliklerin temin edilmesi farklı yüzey kalitelerinde olabilir. Yüzeylerinin kalitesi ve görünümünün bakım kolaylığından dolayı uzun süre korunabilir.

Hijyenik özellik: Paslanmaz çeliklerin kolay temizlenebilirliği hastane, mutfak, gıda ve ilaç endüstrisinde yaygın kullanımını sağlamaktadır.

3.2. PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ

Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri değiştirilerek farklı özelliklere sahip alaşımlar elde edilebilmektedir. Paslanmaz çeliklerdeki krom miktarı artırılarak veya nikel ve molibden ilave edilerek korozyon dayanımları artırılmaktadır. Bunların dışında bakır, titanyum, niyobyum, kükürt, azot, alüminyum, silisyum ve selenyum

gibi alaşım elementlerinin ilave edilmesi ile paslanmaz çeliklerde olumlu etkiler oluşturabilmektedir. Paslanmaz çeliklerdeki içyapının belirlenmesinde önemli rol oynayan alaşım elementleri; krom, nikel, molibden ve mangandır. Paslanmaz elikler 5 grupta toplanır;

- Ferritik paslanmaz çelikler,
- Östenitik paslanmaz elikler,
- Ferritik-stenitik paslanmaz elikler (Dubleks paslanmaz elikler),
- Martenzitik paslanmaz çelikler,
- ökelti sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz elikler.

Paslanmaz elikler için yapılan gruplandırma içyapılarına göredir. En yaygın kullanılan paslanmaz çelikler, kullanım oranı %95 olan östenitik ve ferritik paslanmaz elikleridir.

3.2.1. Ferritik Paslanmaz elikler

Ferritik paslanmaz çelikleri düşük düzeyde karbon içerir ve %12-%18 arasında krom içermektedir. Ferritik paslanmaz çeliklerin zellikleri;

- Orta ve iyi düzeyde korozyon dayanımları krom miktarının arttırılmasıyla iyileştirilir.
- Isıl işlem ile dayanımları arttırılamaz, yalnızca tavlannış durumda kullanılmaktadır.
- Manyetik özelliğe sahiptir.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri diğer paslanmaz elik çeşitlerine göre nişpeten düşüktür.
- stenik çeliklere göre daha zor şekillendirilebilmektedir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları;

- Mutfak araç ve gereçleri,

- Dekoratif uygulamalarda,
- Otomobillerin şasi parçalarında,
- Egzoz elemanları,
- Sıcak su tanklarında kullanılmaktadır.

3.2.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin içerdiği karbon miktarı %0,1'den fazla ise yüksek sıcaklıklarda östenitik yapılıdır. Östenitlenme sıcaklığı çelik türüne göre 905 °C ile 1050 °C arasında değişmektedir. Bu sıcaklık seviyelerinde çeliğe su verilme işlemi ile çeliğin yapısının martenzitik olmasına neden olur. Bu yöntem ile çeliğin yapısının değiştirilmesi, çeliğin yüksek sertliğe sahip olmasını ve mekanik dayanımının artırılmasını sağlamaktadır. Martenzitik yapı paslanmaz çeliklerin başlıca özellikleri;

- Orta düzeyde korozyon direncine sahiptir.
- Isıl işlem uygulanabilir ve bu şekilde yüksek dayanım ve sertlik elde edilebilir.
- Kaynak edilebilirliği düşüktür.
- Manyetik özelliği vardır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin başlıca kullanım alanları;

- Bıçak imalatında,
- Ameliyat aletlerinde,
- Millerde ve pimlerde kullanılmaktadır.

3.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin içerisinde yeterli seviyede nikel bulunması halinde yapısı, oda sıcaklığında dahi östenitiktir. Östenitik çeliklerin bileşiminde %18 krom ve %8 nikel bulunmaktadır. Bu tip çelikler şekillendirme, mekanik özellikler ve korozyon direnci bakımından uygun kombinasyon sunmaktadır. Süneklikleri, toklukları ve şekillendirme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile oldukça yüksektir. Manyetik olmayan

bu tür çelikler, östenitik dönüşüm göstermemesinden dolayı, sertleştirme veya normleştirme ısıl işlemleri uygulanamaz. Mekanik dayanımlarının artırılması için sadece soğuk şekillendirme yapılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin üretimleri arasında %70 paya sahiptir ve aralarında en yaygın kullanılanı 304 kalitesine sahip olanlardır. Östenitik paslanmaz çeliklerin özellikleri;

- Korozyon dirençleri mükemmeldir.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri oldukça iyidir.
- Sünek olmasından dolayı şekillendirilebilmesi oldukça kolaydır.
- Hijyenik olmakla beraber temizliği ve bakımı oldukça kolaydır.
- Yüksek sıcaklıklar mekanik özellikleri mükemmeldir.
- Mekanik dayanımları yalnızca pekleşmeyle artırılabilir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları;

- Asansörlerin mekanik uygulamasında,
- Dış cephe kaplamalarında,
- Gıda işleme ekipmanlarında,
- Mutfak araç ve gereçlerinde,
- Kimyevi tesislerde,
- Bilgisayar klavyelerinde kullanılan yayarlarda,
- Mutfak evyelerinde kullanılmaktadır.

3.2.4. Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler, yüksek miktarlarda krom (%18-28) ve orta miktarda nikel (%4,5-8) içermektedir. Nikel miktarının en çok %8 olması çeliğin bütün yapının östenitik olması için yetersizdir. Ferrit ve östenit fazlarından meydana gelen yapı sebebiyle bu çelikler, dubleks olarak adlandırılmaktadır. Dubleks çeliklerin çoğunluğu %2,5-4 molibden içermektedir. Bunlar hem iyi mukavemet, hem de iyi süneklik özelliklerini birlikte sağlamaktadır. Ayrıca korozif ortamlarda bile çok uygun yorulma dayanımları

bulunmaktadır. Genellikle kimyasal aparat üretimlerinde, arıtma tesislerinde ve deniz ya da off-shore teknolojilerinde kullanılmaktadır.

Östenitik-Ferritik Paslanmaz çeliklerinin özellikleri:

- Gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıklılığa sahiptirler.
- Klor iyonunun mevcut olmadığı ortamlarda daha yüksek korozyon dayanım göstermektedirler.
- Östenitik ve ferritik çeliklerden daha yüksek mekanik dayanım sağlarlar.
- İyi kaynak edilebilirlik ve şekil alma kabiliyetleri bulunmaktadır.

3.2.5. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin, yüksek akma gerilmesi ve sertleşebilir paslanmaz çeliklere göre daha üstün korozyon direnci bulunmaktadır. Bu alaşımların mekanik özellikleri, Cu, Al, Ti, Nb ve Mo gibi elementlerin biri veya birkaçının kullanılmasıyla ve çökeltme sertleşmesi ısıl işlemi ile artırılmaktadır. Çökeltme sertleşmeli (PH) paslanmaz çeliklerin martenzitik, yarı östenitik ve östenitik olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Östenitik PH çelikleri düşük martenzit ve başlangıç sıcaklığına sahip olup martenzit yapıya dönüştürülemez. Yarı östenitik çökeltme sertleşmeli çeliklerin ısıl işlem sıcaklığından soğutulduklarında, rahatlıkla şekillendirilebilmektedir. Şekillendirme işleminin sonrasında martenzite dönüşüm, uygun bir ısıl işlemle karbon ve diğer alaşım elementlerinin çökeltmesi sonucunda elde edilir.

17-4 PH gibi paslanmaz çelikler, yüksek östenitleme sıcaklığında havada soğutulmasıyla tamamen martenzite dönüşmekte ve en yaygın çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerdir. Bu çelikler oda sıcaklığının hemen üzerinde bulunan bir martenzit bitiş sıcaklığına sahiptir. Bu nedenle oda sıcaklığında martenzitiktirler. Bu tip çeliklerde ana çökelti oluşturu element ise bakırdır. 17-4 PH tipi çeliklerde martenzit yapı matris içerisinde ferritten meydana gelen iki fazlı bir yapı bulunmaktadır [33,36].

3.2.5.1. 17-4 PH Paslanmaz Çeliğinin Toz Metalurjisi İle Üretimi

17-4 PH paslanmaz çeliğinin sinterleme sıcaklığı ve süresi diğer paslanmaz çeliklere göre daha yüksektir. Sinterleme işlemi, H_2-N_2 , hidrojen ve vakum atmosferinde gerçekleştirilmektedir. Vakum ile yapılan sinterleme işleminde oksit oluşumu önlenmektedir. Fakat daha önceden meydana gelmiş olan oksit tabakası indirgenmez. Vakum ortamında gerçekleştirilen sinterleme işleminde çelikte bulunan bakırın bir kısmı buharlaşabilmektedir. Bakırın buharlaşması çelikteki yaşlanmayı olumsuz yönde etkilemektedir. 17-4 PH çeliğinin sinterleme işleminde yaygın olarak kullanılan sinterleme atmosferi, hidrojen atmosferidir. Bu yöntemle sinterlenen çelikte oksit oluşumunun engellenmesinin yanı sıra mevcut durumdaki oksitlerinde indirgenmesi söz konusudur [37].

17-4 PH çeliğinin tozları genelde 1200-1390 °C sıcaklık arasında 1-4 saat sinterlenmektedir. Sinterleme sıcaklığına çıkış sırasında 710-740 °C sıcaklık aralığında α -Fe fazından γ -Fe fazına dönüşümünden dolayı, düşük miktarlarda boyutsal küçülmeler oluşmaktadır. 960-1000 °C sıcaklıkları arasında toz parçacıkları arasında boyun oluşmaya başlayarak hızlı bir şekilde yoğunlaşma olmaktadır. 1100-1250 °C sıcaklıkları arasında oluşan boyun bölgeleri büyüyerek yoğunlaşır. Sinterleme sıcaklığı 1275 °C düzeylerine geldiğinde çeliğin yapısında hacim merkezli kübik δ -ferrit fazı meydana gelmektedir. Meydana gelen kübik ferrit fazı, çeliğin tane sınırlarında ve gözenek bölgelerinde oluşarak, sinterleme süresi boyunca artmaktadır [37].

BÖLÜM 4

KOROZYON

Korozyon çok farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Asıl olan malzemelerin buldukları ortam ile etkileşerek doğadaki ilk hallerine dönme isteğidir. Düzgün bir ifadeyle maddenin çevresel etkilerle termodinamik olarak doğadaki kararlı bileşiklerine dönme eğilimi göstermesi olayına korozyon denmektedir. Bu durum malzemelerin mekanik, elektriksel, kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler ve hasara yol açar. Kullanılan malzemelerin yaklaşık 1/3'ü korozyon nedeniyle kullanılamaz hale gelmektedir. Korozyon için önlem alınmazsa yapılan yatırımların, harcanan enerjinin, emeklerin boşa gitmesi demektir. Korozyon birçok maddi ve manevi zararın yanında insan sağlığına ve hayatına zararlı olan bir olaydır [38].

4.1. KOROZYONA ETKİ EDEN PARAMETRELER

4.1.1. Ortamın Etkisi

Metallerin bulunduğu ortamlar korozyon hızını doğrudan etkilemektedir. Ortamın nem miktarı, asit-baz durumu, oksijen, hava veya suyun ortam tarafından geçirilebilme yeteneği ve hatta kaçak akımların bulunması veya ortamda çeşitli bakterilerin bulunması korozyonun başlamasına ve hızla devam etmesine katkı sağlamaktadır [39].

4.1.2. Sıcaklığın Etkisi

Ortamdaki sıcaklığın artmasıyla iyon hareketleri artmakta ve dolayısıyla korozyon hızlanmaktadır. Örnek olarak toprak sıcaklığı -50°C ve $+50^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Toprak donduğunda iyon hareket hızı minimum seviyededir. Sıcaklığın artmasıyla oksijen konsantrasyonu azalmakta yani korozyon hızı azalmaktadır. Fakat bu etki iyon hareketliliğinin artışından kaynaklı reaksiyonların yanında çok zayıf kalmaktadır [39].

4.1.3. Malzeme Seçimin Etkisi

Metalik malzemelerde korozyona neden olan en önemli etkenlerin başında potansiyel farkı fazla olan metallerin bir arada kullanılmasıdır. Malzeme seçiminin korozyona etki eden parametreler arasında yer almasının en önemli sebeplerinden biri potansiyel farktan dolayı korozyon başlatıcı veya hızlandırıcı etken olmasıdır [40].

4.1.4. Taneler Arasındaki Özelliklerin Farklılıkları

Metallerde istenmeyen bazı elementlerin tane sınırlarında birikmesi ve farklı konsantrasyonlar sonucu safsızlıkların oluşması korozyonun başlaması için uygun ortam oluşturmaktadır. Örneğin kaynak bölgelerindeki korozyonun meydana gelmesi ve bu korozyonun galvanik anotlu katodik koruma sistemi ile önlenmesi mümkündür [40].

4.1.5. Sistemin Tasarımı

Korozif malzemenin taşınması ve depolanması sırasında korozif ortamın dökülmesini, birikmesini engelleyecek tasarımların tercih edilmesi gerekmektedir. Sıvı birikmesine neden olacak boşluklar, çok ince aralıklardan kaçınılmalıdır [39].

4.1.6. Sistemin Yer Aldığı Ortamın Oksijen Yoğunluğu

Toprak içerisinde çözülmüş hava derişimi her yerde aynı olmayabilir. Bu nedenle farklı havalandırma şartlarında yan yana duran sistemlerde bir bölge katot görevi görürken, diğer bölge anot görevi görür ve elektrokimyasal korozyona neden olmaktadır [39].

4.1.7. Zemin Elektriksel Özgül Direncinin Etkisi

İyonik ortamın aktif olmasının diğer bir sebebi ise düşük elektriksel özgül dirençli bölgelerde iletkenliğin yüksek olmasıdır. Bu nedenle korozyon mekanizması daha hızlı gelişmektedir [39].

4.2. KOROZYON MEKANİZMASI

4.2.1. Fiziksel Korozyon

Korozyon genelde ya doğrudan fiziksel çözünme yoluyla veya katı hal değişimiyle gerçekleşmektedir. Organik sıvılar ya da ergiyik metaller fiziksel korozyona neden olmaktadır. Örnek olarak cıvanın veya sıvı alüminyumun metal yüzeyini etkilemesiyle oluşan hasar verilebilir [41].

4.2.2. Kimyasal Korozyon

Kimyasal korozyon için en iyi örneklerden biri metal ve alaşımlarının kuru korozyonu yani atmosferik şartlardaki oksidasyonudur. Genellikle metal veya metalik yüzeylerde oksit veya sülfür türü korozyon ürünleri oluşmaktadır ve buna neden olan en önemli korozyon maddeleri O_2 , H_2S ve halojenlerdir. Kimyasal korozyonun diğer bir adı da yüksek sıcaklık korozyonudur. Kazanların sıcak gazla veya alevle temas ettiği bölgede kimyasal korozyon oluşmaktadır. Bunun dışında, türbin kanatlarında da kimyasal korozyon meydana gelmektedir. Demirin en bilinen kimyasal korozyon ürünleri Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , FeO yani demirin oksit halleridir [41].

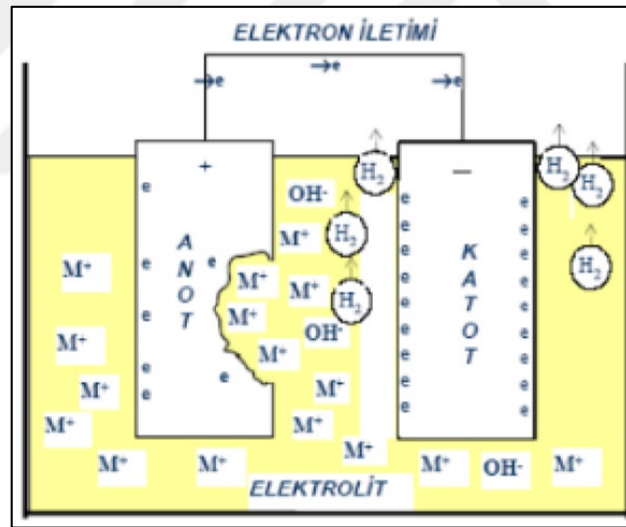
4.2.3. Elektrokimyasal Korozyon

Elektrokimyasal korozyon veya diğer adıyla ıslak korozyon metal ve alaşımlarının sıvı ortamlarda korozyona maruz kalmalarıdır. Elektrokimyasal korozyon için aralarında potansiyel fark bulunan iki malzemenin aynı ortamda olması ve elektron akışının sağlanması için sıvı bir elektrolit ortamının olması gerekmektedir. Asit, baz ve tuzların sıvı çözeltilerine elektrolit denmektedir. Örneğin bir metal elektrot kendi tuzunun sulu çözeltisine daldırılırsa atomların en dış kabuğundaki (son yörüngelerindeki) elektronlar serbest hale geçer ve bunun sonucunda Eşitlik 4.1’ de görülen yüklü metal iyonu ortaya çıkmaktadır [42].



Korozyon sırasında katodik ve anodik reaksiyonlar birlikte gerçekleşmektedir. Reaksiyonun gerçekleşmesi için elektrolitik ortamda elektron verecek madde olması gerekmektedir. Metallerin termodinamik kararsızlığı veya dış akımların etkisi sonucunda korozyon tepkimeleri ilerlemektedir. Metalin korozyonu katodik veya anodik tepkimelerle denetlendiğinde, korozyon hızı çoğu durumda yük aktarım basamağı ile sınırlanmaktadır. Metal iyonları oluştuğunda elektrik devresi tamamlanmış olur ve sürekli bir akım yolu sağlar [42].

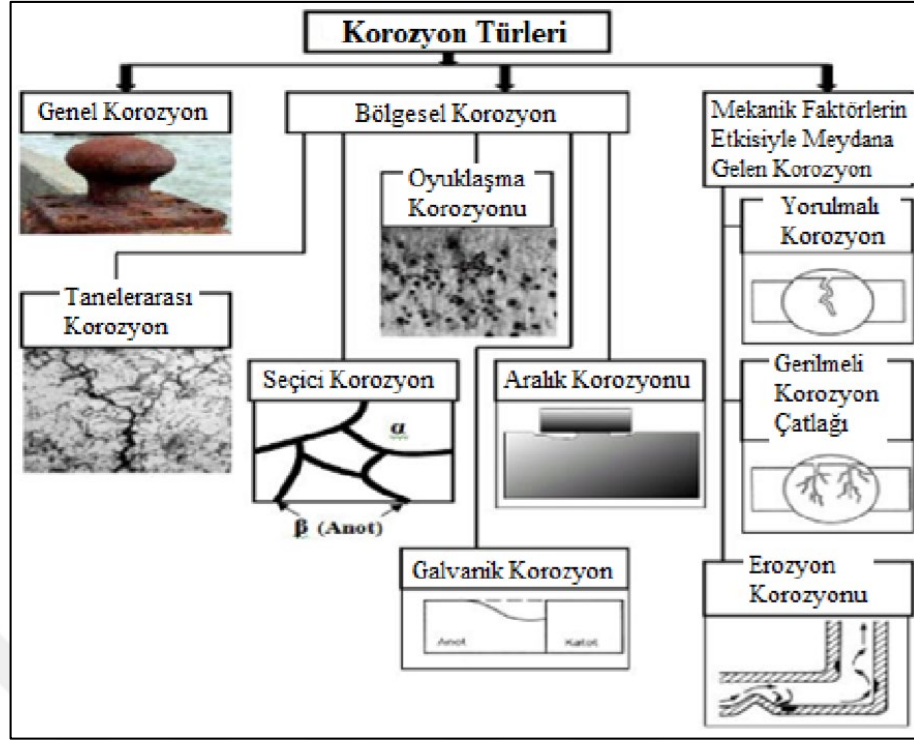
Elektrokimyasal korozyonda elektron alışverişini gerçekleştiren bir elektrolit, iki de elektrot bulunmaktadır. Katot reaksiyonu bir indirgenme reaksiyonu olup anot reaksiyonu ise yükseltgenme reaksiyonudur. Sonuç olarak anodik davranış gösteren malzeme korozyona uğrar, katodik davranış gösteren malzeme ise korunur [41]. Şekil 4.1’de korozyon hücresi verilmiştir [43].



Şekil 4.1. Korozyon hücresi [43].

4.3. KOROZYON TÜRLERİ

Metaller içinde buldukları ortamlarda mekanik veya fiziksel özelliklerine göre çeşitli korozyon hasarına uğrayabilirler. Korozyon türleri çok farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Genel olarak üç başlık altında toplayabiliriz. Bunlar; genel korozyon, bölgesel korozyon ve mekanik faktörlerin etkisiyle meydana gelen korozyondur. Şekil 4.2’de korozyon türleri verilmiştir [43].



Şekil 4.2. Korozyon türleri [43].

4.4. KOROZYON HIZININ BELİRLENMESİ YÖNTEMLERİ

Korozyon hızını ölçebilmek için doğrudan ölçüm yöntemleri yerine deneysel çalışmalar yapılarak korozyon hızı ölçülebilir. Korozyon sorunu ortam şartlarına ve metale bağlı olarak değişebilmektedir. Korozyonun ne kadar sürede gerçekleştiği ve hangi şekilde olduğu birçok farklı faktörlere bağlıdır. Metalin ne kadar süre içerisinde ne kadar çözüldüğü aslında korozyon hızını vermektedir. Korozyon hızını ölçmeye yarayan farklı yöntemler vardır. Bunlardan birincisi kimyasal yöntemler olup kimyasal yöntemler olarak akım yoğunluğu, ağırlık kaybı ve penetrasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok bilinen ve tercih edilen yöntem ağırlık kaybı yöntemidir. İkinci korozyon ölçme yöntemi ise elektrokimyasal yöntemlerdir. Elektrokimyasal yöntemler olarak lineer polarizasyon, Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi Yöntemi ve Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi bulunmaktadır. Korozyon metal yüzeyinde homojen bir şekilde dağılmış ise ağırlık kaybı yöntemiyle korozyon hızı belirlenebilmektedir. Fakat bu yöntem çok hassas ve çok uzun sürdüğü için her zaman tercih edilmeyen yöntemlerden biridir. Bunun yerine kısa sürede yapılabilecek

elektrokimyasal yöntemlerle yapılacak hızlı ölçümler sonucu korozyon hızının belirlenmesi günümüzde daha fazla tercih edilen bir yöntemdir [40,43].

Korozyon hızını ölçmek için kullanılan yöntemler kimyasal yöntemler ve elektrokimyasal yöntemler olarak iki grupta incelenmektedir.

1. Kimyasal yöntemler
 - Ağırlık kaybıyla korozyon hızının ölçülmesi
 - Akım yoğunluğu
 - Penetrasyon
2. Elektrokimyasal yöntemler
 - Lineer polarizasyon yöntemi
 - Elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemi
 - Tafel Ekstrapolasyon yöntemi

4.4.1. Kimyasal Yöntemler

4.4.1.1. Ağırlık Kaybıyla Korozyon Hızının Ölçülmesi

Korozyon homojen dağılımlı olduğunda metal yüzeyindeki ağırlık kaybı kütledeki tüm kayıpla eşdeğer olduğundan dolayı, yüzeyin tamamındaki incelme yüzey alanı ve yoğunlukla belirlenebilmektedir. Fakat homojen dağılım göstermeyen korozyonda ağırlık kaybı ile korozyon hızı ölçümü mantıklı değildir. Yerel korozyonda malzemede küçük bir nokta şeklinde korozyon meydana gelip malzemeyi o noktadan delinmeye kadar götürebilirken yüzeyin diğer kısımlarında hiç korozyona rastlanmaması da olabilir. Bu sebeple ağırlık kaybı ile korozyon hızı belirlerken öncelikle korozyonun homojen dağılımlı yoksa yerel korozyon mu olduğu hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir [44].

Ağırlık kaybı yöntemi korozyon hızı ile ilgili ilk araştırmalar yapılırken çok kullanılan bir yöntemdi. Basit ve ucuz olan bu yöntemde malzeme ASTM G1, G4 ve G31 standartlarına göre temizlenmekte ve kuru ağırlığı ölçülmekte daha sonra ise

korozyona açık bir ortamda belirli bir süre bekletilmektedir. Son olarak malzeme korozyon ortamından alınmakta ve temizlenerek ağırlık kaybı hesaplanmaktadır. Bu yöntemde Eşitlik 4.2' deki korozyon hızı formülü kullanılmaktadır [45].

$$\text{Korozyon} = \frac{W(g)*K}{d\left(\frac{g}{cm^3}\right)*A(cm^2)*t(sa)} \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2' de W ağırlık kaybı (gram), K bir sabit, d malzemenin yoğunluğu (g/cm³), A malzemenin yüzey alanı, t malzemenin korozyon ortamında kalma süresi (saat) olarak tanımlanmaktadır. K sabiti yüzey alanına göre değişmektedir, korozyon hızı mpy (milesperyear) olarak elde edilmek istenirse 3,45x10⁶ olarak alınabilir [45].

$$\text{mpy} = \frac{534*W(mg)}{d\left(\frac{g}{cm^3}\right)*A(inç^2)*t(sa)} \quad (4.3)$$

Eşitlik 4.3'te W: ağırlığın azalmasını d: malzemenin yoğunluğunu, A: malzemenin yüzey alanı, inç² (1 inç = 2.54 cm) T: malzemenin korozyon ortamındaki süresi [44], korozyon hızı mpy cinsinden verilirse Eşitlik 4.4 ile metrik sisteme çevrilebilir [43].

$$1\text{mpy} = \frac{0,0254mm}{yil} = \frac{25,4 \mu m}{yil} \quad (4.4)$$

Ağırlık kaybı yönteminde korozyon akımı Faraday yasası ile Eşitlik 4.5 ile hesaplanabilir.

$$I_{corr} = \frac{\Delta m * F * n}{\Delta t * M} \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.5' te Δm= Kütle kaybı, F= Faraday sabiti, n= malzemenin çözeltiye geçme değeri, M= malzemenin mol kütlesi, Δt= zaman aralığını gösterir [44].

Günümüz endüstrisinde korozyon hızı için mpy (yılda mil) tanımı kullanılmaktadır. Kullanılan malzemelerde korozyon hızı 1-200 mpy arasında değişmektedir. Korozyon hızının mpy cinsinden verilmesindeki en büyük sebep ondalıklı sayılardan kaçınmaktır [46].

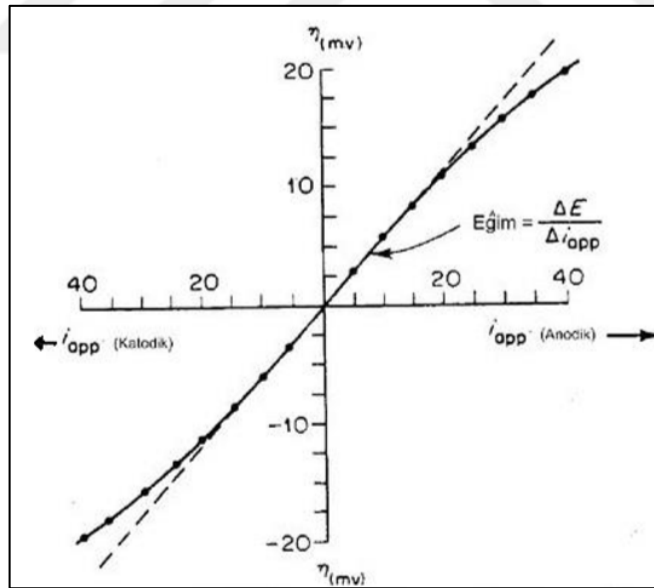
Çizelge 4.1. Bağlı korozyon direnci [46].

| Bağlı Korozyon Direnci | Yaklaşık Metrik Eşdeğerler | | |
|------------------------|----------------------------|-----------|-----------|
| | mpy | mm/yıl | µm/yıl |
| Çok çok iyi | <1 | <0,02 | <25 |
| Çok iyi | 1-5 | 0,002-0,1 | 25-100 |
| İyi | 5-20 | 0,1-0,5 | 100-500 |
| Orta | 20-50 | 0,5-1 | 500-1000 |
| Zayıf | 50-200 | 1-5 | 1000-5000 |
| Kabul edilemez | 200+ | 5+ | 5000+ |

4.4.2. Elektrokimyasal Yöntemler

4.4.2.1. Lineer Polarizasyon Yöntemi

Lineer polarizasyon yöntemi veya diğer adıyla polarizasyon direnci yöntemi son zamanlarda korozyon hızını belirlemek için çok fazla kullanılan yöntemler arasındadır. Lineer polarizasyon yöntemiyle elde edilen grafik Şekil 4.3'te verilmiştir [39].



Şekil 4.3. Lineer polarizasyon yöntemi ile Rp bulunması [39].

Lineer polarizasyon yöntemi ilk defa 1955 yılında Simmons ve 1957 yılında Skold ve Larson tarafından ortaya atılmış ve 1957 yılında Stern ve Geary tarafından lineer polarizasyon yönteminin kuramsal temelleri geliştirilmiştir. Stern ve Geary aktivasyon

polarizasyonu ile denetlenen bir sistemin, korozyon potansiyeline yakın bir bölgede ($\pm 10\text{mV}$) potansiyel farkıyla (ΔE) devreden geçen akım (Δi) arasında Eşitlik 4.6 ile verilen çizgisellik bulunmaktadır [39].

$$\frac{\Delta E}{\Delta i} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2,303 i_{kor} (\beta_a + \beta_c)} \quad (4.6)$$

Eşitlik 4.6’da β_a anodik tafel sabiti β_c ise katodik tafel sabitidir. Korozyon akım yoğunluğunun i_{kor} , Δi uygulanan akımdır. Çok küçük potansiyel aralığında çalışıldığında geçen akımda çok küçük olacağından çözelti içerisindeki direnç polarizasyonu $E_{\square} = IR$ ihmal edilebilmektedir. Bu denklemden korozyon hızını bulmak için ayrı ayrı β_a anodik tafel değeri β_c katodik tafel değeri belirlenmesi gerekmektedir. Aynı malzemede ve ortamda bu sabitler değişmeyeceğinden dolayı hepsi başka bir sabit olan B ile gösterilebilir [40].

B sabiti Eşitlik 4.7’de verilmiştir.

$$B = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2,303 (\beta_a + \beta_c)} \quad (4.7)$$

B sabiti ile Stern ve Geary denklemi tekrar Eşitlik 4.8’deki gibi yazılabilir.

$$i_{kor} = B \cdot \frac{\Delta i}{\Delta E} \quad (4.8)$$

Eşitlik 4.8’e göre korozyon hızı polarizasyon direncinin tersi ile orantılıdır. Korozyon hızını denklemden hesaplayabilmek için anodik ve katodik tepkimelerdeki tafel sabitleri (β_a ve β_c) gerekmektedir [40]. Hassas ölçümler söz konusu değilse literatürden $\beta_a = \beta_c = 0.12 \text{ V}$ alınabilir ve B sabiti, $B = 0.026$ olarak kabul edilebilir. Eğer hassas ölçümler söz konusu ise sabitler polarizasyon eğrilerinden bulunmalıdır [46].

Lineer polarizasyon yöntemi hem alternatif akım hem de doğru akımla uygulanabilmektedir. Korozyon akımı ile ağırlık azalması arasındaki bağıntı Faraday kanuna göre Eşitlik 4.9’da verilmiştir.

$$i_{kor} = \frac{\Delta P * F * n}{\Delta t * M} \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.9'da ΔP ; ağırlık azalması, F; Faraday, n; malzemenin çözeltiye geçme değeri, M; malzeme gramının kütlesi, Δt ; zaman. Eşitlik 4.7 ile eşitlik 4.9 birleştirilirse eşitlik 6.10 elde edilir.

$$\Delta P = \frac{B * \Delta i * \Delta t * M}{\Delta E * F * n} \quad (4.10)$$

Lineer polarizasyon yöntemiyle ölçüm öncesi potansiyel denge sağlanması gerektiğinden açık devre potansiyeli ölçmek gerekmektedir. Kullanılmakta olan referans elektrotla metal ve yardımcı elektrot arasındaki potansiyel değişimin tespit edilmesi gerekmektedir. Yöntemin uygulaması oldukça basit ve kolaydır ve numune yüzeyini biraz tahrip etmektedir [43].

Lineer polarizasyon direnci yöntemiyle günümüzde yapılan araştırmalar bu yöntemin diğer yöntemlerden üstün olarak kullanıldığını göstermektedir. Uygulaması basit ve kolay olan bu yöntem diğer yöntemlere göre daha ucuzdur ve diğer yöntemlerle belirlenmesi mümkün olmayan çok küçük korozyon hızlarını ölçebilmektedir. Sadece korozyon hızını değil bağıl korozyon hızını da çok hassas sonuçlarla kısa zamanda ölçebilmektedir [46].

4.4.2.2. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi Yöntemi

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ilk olarak 1940 yılında Dolin ve Ershler tarafından bulunmuş ve 1952 yılında Randles ve Somerton tarafından geliştirilmiştir. EIS Hücre içerisinde gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonların mekanizması ve kinetiği hakkında bilgi vermektedir. EIS yöntemiyle kaplama, pil, korozyon ve yarı iletken malzemeler çalışılmaktadır. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümleri yük transferi, elektrot kapasitansı hakkında bilgi vermektedir. Toparlayacak olursak Korozyon sisteminin 100 MHz -100 KHz frekans

aralığındaki akıma verdiği yanıtın ölçülmesi elektrokimyasal empedans spektroskopisidir [43].

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) korozyon çalışmalarında sık karşımıza çıkan yöntemlerden biridir. Yüzey kaplamalarını değerlendirmek için ya da metallerin pasifliklerini ölçerek korozyon hızları hakkında fikir sahibi olmak için kullanılmaktadır. EIS ile yapılan ölçümlerde bir devrede bulunan bütün dirençler göz önünde bulundurulur ve hem doğrusal akım hem de alternatif akım kullanılarak mikrosaniye seviyelerinde ölçümler yapılmaktadır. Malzemelerin ara yüzeylerindeki değişimleri belirlemek için kullanılan bu yöntem denge durumundaki bir hücrede düşük frekanslarla gönderilen sinyallerdeki değişimlerin ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır [47].

EIS ile analizden önce üçlü elektrot sisteminde açık devre potansiyeli yöntemiyle çalışma elektrotu ile referans elektrot arasında denge durumu oluşması gerekmektedir. Üçlü elektrot sisteminde EIS yöntemiyle korozyon hızı hakkında bilgi edinebilmek için çözelti direnci, sistem polarizasyon direnci ve sistem çift tabaka kapasitans değerinin kullanılması gerekmektedir [43,47].

Alternatif akımdaki frekans sıfırdan farklıdır ve ohm kuralı Eşitlik 4.11'deki gibi gösterilmektedir [47].

$$V = I * Z \quad (4.11)$$

Eşitlik 4.11'de Z empedans değerini V ile I değerleri potansiyel ve akım için dalga genliği değerlerini temsil etmektedir [47].

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemi sonucunda gerekli olan veriler alındıktan sonra korozyon hızı Eşitlik 4.12 ile hesaplanabilmektedir.

$$\text{Korozyon hızı} = \frac{I_{kor} * K * EW}{d * A} \quad (4.12)$$

Eşitlik 4.12'de göre i_{kor} korozyon akım yoğunluğunu, A numune yüzey alanını K korozyon hızını tanımlayan bir sabiti, d yoğunluğu, EW eşdeğer ağırlığı

göstermektedir. Korozyon hızı mpy olarak bulunmak istenirse K sabiti $1,288 \times 10^5$ olarak alınabilir [43,47].

EIS yöntemi boya, kaplama gibi yüksek dirence sahip malzemelerin dirençlerini bulmak için en etkili yöntemlerden biridir. Deney sırasında malzemeye diğer yöntemlere göre çok çok az hasar vermektedir [43].

4.4.2.3. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi

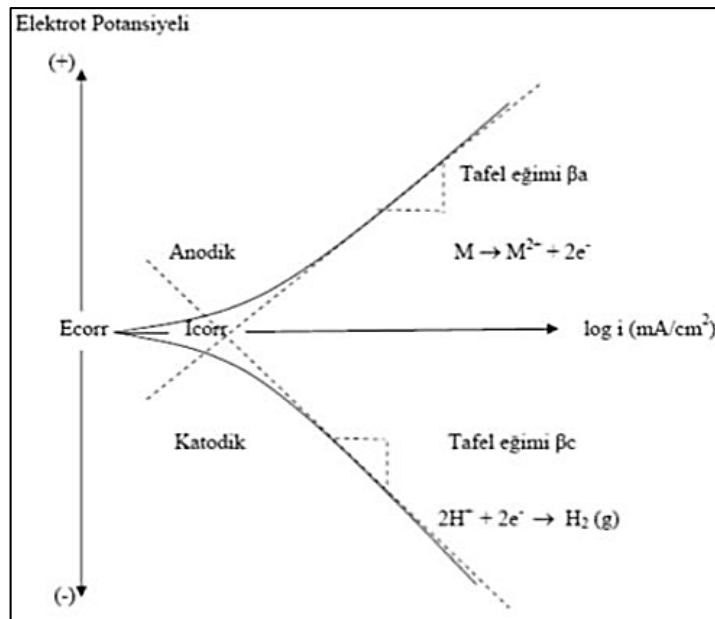
Akım çekmez iken çözelti ortamındaki malzemenin potansiyeli açık devre potansiyeli olarak tanımlanmaktadır. Açık devre potansiyeli negatif ya da pozitif yapılan taramalar malzeme yüzeyinde meydana gelen reaksiyonlar hakkında bilgi vermektedir. Bu reaksiyonlar incelenerek malzemenin elektrokimyasal özellikleri ve korozyonu hakkında yorumlar yapılabilmektedir [42].

Tafel bölgesinde anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile korozyon hızı belirlenmektedir. Tafel bölgesinde anodik ve katodik eğriler birlikte elde edilemezse sadece bir tanesinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile korozyon hızı hesaplanmaktadır. Korozyon elektrotların yüzeyinde birden çok indirgenme ve yükseltgenme tepkimeleriyle birlikte meydana gelmektedir ve birçok çözünme tepkimesi oluşmaktadır. Bilhassa alaşımlardaki tepkimeler çok daha karmaşıktır. Bu nedenle, elektrokimyasal yöntemlerde korozyon incelenirken tüm sistemin davranışını gösteren karma potansiyel kuramından faydalanılmaktadır [47].

Denge potansiyeli elektrokimyasal bir olayda indirgenme akımının yükseltgenme akımına eşit olması demektir. Korozyon potansiyeli (Ekor) iki ya da daha fazla indirgenme ve yükseltgenme tepkimesinin birlikte ilerlerken toplam indirgenme akımının toplam yükseltgenme akımına eşit olduğu potansiyeldir. Anodik reaksiyonlarda açığa çıkan elektronlar katodik reaksiyonlarda indirgenme için kullanılmaktadır. Bu yöntemle korozyona uğrayan metalin anot ve katot yüzeyleri arasındaki akım ölçülmekte ve korozyon hızı belirlenmektedir. Korozyon potansiyelinde net bir akım bulunmaktadır ancak toplam anodik akımla toplam katodik

akımın eşit olmasından dolayı akım okunamamaktadır. Korozyon akımı (I_{kor}) doğrudan ölçülemeyen bu akımdır. Elektrot yüzey alanının korozyon akımına bölünmesiyle bulunan akım yoğunluğu malzemenin korozyon hızını vermektedir. Akım potansiyel ölçümü bu yöntemde de mevcuttur. Akım veya potansiyelden biri denetimli olarak uygulanırken diğerinin değişimleri kaydedilmektedir. Akım değerlerinin sabit potansiyelde ölçülmesi potansiyostatik yöntem, akım şiddetlerinin değiştirilen potansiyellerle ölçülmesi potansiyodinamik yöntemdir [42].

Korozyona uğrayan malzemenin anodik ve katodik Tafel eğrileri deneysel olarak belirlenmektedir. Bu eğrilerin çizilebilmesi için çalışılması gereken potansiyel aralığı korozyon hızının belirleneceği yöntemle göre seçilmektedir. Elde edilen $E - \log i$ polarizasyon eğrisi Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere dış akım belirli bir değere ulaştıktan sonra polarizasyon eğrisinde lineer bölge oluşmaktadır. Tafel bölgesi uygulanan bu dış akımın lineer olarak değiştiği bölgelerdir. Korozyon potansiyelinden başlanarak anodik veya katodik yönde çizilen bu yarı logaritmik akım potansiyel eğrilerine Tafel eğimleri denmektedir. Bu eğrilerin ekstrapolasyonu alınırsa kesişen noktadaki potansiyel korozyon potansiyeli olarak adlandırılır ve buna karşılık gelen akıma ise korozyon akımı denmektedir. Korozyon akımı doğrudan korozyon hızı hakkında bilgi vermektedir [42].



Şekil 4.4. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri [43].

Korozyon hızı tafel doğrusunun eğiminin deneysel olarak elde edilmesiyle bulunmaktadır. Yani tafel ekstrapolasyon yöntemiyle anodik ve katodik tafel eğrilerinin çizgisel olan kısımları azaltılıp kesişim noktalarından korozyon potansiyeli ve korozyon hızı bulunmaktadır.



BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. DENEYSEL MALZEMELER

Deneysel çalışmalarda kullanılan tozlar Alfa Aesar (Almanya) firmasından tedarik edilmiştir. 17-4 PH paslanmaz çeliklerin üretiminde kullanılan elemental tozların saflık oranları ve toz boyutları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneysel çalışmalarda elemental tozların saflık oranları.

| | Elemental Tozlar | Saflık (%) | Toz Boyutu (µm) |
|----------|-------------------------|-------------------|------------------------|
| 1 | Bakır (Cu) | 99 | 44 |
| 2 | Demir (Fe) | 99,9 | 10 |
| 3 | Karbon (C) | 99 | 10-20 |
| 4 | Krom (Cr) | 99 | 44 |
| 5 | Mangan (Mn) | 99,8 | 44 |
| 6 | Nikel (Ni) | 99,9 | 3-7 |
| 7 | Silisyum (Si) | 99,99 | 1-20 |
| 8 | Tantalyum (Ta) | 99,9 | 44 |
| 9 | Titanyum (Ti) | 99,7 | 13,538 |

5.2. ELEMENT TOZLARIN KARIŞTIRILMASI

Üretimi yapılacak olan numuneler, 17-4 PH paslanmaz çeliklerinin mevcut kimyasal bileşimi sabit tutularak (% Ağ.) bazında element tozları kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 5.2’de belirtilen element tozları kullanılarak üretilen 17-4 PH paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney çalışmalarında kullanılan 17-4 PH paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.

| 17-4 PH | Elementler (% Ağırlık) | | | | | | | | | | |
|------------|------------------------|----|----|----|----|----|------|-----|-----|------|-------|
| | Cr | Cu | Ni | Mn | Si | Mo | Ta | Ti | Nb | C | Fe |
| Ta İlaveli | 17 | 4 | 4 | 1 | 1 | - | 0,15 | - | 0,3 | 0,07 | Kalan |
| Ta İlaveli | 17 | 4 | 4 | 1 | 1 | - | 0,30 | - | 0,3 | 0,07 | Kalan |
| Ta İlaveli | 17 | 4 | 4 | 1 | 1 | - | 0,45 | - | 0,3 | 0,07 | Kalan |
| Ta İlaveli | 17 | 4 | 4 | 1 | 1 | - | 0,60 | - | 0,3 | 0,07 | Kalan |
| Ti İlaveli | 17 | 4 | 4 | 1 | 1 | - | - | 0,5 | 0,3 | 0,07 | Kalan |
| Ti İlaveli | 17 | 4 | 4 | 1 | 1 | - | - | 1 | 0,3 | 0,07 | Kalan |
| Ti İlaveli | 17 | 4 | 4 | 1 | 1 | - | - | 1,5 | 0,3 | 0,07 | Kalan |
| Ti İlaveli | 17 | 4 | 4 | 1 | 1 | - | - | 2 | 0,3 | 0,07 | Kalan |

Çizelge 5.2’de belirtilen kimyasal bileşim oranlarına uygun olarak, Precisa XB220A marka 0,0001 g hassasiyetine sahip hassas terazide tartılarak hazırlanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Precisa XB220A marka hassas tartı cihazı.

Sonrasında elementel tozlar Şekil 5.2’te verildiği üzere Turbula Shaker Mixer (Model T2F Glenn Mills) marka karıştırıcıda 120 rpm (dev/dak) ile 2 saat süreyle karıştırılmıştır.



Şekil 5.2. Turbula Shaker Mixer (Model T2F Glenn Mills) tipi karıştırıcı cihazı.

5.3. TOZ KARIŞIMININ SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Sıkıştırılan alaşım tozları, Şekil 5.3’te gösterilen kalıpta soğuk preslenerek (800 MPa) Ø10x6-7 mm boyutlarında ham numuneler elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Presleme kalıbı.

Soğuk sıkıştırma işleminde, Şekil 5.4’teki tek eksenli ve 50 ton presleme kapasitesi bulunan Hidroliksan marka pres kullanılmıştır.



Şekil 5.4. Tek eksenli 50 ton kapasiteli Hidroliksan marka pres cihazı.

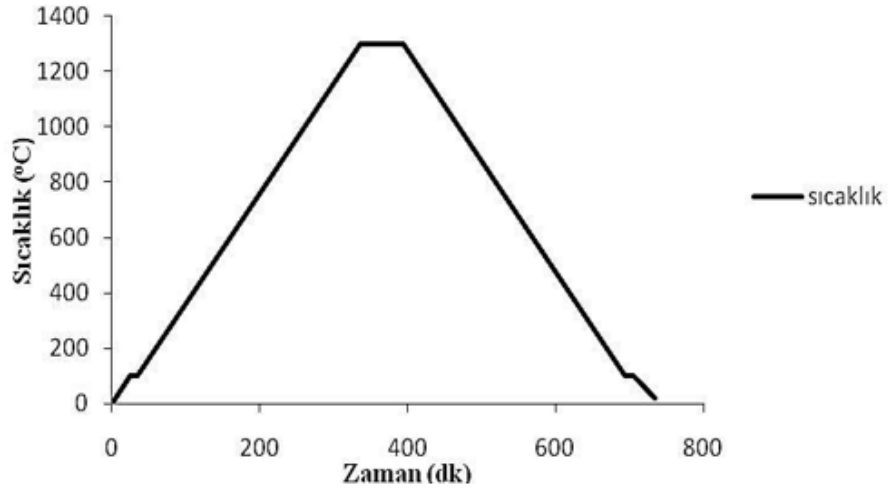
5.4. SİNERLEME

Presle şekillendirilmiş ve çeşitli miktarlarda, Ta ve Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik ham numuneleri, Şekil 5.5'te belirtilen Thermal Technology GMBH marka ısıtma fırınında 1300 °C'de, 1 saat sinterlenmiş ve (10^{-6} milibar vakumda ve 4 °C/dak ısıtma hızında) fırında (aynı soğuma hızında) oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.



Şekil 5.5. Thermal Technology GMBH marka ısıtım fırını.

Fırın çalıştırılmadan önce seramik tüp 10 dakika boyunca argon gazı ile doldurularak, fırın içerisinde bulunan atmosferik ortam boşaltılmıştır. Sinterleme öncesinde fırına kurban malzemesi olarak sünger (sponge) Ti yerleştirilmiştir. Şekil 5.6'da 17-4 PH alaşımının sinterlenme sıcaklık zaman grafiği belirtilmiştir.



Şekil 5.6. 17-4 PH alaşımının sinterlenme sıcaklık zaman grafiği.

5.5. YAŞLANDIRMA İŞLEMLERİ

Çeşitli miktarlarda Ta ve Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımı numuneler, 1050 °C'de vakumlu fırın ortamında 1 saat solüsyona alma işlemi yapılmıştır.

Belirlenen yaşlandırma parametreleri ile numuneler 480 °C’de vakumlu fırın ortamında 1, 4 ve 8 saat yaşlandırılmıştır.

5.6. KARAKTERİZASYON İŞLEMLERİ

5.6.1. Metalografik İşlemler

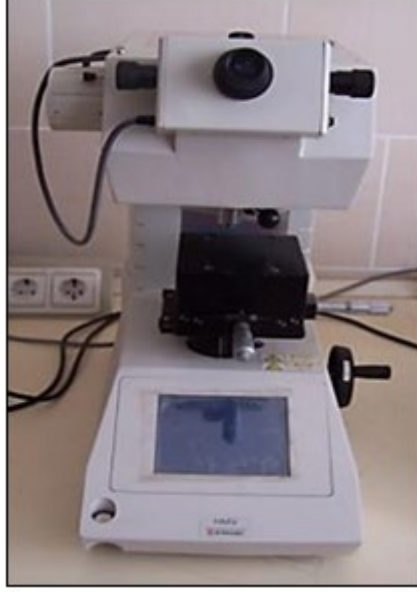
Sinterleme işlemi sonrasında yaşlandırılan 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımlar Presi Mecapol P262 marka polisaj cihazında 300 dev/dak hızda 800, 1000 ve 1200 SiC zımparalar kullanılarak zımparalanmıştır. Sonrasında 1µm elmas pasta ile parlatılmış ve %25 oranında oksalit asit ile %75 oranında saf su içeren çözeltide elektrolitik (12 V) dağlanmıştır.

5.6.2. SEM, EDS ve XRD İncelemeleri

Dağlama işleminden sonra tüm numuneler (SEM+EDS) (CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM) marka tarama elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) ile (RIGAKU ULTRA IV) incelemeye alınmıştır.

5.6.3. Sertlik Ölçümleri

17-4 PH paslanmaz çelik alaşımı numunelerin sertlik ölçümleri, Şekil 5.7’deki SHIMADZU marka mikro sertlik ölçüm cihazında (HMV) 50 g’lık bir yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Sertlikler, her bir numunenin beş farklı bölgesinden sertlik ölçümü alınıp, ortalaması alınarak belirlenmiştir.



Şekil 5.7. SHIMADZU marka HMV (Vickers) sertlik cihazı.

5.6.4. Yoğunluk Ölçümü

17-4 PH paslanmaz çelik alaşımı numunelerin yoğunluk ölçümleri Precisa XB220A marka cihazda yapılmış olup. Cihaz maksimum 220 g yük kapasiteli ve 0,0001 (1/10000) g hassasiyete sahiptir. Hassas teraziye bağlı yoğunluk ölçme kiti ile Arşimet prensibine göre yapılmıştır.

5.6. KOROZYON TESTLERİ

Korozyon testleri Şekil 5.8’de verilen Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarı’nda bulunan IviumStat.xRE bilgisayar kontrollü potansiyostat/galvanostat test cihazında yapılmıştır. Korozyon testlerinde potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılmıştır. Numuneler açık devre potansiyeline (OCP) ulaşılan kadar 30 dakika bekletilmiştir. Polarizasyon ölçümleri üç elektrot tekniğine göre Ag/AgCl referans elektrot, bir platin levha (Pt) ve karşıt elektrot (CE) kullanılarak bir korozyon hücresi içerisinde yapılmıştır. Elektrolit ortam olarak 0,1 M H₂SO₄ çözeltisi kullanılmıştır. Testler, bu çalışmada, ±750 mV tarama aralığında, 1 mV/sn tarama hızıyla uygulanan bir dögüsel polarizasyon ölçümü gerçekleştirilmiştir. Her grup için yeni solüsyon kullanılmıştır. Doğrudan cihazdan

okunan eğrilerden korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akım yoğunluğu (I_{kor}) ve korozyon hızı (CR) Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Korozyon testleri tamamlandıktan sonra numune yüzeyleri SEM ile incelenmiştir.



Şekil 5.8. IviumStat.xRE bilgisayar kontrollü Potansiyostat/Galvanostat test cihazı

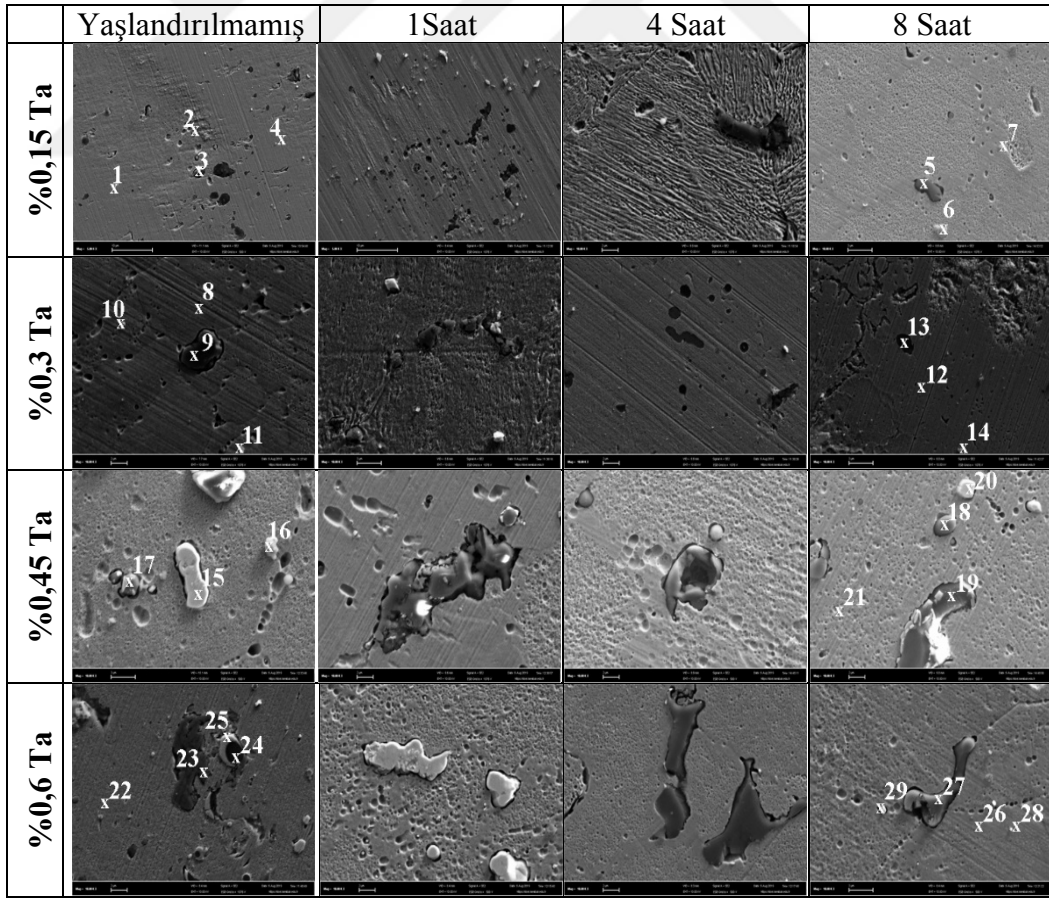
BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. MİKRO YAPI İNCELEMELERİ

6.1.1. Ta İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların SEM ve EDS İncelemeleri

Farklı miktarlarda Ta ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılan 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımlarının mikro yapı SEM görüntüleri Şekil 6.1’de, nokta EDS sonuçları ise Çizelge 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Farklı miktarlarda Ta ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin mikro yapı SEM görüntüleri.

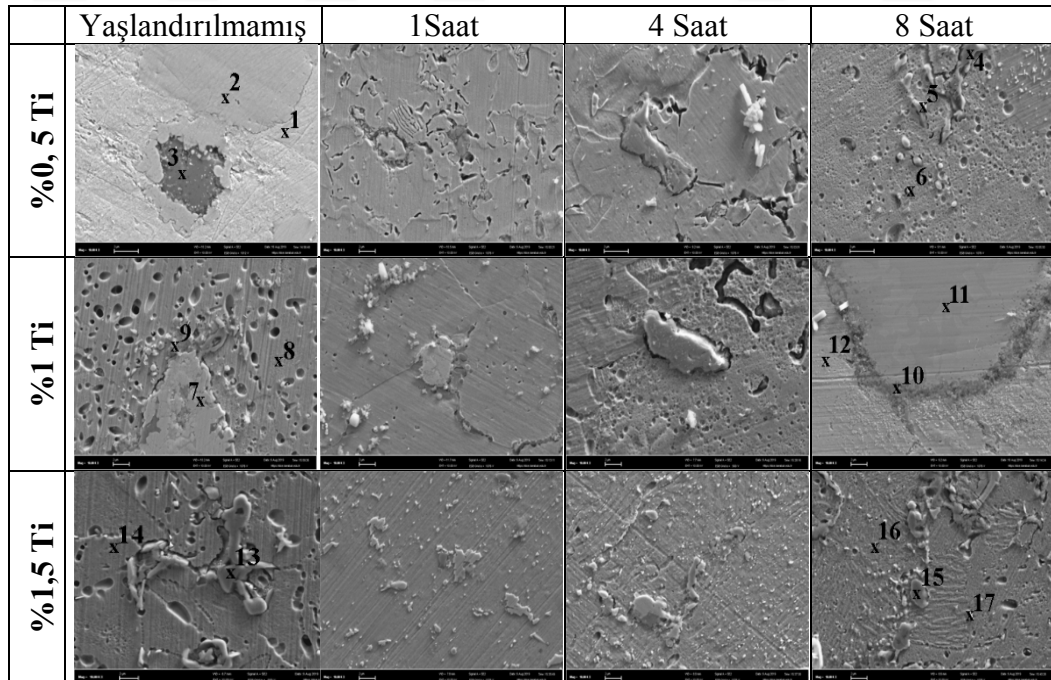
Çizelge 6.1. Farklı miktarlarda Ta ilave edilen 480 °C sıcaklıkta 1, 4 ve 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin EDS analizi sonuçları.

| Konum | Element Miktarı (%) | | | | | | | | |
|-------|---------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| | C | Si | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Nb | Ta |
| 1 | 2,19 | 0,60 | 5,81 | 0,71 | 79,31 | 4,71 | 6,32 | 0,14 | 0,22 |
| 2 | 2,25 | 1,10 | 4,56 | 0,55 | 80,85 | 3,93 | 6,49 | 0,06 | 0,21 |
| 3 | 2,77 | 5,43 | 5,39 | 2,28 | 72,73 | 4,20 | 6,96 | 0,22 | 0 |
| 4 | 2,35 | 1,84 | 8,21 | 1,16 | 75,98 | 3,10 | 7,18 | 0,09 | 0,08 |
| 5 | 10,60 | 73,60 | - | 0,67 | 14,34 | 0,37 | 0,42 | - | 0 |
| 6 | 7,82 | 40,40 | - | 27,19 | 16,45 | 4,48 | 3,66 | - | 0 |
| 7 | 1,94 | 0,81 | - | 2,11 | 83,22 | 5,29 | 6,62 | - | 0 |
| 8 | 1,74 | 0,60 | 9,81 | 0,69 | 76,55 | 5,53 | 4,96 | 0,12 | 0 |
| 9 | 12,07 | 76,84 | 0,39 | 2,01 | 4,17 | 1,08 | 1,36 | 0,53 | 1,54 |
| 10 | 8,16 | 16,76 | 10,16 | 7,85 | 41,41 | 5,88 | 7,80 | 0,21 | 1,78 |
| 11 | 11,38 | 0,50 | 5,41 | 0,82 | 64,71 | 7,97 | 9,22 | 0 | 0 |
| 12 | 3,17 | 0,36 | 6,80 | 1,05 | 81,82 | 3,31 | 3,33 | 0 | 0,16 |
| 13 | 21,29 | 69,98 | 1,67 | 0 | 4,56 | 0 | 0,03 | 0 | 2,47 |
| 14 | 5,10 | 0,92 | 12,16 | 2,99 | 67,98 | 5,38 | 5,26 | 0,15 | 0,06 |
| 15 | 4,02 | 6,16 | 2,82 | 14,19 | 6,58 | 0,53 | 0,76 | 0 | 64,94 |
| 16 | 0,24 | 0,37 | 11,16 | 1,44 | 85,61 | 0,66 | 0,47 | 0,05 | 0 |
| 17 | 9,62 | 85,74 | 0,71 | 1,30 | 1,73 | 0 | 0 | 0,86 | 0,04 |
| 18 | 11,18 | 85,46 | - | 0,21 | 2,25 | 0,42 | 0,48 | - | 0 |
| 19 | 8,69 | 33,71 | - | 48,21 | 3,71 | 2,58 | 3,10 | - | 0 |
| 20 | 4,13 | 6,21 | - | 15,74 | 9,30 | 0,58 | 0,80 | - | 63,25 |
| 21 | 2,20 | 0,82 | - | 3,48 | 81,85 | 5,06 | 6,39 | - | 0,21 |
| 22 | 1,76 | 0,67 | 4,55 | 1,44 | 80,03 | 5,47 | 5,89 | 0,19 | 0 |
| 23 | 3,49 | 33,20 | 0,74 | 58,51 | 2,62 | 0,51 | 0,81 | 0,13 | 0 |
| 24 | 9,02 | 85,94 | 0,46 | 1,42 | 2,77 | 0,03 | 0,14 | 0,22 | 0 |
| 25 | 3,49 | 14,44 | 1,99 | 30,60 | 7,55 | 0,25 | 0,53 | 0 | 41,16 |
| 26 | 1,60 | 0,79 | 10,44 | 1,04 | 76,07 | 4,02 | 5,87 | 0 | 0,16 |
| 27 | 13,62 | 80,97 | 0,81 | 0 | 1,66 | 0,61 | 1,03 | 1,31 | 0 |
| 28 | 2,94 | 0,73 | 10,09 | 0,43 | 71,99 | 4,11 | 5,36 | 3,92 | 0,42 |
| 29 | 5,28 | 6,85 | 3,87 | 15,96 | 12,24 | 1,70 | 1,83 | 0,31 | 51,95 |

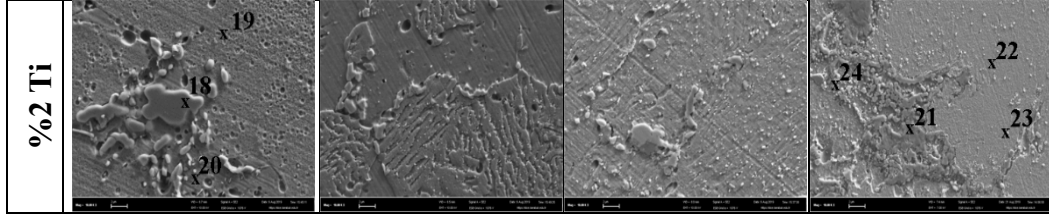
Şekil 6.1’de verilen farklı miktarlarda Ta ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4 ve 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımların mikro yapı SEM görüntüleri incelendiğinde alaşımların yapısında Fe’ce zengin (δ -ferrit) bölgeler ve farklı boyutlarda mikro boşlukların olduğu görülmektedir. SEM görüntüleri, Çizelge 6.1’de verilen EDS sonuçları ile birlikte incelendiğinde, genel olarak homojen dağılmamış karbürlerin olduğu görülmektedir. İlave edilen Ta miktarı arttıkça yapıda Si ve C’ca zengin bölgelerin (konum 5, 6, 9, 13, 17, 18, 19, 23, 27) olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca yine artan Ta miktarı ile yapıda çözünmeyen Ta’lar da (konum 15, 20, 25, 29) açıkça görülmektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir [49].

6.1.2. Ti İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların SEM ve EDS İncelemeleri

Farklı miktarlarda Ti ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılan 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımlarının mikro yapı SEM görüntüleri Şekil 6.2’de, nokta EDS sonuçları ise Çizelge 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Farklı miktarlarda Ti ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin mikro yapı SEM görüntüleri.



Şekil 6.2 (devam ediyor).

Çizelge 6.2. Farklı miktarlarda Ti ilave edilen 480 °C sıcaklıkta 1, 4 ve 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin EDS analizi sonuçları.

| Konum | Element Miktarı (%) | | | | | | | | |
|-------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | C | Cr | Cu | Fe | Mn | Ti | Ni | Si | Nb |
| 1 | 2,13 | - | 2,40 | 91,41 | 1,26 | 0 | 2,61 | 0,18 | - |
| 2 | 10,02 | - | 4,51 | 0 | 83,29 | 0 | 2,19 | 0 | - |
| 3 | 5,27 | - | 1,57 | 0,64 | 0 | 0,17 | 0,23 | 92,13 | - |
| 4 | 8,37 | - | 0,80 | 4,40 | 5,22 | 45,47 | 1,25 | 34,48 | - |
| 5 | 3,46 | - | 1,98 | 7,17 | 1,03 | 82,38 | 2,45 | 1,54 | - |
| 6 | 6,31 | - | 9,48 | 74,17 | 3,27 | 0,16 | 5,56 | 1,05 | - |
| 7 | 3,38 | - | 4,0 | 77,68 | 2,59 | 0,37 | 8,19 | 3,79 | - |
| 8 | 2,19 | - | 2,71 | 83,81 | 6,09 | 0,15 | 4,10 | 0,94 | - |
| 9 | 4,74 | - | 2,20 | 3,47 | 0 | 82,17 | 3,14 | 4,28 | - |
| 10 | 11,43 | - | 0,26 | 3,42 | 1,29 | 83,10 | 0,33 | 0,17 | - |
| 11 | 1,49 | - | 11,80 | 39,92 | 0,33 | 41,84 | 4,12 | 0,49 | - |
| 12 | 3,12 | - | 3,25 | 79,46 | 5,47 | 2,48 | 4,05 | 2,17 | - |
| 13 | 1,51 | - | 0 | 6,53 | 1,61 | 89,70 | 0,08 | 0,56 | - |
| 14 | 1,94 | - | 1,35 | 88,24 | 5,13 | 0 | 2,13 | 1,21 | - |
| 15 | 5,15 | - | 1,24 | 10,08 | 2,55 | 79,51 | 0,87 | 0,60 | - |
| 16 | 6,93 | - | 1,36 | 51,92 | 2,54 | 27,59 | 4,54 | 5,13 | - |
| 17 | 3,48 | - | 2,15 | 77,65 | 4,19 | 3,57 | 6,95 | 2,01 | - |
| 18 | 2,03 | - | 0,36 | 4,45 | 0,45 | 91,87 | 0,63 | 0,21 | - |
| 19 | 0,70 | - | 0,79 | 91,69 | 4,73 | 1,26 | 0,31 | 0,51 | - |
| 20 | 5,61 | - | 5,46 | 76,75 | 2,64 | 0,65 | 7,91 | 0,98 | - |
| 21 | 2,13 | 63,01 | 1,48 | 0,60 | 0 | 32,33 | 0,43 | 0,02 | 0 |
| 22 | 1,62 | 18,53 | 6,66 | 57,91 | 0 | 1,54 | 8,06 | 1,69 | 0,23 |
| 23 | 1,77 | 17,60 | 4,60 | 58,27 | 4,54 | 1,34 | 10,08 | 1,59 | 0,21 |
| 24 | 5,37 | 31,76 | 0,61 | 21,98 | 1,09 | 35,52 | 2,89 | 0,78 | 0 |

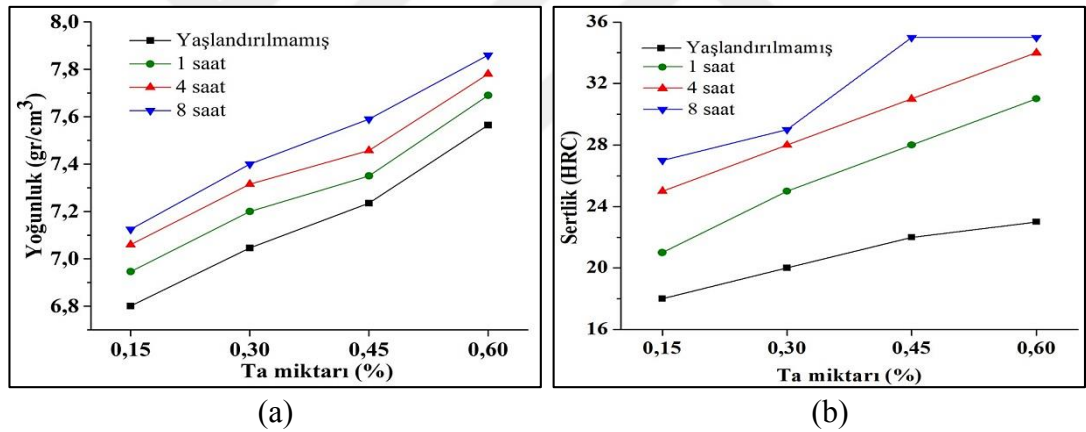
Şekil 6.2’de verilen farklı miktarlarda Ti ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımların mikro yapı

SEM görüntüleri incelendiğinde, alaşımların yapısında karbür türü fazların oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu fazların karbür türü fazlar olduğu, Çizelge 6.2’de verilen EDS sonuçlarından da anlaşılmaktadır (2, 4, 8, 10 C-zengin bölgeler). Ayrıca, Çizelge 6.2’de verilen EDS sonuçları incelendiğinde, mikro yapıda Cr-zengin bölgeler olduğu (21, 22, 23, 24) anlaşılmaktadır.

6.2. YOĞUNLUK VE SERTLİK SONUÇLARININ İNCELENMESİ

6.2.1. Ta İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların Yoğunluk ve Sertlik Sonuçlarının İncelenmesi

Farklı miktarlarda Ta içeren 17-4 PH paslanmaz çeliklerin yoğunluk ve sertlik değişimleri Şekil 6.3’te verilmiştir.



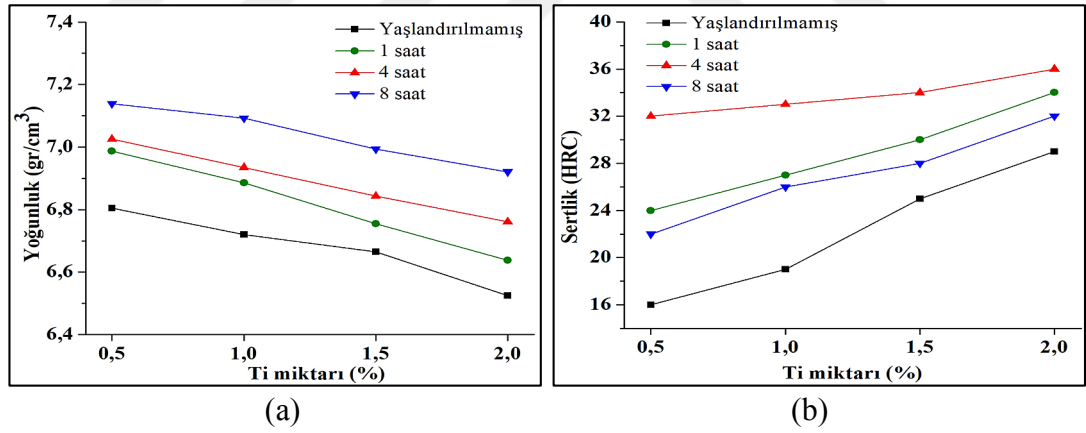
Şekil 6.3. Farklı miktarlarda Ta ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çeliklerin yoğunluk (a) ve sertlik (b) değişimleri.

Şekil 6.3.a’da verilen yoğunluk değişimleri incelendiğinde ilave edilen Ta miktarının artmasıyla birlikte 17-4 PH alaşımların yoğunluklarının arttığı görülmektedir. İlave edilen Ta miktarına göre en düşük yoğunluk yaşlandırılmamış 17-4 PH alaşımında (6,8 gr/cm³), en yüksek yoğunluk ise 8 saat yaşlandırılan 17-4 PH alaşımında (7,86 gr/cm³) elde edilmiştir. Yoğunluk değişimlerindeki bu artışın nedeni, ilave edilen tantalyumun yoğunluğunun yüksek (16,6 gr/cm³) olmasından kaynaklanmaktadır. Yaşlandırma süresinin etkisine göre yoğunluk değişimleri incelendiğinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yaşlandırma işlemi ile yapıda oluşan çökeltiler nedeniyle yoğunluk

artmaktadır. Yine Şekil 6.3.b’de verilen sertlik değişimleri incelendiğinde ilave edilen Ta miktarının arttıkça 17-4 PH alaşımların sertliklerinin arttığı görülmektedir. İlave edilen Ta miktarına göre en düşük sertlik yaşlandırılmamış 17-4 PH alaşımında (18 HRC), en yüksek sertlik ise 8 saat yaşlandırılan 17-4 PH alaşımında (35,4 HRC) elde edilmiştir. Yaşlandırma süresinin etkisine göre sertlik değişimleri incelendiğinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sertlik değişimlerindeki bu artış, yaşlandırma süresine bağlı olarak yapıda oluşan karbür fazlarındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Nalçacıoğlu vd. yaptıkları bir çalışmada 17-4 PH alaşımlarına ilave edilen Ta miktarının artmasıyla birlikte sertliğin de arttığını belirtmişlerdir [49].

6.2.2. Ti İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların Yoğunluk ve Sertlik Sonuçlarının İncelenmesi

Farklı miktarlarda Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çeliklerin yoğunluk ve sertlik değişimleri, Şekil 6.4’te verilmiştir.



Şekil 6.4. Farklı miktarlarda Ti ilave edilen 17-4PH paslanmaz çeliklerin yoğunluk (a) ve sertlik (b) değişimleri.

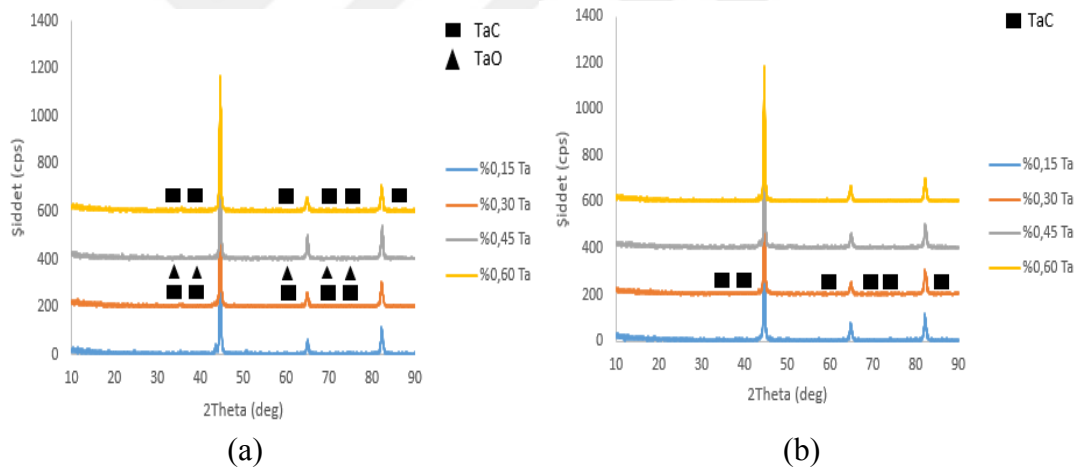
Şekil 6.4’te verilen yoğunluk değişimleri incelendiğinde, 17-4 PH paslanmaz çeliklerin bileşimindeki Ti miktarı arttıkça, alaşımların yoğunluklarında azalma görülmektedir. Alaşımların yoğunluğundaki bu azalmanın sebebi, bu alaşımlara ilave edilen Ti elementinin yoğunluğunun (4,51 gr/cm³), alaşımın yoğunluğundan daha düşük olmasıdır. Şekil 6.6’da verilen sertlik sonuçları incelendiğinde ise, genel olarak alaşımlara ilave edilen Ti miktarının artmasıyla, alaşımın sertliğinin de arttığı

görülmektedir. Bu durum Hall-Petch eşitliğiyle izah edilebilir. Bu eşitlik tane boyutu küçüldükçe malzemelerin akma dayanımında artışı ifade etmektedir. Ti elementi atomları tane içerisinde çözünmeyen ikinci faz oluşturarak çökeldiğinden dolayı, tane boyutunun büyümesine engel olmaktadır. Sonuç olarak tane boyutu ne kadar küçük olursa alaşımın sertliği de artmaktadır [50].

6.3. XRD ANALİZİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.3.1. Ta İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların XRD Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı miktarlarda Ta ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çeliklerin XRD sonuçları Şekil 6.5'te verilmiştir.

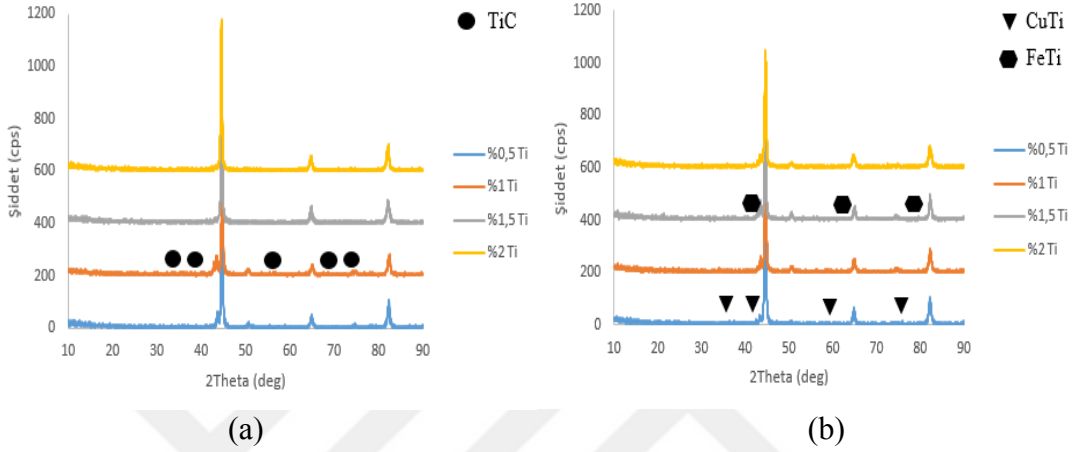


Şekil 6.5. Farklı miktarlarda Ta içeren 17-4 PH paslanmaz çeliklerin XRD sonuçları.

Şekil 6.5'de verilen XRD analiz sonucunun incelenmesiyle yapıda oluşması beklenen TaC karbürlerinin yanısıra TaO piklerinde olduğu gözlemlenmiştir. TaC son derece sert ve gevrek bir bileşiktir. TaC karbürü, alaşımın sertlik ve mukavemet özelliklerini artırırken alaşıma yüksek aşınma ve korozyon direnci kazandırır.

6.3.2. Ti İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların XRD Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı miktarlarda Ti içeren 17-4 PH paslanmaz çeliklerin XRD sonuçları Şekil 6.6'da verilmiştir.



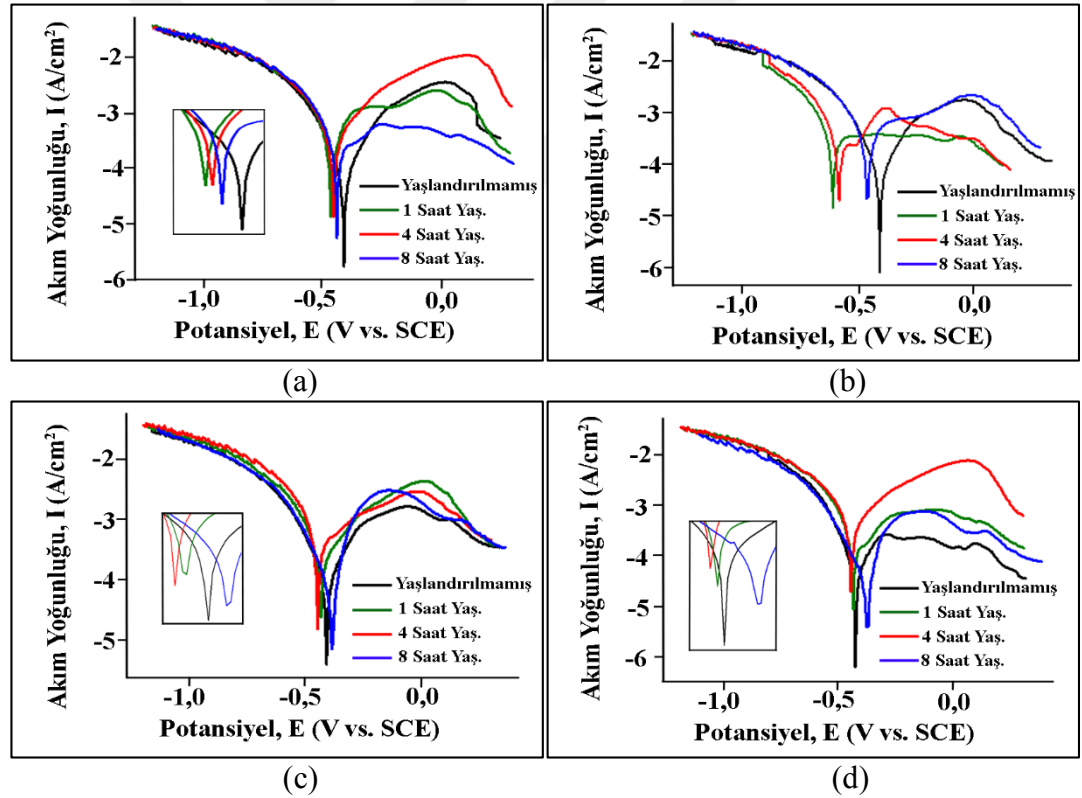
Şekil 6.6. Farklı miktarlarda Ti içeren 17-4 PH paslanmaz çeliklerin XRD sonuçları.

Şekil 6.6'da verilen XRD analiz sonucunun incelenmesiyle yapıda görülmesi beklenen TiC karbürlerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra CuTi ve FeTi piklerinin oluşumu da gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık ve korozif atmosfere karşı dayanımı ve sertliği gibi özellikleri TiC'ü ergimiş malzemelerin taşınmasında kullanılan tankların kullanımında uygun hale getirmektedir. [48].

6.4. KOROZYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.4.1. Ta İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların Korozyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı miktarlarda Ta ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılan 17-4 PH paslanmaz çelikler 0,1 M H₂SO₄ çözeltisi içerisinde 30 dakika açık devre potansiyeline ulaşana kadar bekletilmiştir. Daha sonra anodik ve katodik yönde ± 750 mV potansiyel ve 1 mV/sn tarama hızında potansiyodinamik polarizasyon korozyon testi yapılmıştır. Bu testler sonucunda elde edilen Tafel eğrileri Şekil 6.7’de, bu eğrilerden elde edilen korozyon potansiyeli (E_{kor}), anodik ve katodik Tafel eğimleri (β_a ve β_c) ve korozyon hızı değerleri ise, Çizelge 6.3’te verilmiştir.



Şekil 6.7. Farklı miktarlarda Ta içeren 17-4 PH paslanmaz çeliklerin potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrileri (a) %0,15 Ta, (b) %0,3 Ta, (c) %0,45 Ta ve (d) %0,6 Ta.

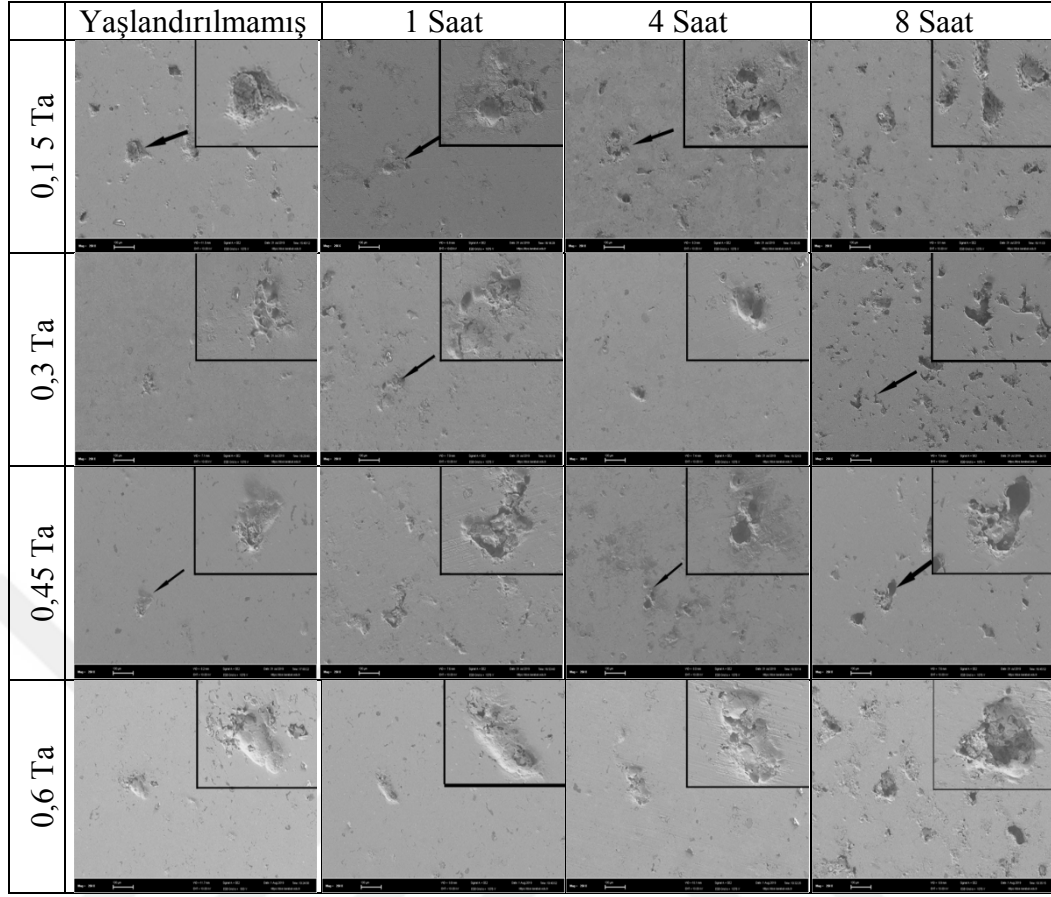
Şekil 6.7’de verilen potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrileri grafiği incelendiğinde, tüm numuneler için tafel eğrilerinin birbirine benzediği görülmektedir. Fakat bu eğrilerden elde edilen veriler (Çizelge 6.2) incelendiğinde, yaşlandırılmayan numunelerde en düşük akım yoğunluğu %0,6 Ta ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik malzemede elde edilirken, en yüksek akım yoğunluğu %0,15 Ta ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik malzemede elde edilmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrilerinden elde edilen akım yoğunluklarının artması korozyon direncindeki azalma anlamına gelmektedir [51].

Çizelge 6.3. 0,1 M H₂SO₄ sıvısı içerisinde farklı miktarlarda Ta ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik elektrotları ve Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri.

| Elektrot | | E _{kor} (V) | I _{kor} (µA/cm ²) | β _a (V) | β _c (V) | Korozyon Oranı mm/yıl |
|----------|------------------|-------------------------|---|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| %0,15 Ta | Yaşlandırılmamış | 0,415 | 78,8 | 0,130 | 0,091 | 0,974 |
| | 1 saat | 0,463 | 87,6 | 0,046 | 0,039 | 1,078 |
| | 4 saat | 0,453 | 96,3 | 0,048 | 0,042 | 1,180 |
| | 8 saat | 0,441 | 104 | 0,082 | 0,049 | 1,271 |
| %0,3 Ta | Yaşlandırılmamış | 0,399 | 75,1 | 0,122 | 0,105 | 0,934 |
| | 1 saat | 0,610 | 83,4 | 0,055 | 0,024 | 1,033 |
| | 4 saat | 0,586 | 93,5 | 0,073 | 0,023 | 1,152 |
| | 8 saat | 0,455 | 97,2 | 0,050 | 0,055 | 1,196 |
| %0,45 Ta | Yaşlandırılmamış | 0,412 | 73,7 | 0,112 | 0,067 | 0,917 |
| | 1 saat | 0,436 | 78,1 | 0,058 | 0,026 | 0,966 |
| | 4 saat | 0,445 | 87,2 | 0,036 | 0,021 | 1,077 |
| | 8 saat | 0,376 | 90,1 | 0,070 | 0,133 | 1,113 |
| %0,6 Ta | Yaşlandırılmamış | 0,429 | 72,5 | 0,182 | 0,089 | 0,901 |
| | 1 saat | 0,438 | 76,6 | 0,098 | 0,022 | 0,950 |
| | 4 saat | 0,385 | 79,4 | 0,136 | 0,144 | 0,981 |
| | 8 saat | 0,442 | 84,7 | 0,038 | 0,025 | 1,037 |

Çizelge 6.3’de verilen korozyon oranı sonuçlarında en düşük korozyon oranı %0,6 Ta ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik malzemede olduğu görülmektedir. Korozyon oranları sırasıyla 0,974 mm/yıl, 0,934 mm/yıl, 0,917 mm/yıl ve 0,901 mm/yıl şeklinde elde edilmiştir. 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımına ilave edilen Ta miktarı ile korozyon direncinin arttığı görülmektedir. Ta, Mo, Co, Nb gibi reflektör malzeme grubunda

bulunan geçiş metallerrinin kullanılması alaşımın mukavemetini ve aynı zamanda korozyon direncini de artırmaktadır. Özyürek vd.[52] Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen 17-4 PH paslanmaz elik malzemelere farklı miktarlarda Mo ilavesinin korozyon özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmalarında artan Mo miktarı ile korozyon direncinin arttığını belirtmişlerdir. Yine Şekil 6.7’de verilen farklı sürelerde yaşlandırılan 17-4 PH paslanmaz elik malzemelerin potansiyodinamik polazizasyon tafel eğrileri incelendiğinde yaşlandırma süresi ile tafel eğrileri potansiyelinin yaşlandırılmamış numuneye göre katodik bölgede negatif değere kaydığı Şekil 6,7.a ve b’de net bir Şekilde görölmektedir. Bununla birlikte Şekil 6.7.d ve e’de ise 8 saat yaşlandırılan numunenin potansiyelinin, yaşlandırılmamış numune potansiyelinden katodik bölgeye kaydığı görölmektedir. Ancak Şekil 6.7.c ve d’de anodik bölgedeki akım yoğunluğunun yaşlandırılmamış numunenin akım yoğunluğundan yüksek olduğu görölmektedir. Bu durum artan yaşlandırma süresi ile korozyon direncinin azalmasının nedenidir. Çizelge 6.3’de verilen korozyon parametrelerinden bu durum açık bir Şekilde anlaşılmaktadır. İlave edilen bütün Ta miktarlarında artan yaşlandırma ile süresi ile korozyon oranının arttığı görölmektedir. %0,6 Ta ilave edilen 17-4 PH paslanmaz elik alaşımının tafel eğrilerinden elde edilen akım yoğunlukları sırasıyla yaşlandırılmamış ($72,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$), 1 saat yaşlandırılmış ($76,6 \mu\text{A}/\text{cm}^2$), 4 saat yaşlandırılmış ($79,4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) ve 8 saat yaşlandırılan ($84,7 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte korozyon oranları ise sırasıyla 0,901 mm/yıl, 0,950 mm/yıl, 0,981 mm/yıl ve 1,037 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Paslanmaz eliklerde korozyon özelliğini etkileyen ana alaşım elementi Cr’dur ve Cr’un minimum %11 olması gerekmektedir. Yaşlandırma işlemi ile yapıda oluşan Cr_{23}C_6 ökeltleri difüzyon ile oluşur ve özellikle tane sınırlarında ökeler. Bu nedenle bu bölgelerde bölgesel Cr eksikliği meydana gelir. Bu nedenle yaşlandırma işlemi ile korozyon direncini azaltmaktadır. Bühler vd. [53] tarafından yapılan bir çalışmada yaşlandırma işlemi ile genel olarak korozyon direncinin olumsuz yönde etkilendiği belirtilmiştir. Farklı miktarlarda Ta ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılan 17-4 PH paslanmaz eliklerin 0,1 M H_2SO_4 özeltisi içerisinde korozyon yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 6.8’de verilmiştir.



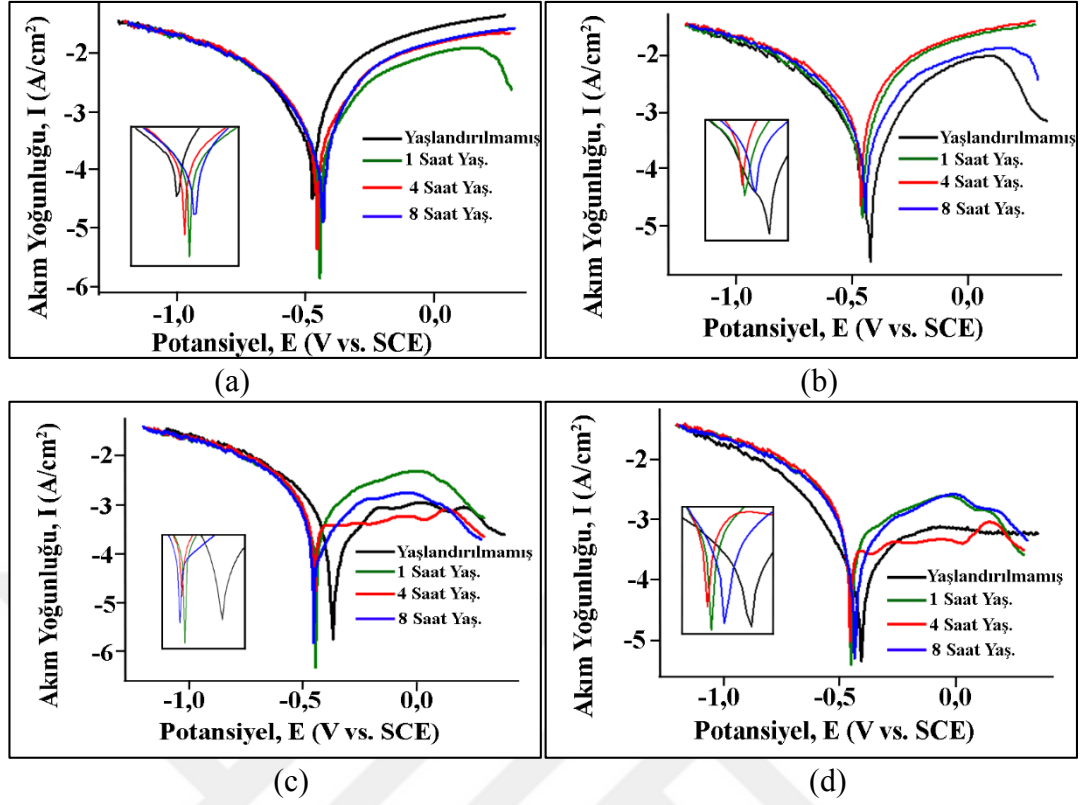
Şekil 6.8. Farklı miktarlarda Ta ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin korozyon testi sonrası mikro yapı SEM görüntüleri.

Şekil 6.8’de verilen farklı miktarlarda Ta ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin korozyon testi sonrası mikro yapı SEM görüntüleri incelendiğinde, aktif korozyon mekanizmasının çukurcuk korozyonu olduğu görülmektedir. Ayrıca alaşım içerisinde artan Ta miktarı ile yüzeyde oluşan çukurcuk bölgelerinin şekil ve morfolojisinde değişiklik olduğu anlaşılmaktadır. %0,15 Ta ilave edilen ve yaşlandırılmamış 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımında oluşan çukurcuğun yüzey alanının daha geniş olduğu görüntülerden anlaşılmaktadır. Bununla birlikte %0,6 Ta ilave edilen ve yaşlandırılmayan alaşımında ise oluşan çukurcuğun daha yüzeysel olduğu görülmektedir. Bunun nedeni 17-4 PH paslanmaz çeliğe ilave edilen Ta’un iyi korozyon direncine sahip olmasıdır [54]. Şekil 6.7’de verilen polarizasyon tafel eğrisi sonuçları ve Çizelge 6.3’de verilen korozyon oranı sonuçları ile korozyon yüzeyi SEM görüntüleri birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Yine Şekil 6.8’de verilen korozyon yüzeyi SEM görüntülerinde bütün

gruplarda yaşlandırma süresinin artması ile korozyon yüzeylerinde oluşan çukurcukların arttığı anlaşılmaktadır. Malzemede oluşan bu çukurcukların yaşlandırma süresinin artmasıyla yapıda çökelen Cr_23C_6 karbürlerin oluşumu sırasında bölgesel olarak Cr'un azalması ya da Cr'un bulunmadığı bölgelerdir. Ayrıca Şekil 6.1'de verilen mikro yapı SEM görüntüsü ve Çizelge 6.1'de verilen EDS sonuçlarında %0,15 Ta ilave edilen ve 8 saat yaşlandırılan 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımının EDS sonuçlarında (konum 5, 6, 7) bu durumu desteklemektedir. Paslanmaz çeliklerin paslanmazlık özelliğini yapıda bulunan Cr'un yüzeyde oluşturduğu krom oksit sağlamaktadır. Bu nedenle yüzeyde bu oksit tabakasının oluşmaması bu çukurcukların oluşmasına neden olmaktadır. Karaminezhad vd. [55]. 17-4 PH paslanmaz çeliğin farklı yaşlandırma koşullarında Mo ilavesinin korozyon direncine etkisinin inceledikleri çalışmalarında, 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımlarının, korozyon direncinin yüzeyinde oluşan oksit tabakasından kaynaklandığını, yüzeyde oluşan oksit tabakasının çukurcuk korozyonuna karşı direncini artırdığını belirtmişlerdir.

6.4.2. Ti İlave Edilen 17-4 PH Alaşımların Korozyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı miktarlarda Ti ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılan 17-4 PH paslanmaz çelikler 0,1 M H_2SO_4 çözeltisi içerisinde 30 dakika açık devre potansiyeline ulaşana kadar bekletilmiştir. Daha sonra anodik ve katodik yönde $\pm 0,75$ mV potansiyel ve 1 mV/sn tarama hızında potansiyodinamik polarizasyon korozyon testi yapılmıştır. Bu testler sonucunda elde edilen Tafel eğrileri Şekil 6.9'da, bu eğrilerden elde edilen korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akım yoğunluğu (I_{kor}), anodik ve katodik Tafel eğimleri (β_a ve β_c) ve korozyon hızı değerleri ise, Çizelge 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.9. Farklı miktarlarda Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çeliklerin potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrileri (a) %0,5 Ti, (b) %1,0 Ti, (c) %1,5 Ti ve (d) %2,0 Ti.

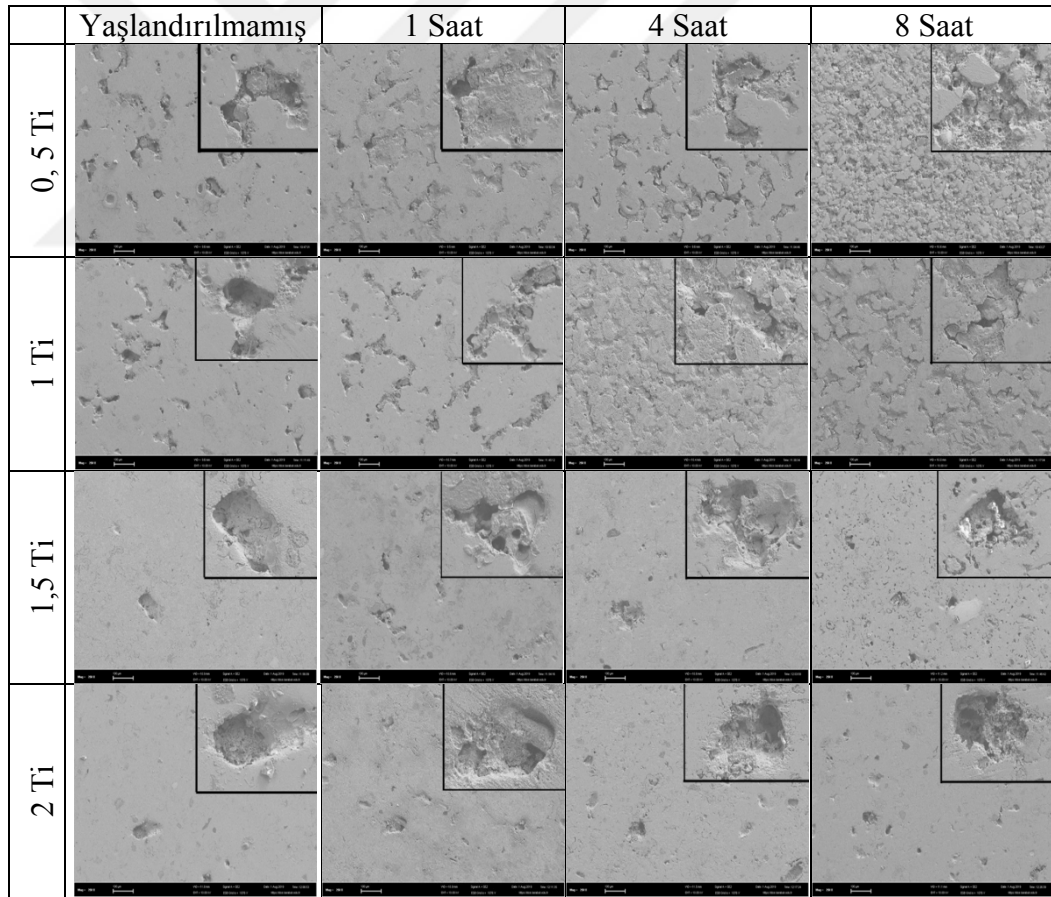
Şekil 6.9'da verilen potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrileri grafiği incelendiğinde, tüm numuneler için tafel eğrilerinin birbirine benzediği görülmektedir. Fakat bu eğrilerden elde edilen veriler (Çizelge 6.2) incelendiğinde, yaşlandırılmayan numuneler arasında en düşük akım yoğunluğu %2 Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik malzemede elde edilirken en yüksek akım yoğunluğu %0,5 Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik malzemede elde edilmiştir. Bununla birlikte elde edilen korozyon potansiyellerinin 0,4 V ile 0,5 V aralığında olduğu görülmektedir. Tafel eğrilerinden elde edilen akım yoğunlukları alaşıma ilave edilen Ti miktarının artmasıyla azalmaktadır. Bu 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımına ilave edilen Ti miktarının artması ile korozyon direncinin arttığını göstermektedir. Gülsoy vd. [56] toz metalürjisi yöntemi ile üretilen 316L paslanmaz çeliğe Zr, Nb ve Ti gibi farklı alaşım elementi ilavesinin mekanik, korozyon davranışlarını inceledikleri çalışmalarında, 316 L paslanmaz çeliğe ilave edilen bu alaşım elementleri ile korozyon direncinin arttığını, en iyi korozyon direncinin Ti ilavesi ile elde edildiğini belirtmişlerdir.

Çizelge 6.4. 0,1 M H₂SO₄ sıvısı içerisinde farklı miktarlarda Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik elektrotları ve Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri.

| Elektrot | | E _{kor} (V) | I _{kor} (μ A/cm ²) | β_a (V) | β_c (V) | Korozyon Oranı mm/yıl |
|----------|------------------|-------------------------|---|------------------|------------------|--------------------------|
| %0,5 Ti | Yaşlandırılmamış | 0,470 | 79,95 | 0,030 | 0,024 | 1,002 |
| | 1 saat | 0,424 | 94,8 | 0,040 | 0,091 | 1,134 |
| | 4 saat | 0,441 | 103,5 | 0,068 | 0,024 | 1,277 |
| | 8 saat | 0,456 | 105,5 | 0,063 | 0,047 | 1,295 |
| %1 Ti | Yaşlandırılmamış | 0,423 | 72,1 | 0,097 | 0,093 | 0,940 |
| | 1 saat | 0,442 | 80,4 | 0,053 | 0,043 | 1,003 |
| | 4 saat | 0,453 | 88,99 | 0,041 | 0,055 | 1,147 |
| | 8 saat | 0,463 | 97,9 | 0,034 | 0,011 | 1,254 |
| %1,5 Ti | Yaşlandırılmamış | 0,379 | 69,8 | 0,145 | 0,047 | 0,934 |
| | 1 saat | 0,446 | 77,6 | 0,106 | 0,050 | 0,989 |
| | 4 saat | 0,442 | 77,4 | 0,039 | 0,035 | 1,026 |
| | 8 saat | 0,451 | 84,5 | 0,044 | 0,024 | 1,106 |
| %2 Ti | Yaşlandırılmamış | 0,402 | 63 | 0,117 | 0,114 | 0,862 |
| | 1 saat | 0,438 | 71,2 | 0,084 | 0,045 | 0,931 |
| | 4 saat | 0,448 | 73,1 | 0,043 | 0,032 | 0,996 |
| | 8 saat | 0,455 | 75,1 | 0,045 | 0,017 | 1,007 |

Çizelge 6.4'de verilen potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametrelerinde alaşıma ilave edilen Ti miktarı kıyaslandığında, en yüksek akım yoğunluğu %0,5 Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımında 79,95 μ A/cm², en düşük akım yoğunluğu ise %2 Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımında 63 μ A/cm² olarak elde edilmiştir. Genel olarak sonuçlara bakıldığında Ti miktarı arttıkça korozyon oranı azalmaktadır. En yüksek korozyon oranı %0,5 Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımında 1,002 mm/yıl olarak elde edilirken, en düşük korozyon oranı %2 Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımında 0,862 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Alaşım içerisinde artan Ti miktarı, korozyon direncinin artmasına neden olmaktadır. Paslanmaz çelik alaşımlarına ilave edilen Zr, Nb, Ti gibi alaşım elementlerinin ilavesi ile toz yüzeyleri üzerindeki oksitleri hapsettiğini, bunun sonucu olarak sinterleme sonrasında korozyon direnci artmaktadır [57].

Çizelge 6.2’de farklı sürelerde yaşlandırılan 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımlarının artan yaşlandırma süresi ile bütün gruplarda korozyon oranının arttığı görülmektedir. En düşük korozyon oranının elde edildiği %2 Ti ilave edilen alaşımın korozyon oranları sırasıyla, yaşlandırılmamış 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımında 0,862 mm/yıl, 1 saat yaşlandırılan alaşımda 0,931 mm/yıl, 4 saat yaşlandırılan alaşımda 0,996 mm/yıl ve 8 saat yaşlandırılan alaşımda ise 1,007 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Yaşlandırma süresinin artmasıyla korozyon oranında arttığı görülmektedir. Korozyon oranındaki bu artış yapıda oluşan $Cr_{23}C_6$ çökeltisi ve bununla birlikte toz metalürjisinin kaçınılmaz bir sonucu olan gözenekli yapı ile açıklanabilir. Yüzeyle oluşan krom oksit tabakasının gözenek bölgelerinde oluşmaması ve yaşlandırma ile oluşan çökeltiler etrafındaki serbest krom bulunmamasından dolayı koruyucu krom oksit tabakasının oluşmamasından kaynaklanmaktadır [55].



Şekil 6.10. Farklı miktarlarda Ti ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin korozyon testi sonrası mikro yapı SEM görüntüleri.

Şekil 6.10'de verilen farklı miktarlarda Ti ilave edilen yaşlandırılmamış ve 480 °C sıcaklıkta 1, 4, 8 saat yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çeliklerin korozyon testi sonrası mikro yapı SEM görüntüleri incelendiğinde, aktif korozyon mekanizmasının çukurcuk korozyonu olduğu görülmektedir. Ayrıca alaşım içerisinde artan Ti miktarı ile yüzeyde oluşan çukurcuk bölgelerinin şekil ve morfolojisinde değişiklik olduğu anlaşılmaktadır. %0,5 Ti ilave edilen ve yaşlandırılmamış 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımında oluşan çukurcukların yüzey alanlarının daha geniş ve daha yoğun olduğu görülmektedir. Bununla birlikte %2 Ti ilave edilen ve yaşlandırılmayan alaşımında ise oluşan çukurcukların ise daha az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni 17-4 PH paslanmaz çeliğe ilave edilen Ti ile korozyon direncindeki artıştır [57]. Çizelge 6.3'de verilen korozyon oranı sonuçları ile korozyon yüzeyi SEM görüntüleri birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Yine Şekil 6.10'da verilen korozyon yüzeyi SEM görüntülerinde bütün gruplarda yaşlandırma süresinin artması ile korozyon yüzeylerinde oluşan çukurcukların yoğunlaştığı görülmektedir. 17-4 PH paslanmaz çeliklerde yaşlandırma işlemi ile mekanik özellikler geliştirilebilirken, korozyon hassasiyeti artmaktadır [1]. Paslanmaz çeliklerin paslanmazlık özelliğini yapıda bulunan Cr'un yüzeyde oluşturduğu krom oksit sağlamaktadır. Malzemede oluşan bu çukurcukların yaşlandırma süresinin artmasıyla yapıda çökelen Cr₂₃C₆ karbürlerin oluşumu sırasında bölgesel olarak Cr'un azalması ya da Cr'un bulunmadığı bölgelerdir ki, bir elektrolit içerisinde ise bu bölgeler anodik hale gelir. Bu nedenle genel olarak karbürlerin çökmesi sonucu korozyon direnci önemli ölçüde etkilenmektedir [53].

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yaşlandırılmış 17-4 PH paslanmaz çelik alaşımına farklı miktarlarda tantalum (Ta) ilave edilerek, 480 °C sıcaklıkta 1, 4 ve 8 saatlik yaşlandırma süresi sonunda Ta miktarının korozyon davranışı üzerindeki etkisi ve yine farklı miktarlarda titanyum (Ti) ilave edilerek, 480 °C sıcaklıkta 1, 4 ve 8 saatlik yaşlandırma süresi sonunda Ti miktarının korozyon davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Ta ilave edilen alaşımın mikro yapısının ferritik olduğunun sonucuna varılmıştır.
- Dört farklı miktarda Ta ilave edilen (%0,15-%0,3- %0,45-%6) 17-4 PH paslanmaz çeliğin yoğunluklarının 480 °C sıcaklıkta 3 farklı yaşlandırma süresi sonunda artan % Ta miktarıyla birlikte yoğunluk değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir.
- Malzemede yaşlandırma sonrası artan % Ta ilavesiyle birlikte sertlik değerlerinde de artma olduğu tespit edilmiştir.
- Ta ilave edilen alaşımın mikro yapısında, Cr₂₃C₆ ve Cr₃C karbürlerinin oluştuğu belirlenmiştir.
- Ta ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çeliğin alaşımlarında, Ta miktarındaki artışa bağlı olarak korozyon direncinin arttığı, yaşlandırma süresine bağlı olarak korozyon direncinin azaldığı belirlenmiştir.
- Ti ilave edilen alaşımın mikro yapısının ferritik olduğu belirlenmiştir.

- Dört farklı oranda Ti ilave edilen (%0,5-%1- %1,5-%2) 17-4 PH paslanmaz çeliğin yoğunluklarının artan % Ti miktarıyla birlikte azaldığı belirlenmiştir.
- Malzemede yaşlandırma sonrası artan % Ti ilavesiyle birlikte sertlik değerlerinde artma olduğu tespit edilmiştir.
- Ti ilave edilen alaşımın mikro yapısında, Cr₂₃C₆ ve Cr₃C karbürlerinin oluştuğu belirlenmiştir.
- Ti ilave edilen 17-4 PH paslanmaz çeliğin alaşımlarında, Ti miktarındaki artışa bağlı olarak korozyon direncinin arttığı, yaşlandırma süresine bağlı olarak korozyon direncinin azaldığı belirlenmiştir.

Daha sonra yapılabilecek çalışmalar için öneriler;

- Farklı sinterleme parametreleri uygulanarak yoğunluk miktarına ve mikro yapıya etkisi incelenebilir.
- Toz metalurjisi ve geleneksel döküm yöntemiyle üretilen parçalar arasındaki mikro yapı ve korozyon davranışları incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Esfandiari, H., Dong, M., "The Corrosion and Corrosion-Wear Behaviour of Plasma Nitrided 17-4 PH Precipitation Hardening Stainless Steel", *Surface & Coatings Technology*, 202, 466 (2007).
2. Ping, L., Qi-Zhou, C., Bo-kang, W. Xian-Zhong, Z., "Effect of aging temperature on erosion-corrosion behavior of 17-4 PH stainless steels in dilute sulphuric acid slurry", *Journal of Iron and Steel Research International*, 13(5): 73 (2006).
3. Wang, J., Zou, H., Li, C., Qiu, S. Shen, B., "The spinodal decomposition in 17-4 PH stainless steel subjected to long-term aging at 350 °C", *Materials Characterization*, 59, 587 (2008).
4. Kochmanski, P., Nowacki, J., "Influence of initial heat treatment of 17-4 PH stainless steel on gas nitriding kinetics", *Surface & Coatings Technology*, 202, 4834 (2008).
5. Roll, K. H., "Metals Handbook 9th Edition", *ASM Metals Park*, Ohio (1984).
6. Lenel, F. V., "Powder Metallurgy – Principles and Applications", *Metal Powders Industries Federation*, Princeton (1972).
7. Rack, H. J., Kumar, P., Vedula, K., Ritter, A., "Processing and Properties of Powder Metallurgy Composites", *The Metallurgical Society*, Warrendale (1988).
8. German, R. M., "Powder Metallurgy Science", *Metal Powder Industries Federation*, New Jersey (1994).
9. Miracle, D. B., "Metal Matrix Composites-From Science to Technological Significance", *Composite Science and Technology*, 64, 2526-2540 (2005).
10. Torralba, J. M., Da Costa, C. E., Velasco, F., "P/M Aluminium Matrix Composites: an Overview", *Journal of Materials Processing Technology*, 133, 203-206 (2003).
11. Söyler, M., "Toz Metalurjisi ve Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Yeknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü* (2007).

12. Palavar,O.,"Toz Metalurjisi ile Üretilen INCONEL Süper Alaşımlarda Yaşlanma Parametrelerinin Aşınma Davranışlarına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2014).
13. Suryanarayana, C.,"Bibliography on Mechanical Alloying and Milling", **International Science Publishing**, Cambridge (1995).
14. Lai, M. O., Lu, L.,"Mechanical Alloying", **Kluwer Academic Publishers**, Boston (1998).
15. Murty, B., "Novel Materials Synthesis by Mechanical Alloying/Milling", **International Mater Rev.**, 43, 101-141 (1998).
16. Goff, A.,"Modeling and Synthesis of a Piezoelectric Ceramic-Reinforced Metal Matrix Composites", MS Thesis, **Virginia Polytechnic Institute and State University**, Blacksburg (2003).
17. Suryanarayana, C., Ivanov, E. ve Boldyrev, V. V.,"The Science and Technology of Mechanical Alloying", **Materials Science and Engineering A**, 151-158 (2001).
18. Öveçoğlu, L. M.,"Toz Metalurjisi:Tarihsel Gelişim,Üretim Aşamaları ve Son Eğilimler", **9.Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi** (1997).
19. Keçeli, Z.,"Characterization Investigations of Powder and Sintered Al-SiC and Al-B4C Composites Developed via Mechanical Alloying",Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2007).
20. Suryanarayana, C., "Mechanical Alloying and Milling", **Progress in materials science**,46(1): 1-184 (2001).
21. Ünal, R. ve K. U. Kainer, "Toz Metalurjisi Yöntemi ile Al-SiC Alaşımı Üretilmesi ve Mekanik Özellikleri.," **Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı**, Ankara, (1999).
22. Akbulut, H. ve Durman. M. "SiC Partikül Takviyeli Al-Si Metal Matrisli Kompozitlerin Santrifüj Dökümü," **8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi**, İstanbul, (1995).
23. Munis, M. M. " Toz Metalurjisi Yöntemi ile Krom Karbür Takviyeli Bakır Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi," **Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2017).
24. Kurt, A. "Toz metal bronz yatak malzemelerin özellikleri, Yüksek Lisans Tezi," **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (1992).

25. Davidson, J. A "Compressibility of Metal Powders," *Quebec Metal Powders Ltd.*, London, (1996).
26. Hanumath, G. S. ve G. A. Irons, "Partide Incorporation by Molt Stirring for the Production of Metal-Matrix Compozites.," *Journal of Metarial Science*, pp. 2459-2465, (1993).
27. Ulutaş, A. "Bor Takviyeli Bakır Kompozitin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi ve Mekanik-Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi," *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2014).
28. Sur, G. "Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2002).
29. Tomruk, S. "Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilmiş AA2014 Alüminyum Alaşımının Mikroyapısal Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2010).
30. Sümel, M. "Mekanik Alaşımlama ile Üretilen Fe-Fe₃C Kompozit Malzemede Mekanik Özelliklerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2003).
31. Klar, E. ve Samal, P. Powder Metallurgy Stainless Steels, Processing, Microstructures and Properties, USA: *ASM International*, (2007).
32. Upadhyaya, G. S. Powder Metallurgy, England: *Cambridge International Science Publishing*, (2002).
33. Gülsoy, H. Ö. "Toz Enjeksiyon Kalıplama Metodu ile Üretilmiş 17-4 PH Paslanmaz Çelik Parçalara Yapılan İki Tip Bor İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Doktora Tezi," *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2003).
34. Kayış, V. *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2005).
35. Okura, T., Nomura, S. ve Shikakura, S. "Solid State Powder Processing, The Minerals," *Metal and Materials Society*, (1990).
36. Shade, V. T., Stears, P. D., Lawley, A. ve R. D. Doherty, "Precipitation Hardening PM Stainless Steels," *International Journal of Powder Metallurgy*, cilt 43, no. 4, pp. 51-59, (2007).
37. Klar, E. ve Samal, P. "Powder Metallurgy Stainless Steels, Processing Microstructures and Properties," *ASM International*, USA, (2007).

38. Uluengin, B. Mimari Metaller Özellikleri, Bozulma Nedenleri, Koruma Ve Restorasyon Teknikleri, İstanbul: **Birsen Yayınevi**, (2006).
39. Er, Ö. "Bor katkılı 316L Paslanmaz Çeliklerin Korozyon Davranışlarının Elektrokimyasal Yöntemle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi," **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2012).
40. Perez, N. Electrochemistry and Corrosion Science, Boston: **Kluwer Academic Publishers**, (2004).
41. Doruk, M. Korozyon Olayının Elektrokimyasal İlkeleri, Ankara: Güzel **İstanbul Matbaası**, (1972).
42. Palta, A. "Yerinde Oluşturulmuş Magnezyum Silisit Partikül Takviyeli Alüminyum Magnezyum-Silisyum Matrisli Kompozitlerin Aşınma ve Korozyon Davranışlarına Titanyum ve Bakırın Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi," **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2009).
43. Özorak, C. "Bakır Yüzeyinde Üretilen Bakır Karbür Yüzey Kompozitlerinin Fiziksel, Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin Araştırılması," **Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2019).
44. Barut, N. "Mikro Dalga Fırınında Borlanmış P20 Çeliğinin Elektrokimyasal Korozyon Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi," **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2018).
45. Eken, T. Y. "İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği İle Üretilen Hadde Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Davranışı Ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi," **Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2018).
46. Üneri, S. "Korozyon ve Önlenmesi," **Korozyon Derneği**, (1998).
47. Popov, B. N. "Corrosion Engineering: Principles and Solved Problems," **Elsevier**, (2015).
48. A.W., Weimer. "Carbide , Nitride and Boride Materials Synthesis and Processing ," Chapman and Hall, **London** p. 333, (1997).
49. Nalçacıoğlu, E., Ozyurek, D., & Çetinkaya, K. Influence of Ta Amount on Wear Performance of Aged 17-4 PH Stainless Steel Fabricated by Powder Metallurgy. **Transactions of the Indian Institute of Metals**, 1-8.
50. Cordero, Z. C., Knight, B. E., Schuh, C. A. (2016). Six Decades of the Hall–Petch Effect—a Survey of Grain-Size Strengthening Studies on Pure metals. **International Materials Reviews**, 61(8), 495-512

51. Simsek, I., Ozyurek, D., " Investigation of the Wear and Corrosion Behaviors of Ti5Al2.5Fe and Ti6Al4V Alloys Produced by Mechanical Alloying Method in Simulated Body Fluid Environment", *Materials Science and Engineering C*, 94: (2019), 357-363, DOI:10.1016/j.msec.2018.09.047.
52. D. Özyürek, İ. Şimşek, Ö. Dinçel, D. Şimşek, "Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretilen 17-4 PH Paslanmaz Çeliklerde Mo Miktarının Korozyon Davranışlarına Etkisi", *The Internatinonal Conference on Materials Science*, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in Cappadocia, 21-23 Jun. Nevşehir/Turkey, pp. 1105-1109, (2019).
53. Bühler, H. E., Gerlach, L., Greven, O., Bleck, W. The Electrochemical Reactivation Test (ERT) to Detect the Susceptibility to Intergranular Corrosion. *Corrosion Science*, 45(10), 2325-2336, (2003).
54. Qin, C., Zhang, W., Nakata, H., Kimura, H., Asami, K., Inoue, A. Effect of Tantalum on Corrosion Resistance of Ni–Nb (–Ta)–Ti–Zr Glassy Alloys at High Temperature. *Materials Transactions*, 46(4), 858-862, (2005).
55. Karaminezhaad, M., Sharafi, S., Dalili, K. Effect of Molybdenum on SCC of 17-4PH Stainless Steel Under Different Aging Conditions in Chloride Solutions. *Journal of Materials Science*, 41(11), 3329-3333, (2006).
56. Gulsoy, H. O., Pazarlioglu, S., Gulsoy, N., Gundede, B., Mutlu, O. Effect of Zr, Nb and Ti Addition on Injection Molded 316L Stainless Steel for Bio-applications: Mechanical, Electrochemical and Biocompatibility Properties. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 51, 215-224, (2015).
57. Parsapour, A., Khorasani, S. N., Fathi, M. H. Effect of Surface Treatment and Metallic Coating on Corrosion Behavior and Biocompatibility of Surgical 316L Stainless Steel Implant. *Journal of Materials Science & Technology*, 28(2), 125-131, (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Salih Çağatay KOÇAK 1992 yılında Ankara'nın Altındağ ilçesinde doğdu; ilkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. Özel Ankara Aziziye Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2011 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı; 2016 yılında mezun oldu. Mezun olduğu yıl Kes Klima şirketinde Satış Mühendisi olarak göreve başladı. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Serhat Mahallesi 1288. Sokak
Nevbahar Konutları 8/A Blok No: 21
Yenimahalle/ANKARA

Tel : (312) 806 8806

Cep Tel : (505) 599 6807

E-posta : cagataykocak92@gmail.com