T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

AISI 316 PASLANMAZ ÇELİK ÜZERİNE KAYNAKLA UYGULANAN SERT YÜZEY KAPLAMALARININ DARBE VE TERMAL ŞOK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Hazırlayan
Mükremin ÇİMEN

Danışman
Prof. Dr. Fehmi NAİR

Yüksek Lisans Tezi

Ocak 2025
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

AISI 316 PASLANMAZ ÇELİK ÜZERİNE KAYNAKLA UYGULANAN SERT YÜZEY KAPLAMALARININ DARBE VE TERMAL ŞOK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Mükremin ÇİMEN

Danışman
Prof. Dr. Fehmi NAİR
İkinci Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah GÖÇER

Ocak 2025
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Mükremin Çimen

“Aısı 316 Paslanmaz Çelik Üzerine Kaynakla Uygulanan Sert Yüzey Kaplamalarının Darbe ve Termal Şok Davranışının İncelenmesi ” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Mükremin ÇİMEN	Prof. Dr. Fehmi NAİR
İmza	İmza

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve çalışmalarım süresince yardımlarını ve değerli zamanını esirgemeyen, tezin hazırlanması aşamasında görüş ve önerileri ile yol gösteren, bana hep destek olan sevgili danışman hocam Prof. Dr. Fehmi NAİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda paslanmaz çelik plaka tedarik eden Termik Kazan Sanayi Genel Müdürü Osman YÜKSEL'e de göstermiş olduğu destekten dolayı teşekkür ediyorum.

Çalışmamda sert dolgu kaynak elektrotu tedarik eden Gedik Kaynak Ankara Bölge Müdürü Can NEBİ ve Gedik Kaynak Ankara Satış Mühendisi Özgür VURAL'a göstermiş olduğu desteklerden dolayı teşekkür ediyorum.

Ayrıca çalışmamda sert dolgu kaynağını uygulayan Göker Kaynak Teknolojilerine göstermiş oldukları desteklerden dolayı teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans eğitimime başladığım günden itibaren çalışmalarımla beni teşvik eden, cesaretlendiren, bana her zaman destek olup hiçbir zaman yalnız bırakmayan, her daim motive eden, hayatım boyunca üzerimde en büyük emeği olan eşim Elvan ÇİMEN'e ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mükremin Çimen

Ocak 2025, KAYSERİ

AISI 316 PASLANMAZ ÇELİK ÜZERİNE KAYNAKLA UYGULANAN SERT YÜZEY KAPLAMALARININ DARBE VE TERMAL ŞOK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Mükremin ÇİMEN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ocak, 2025
Danışman: Prof. Dr. Fehmi NAİR

ÖZET

Günümüz endüstri uygulamalarında kullanılan birçok makine parçası ve ekipmanlarının zorlu çalışma şartlarında çalışma ömrünü uzatmak için korozyon dayanımı, aşınma dayanımı ve yüksek setlik ihtiyacı gibi yüzey özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ağır koşullarda çalışan makine parça ve ekipmanlarının daha uzun ömürlü olabilmesi için hardface olarak isimlendirilen sert dolgu yüzey kaplama işlemleri yapılabilmektedir. Sert dolgu yüzey kaplama uygulamalarıyla malzeme özellikleri iyileştirilerek daha uzun ömürlü endüstriyel makine parçaları elde edilebilmektedir. Yaptığımız çalışmada AISI 316 paslanmaz çelik üzerine ark kaynak yöntemiyle kobalt bazlı, Gekatec Cobalt 6, Gekatec Cobalt 12 sert yüzey kaplama elektrotları kullanılarak 1-2 mm kalınlığında kaplama yapılmış daha sonra bu parçadan numuneler kesilerek termal şok testine (farklı sıcaklık aralıkları ve farklı tekrar sayılarında) tabi tutulmuştur. Numuneler termal şok uygulanmış ve termal şok uygulanmamış olarak iki gruba ayrılmıştır. Sonrasında numunelerin sertlikleri ölçülmüş, darbe ve eğme testi uygulanmış ve termal şoka maruz kalmış numunelerin darbe özelliklerindeki değişimler ortaya konulmuştur. Mikro yapı ve mikro sertlik incelemeleri yapılarak sonuçlar yapısal olarak değerlendirilmiştir. Sert yüzey kaplanmış numunelerde kaplanmamışlara göre kırılma tokluğunda düşüş meydana gelirken eğilme direncinde artış meydana gelmiştir. Termal şoka maruz bırakılmış numunelerde eğilme direnci ve darbe tokluğu düşmektedir.

Anahtar sözcükler: paslanmaz çelik, sert dolgu kaynağı, termal çevrim, elektrot kaynağı.

INVESTIGATION OF IMPACT AND THERMAL SHOCK BEHAVIOR OF HARD SURFACE COATINGS APPLIED BY WELDING ON AISI 316 STAINLESS STEEL

Mükremin ÇİMEN

Erciyes University, Institute of Science and Technology
Master's Thesis, January 2025
Supervisor: Prof. Dr. Fehmi NAİR

Surface properties such as corrosion resistance, wear resistance and high hardness are needed to extend the working life of many machine parts and equipment used in today's industrial applications under harsh working conditions. In order for machine parts and equipment operating under severe conditions to have a longer life, hardfacing surface coating processes, called hardface, can be performed. By improving material properties with hardfacing surface coating applications, longer-lasting industrial machine parts can be obtained. In our study, a 1-2 mm thick coating was made on AISI 316 stainless steel using cobalt-based, Gekatec Cobalt 6, Gekatec Cobalt 12 hard surface coating electrodes by arc welding method. Then, samples were cut from this piece and subjected to thermal shock testing (at different temperature ranges and different numbers of repetitions). has been subjected to. The samples were divided into two groups: thermal shock applied and non-thermal shock applied. Afterwards, the hardness of the samples was measured, impact and bending tests were applied, and the changes in the impact properties of the samples exposed to thermal shock were revealed. Microstructure and microhardness studies were performed and the results were evaluated structurally. In hard surface coated samples, there was a decrease in fracture toughness compared to uncoated samples, while there was an increase in bending strength. In samples subjected to thermal shock, bending strength and impact toughness decreased.

Keywords: stainless steel, hardfacing welding, thermal cycling. electrode welding, wear.

İÇİNDEKİLER

AISI 316 PASLANMAZ ÇELİK ÜZERİNE KAYNAKLA UYGULANAN SERT YÜZEY KAPLAMALARININ DARBE VE TERMAL ŞOK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

YÖNERGEYE UYGUNLUK iii
KABUL VE ONAY iv
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ xiii
TABLOLAR LİSTESİ xvi
ŞEKİLLER LİSTESİ xvii

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

LİTERATÜR İNCLEMESİ 4
1.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Aşınma, Mekanik Özellikler ve Termal Dayanımını Artırmaya Yönelik Yapılan Çalışmalar 4
1.2. Sert Dolgu Kaynağı Üzerine Yapılan Çalışmalar 8
1.3. Termal Şok Üzerine Yapılan Çalışmalar 11

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER 16
2.1. Paslanmaz Çelikler 16
2.2. Paslanmaz Çelik Türleri 18
2.2.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler 18
2.2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler 22
2.2.3. Östenitik-Ferritik Paslanmaz Çelikler 22
2.2.4. Martenzitik Paslanmaz Çelikler 22
2.2.5. Çökelme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler 23
2.3. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı 24

2.3.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı Sırasında Görülebilen Problemler 24

2.3.1.1.Krom Karbür Oluşumu 24

2.3.1.2.δ-Ferrit ve Sıcak Çatlak Oluşumu 25

2.3.1.3.Sigma (σ) Fazı Oluşumu 25

2.3.2.Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Teknikleri 26

2.3.2.1.Örtülü Elektrot ile Ark Kaynak Yöntemi 27

2.3.3.Sert Dolgu Kaynağı 31

2.3.3.1. Sert Dolgu Kaynağının Malzemeye Kazandırdığı Özellikler 34

2.3.3.2. Sert Dolgu Kaynağının Avantajları 35

2.3.3.3.Sert Dolgu Kaynağında Görülen Hatalar 36

2.3.4.Sert Dolgu Kaynağı Sonrası Malzemede Görülen Metalürjik Değişimler 37

2.3.5.Sert Dolgu Kaynağında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar ve Dolgu Seçimi 38

2.3.6.Sert Dolgu Kaynağında Kullanılan Dolgu Malzemeleri 39

2.3.6.1.Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılan Alaşımlar 40

2.3.6.2.Metal-Metal (Adhezyon) Aşınmalarına Karşı Kullanılan Alaşımlar 40

2.3.6.3.Metal-Toprak (Abrazyon) Aşınmalarına Karşı Kullanılan Alaşımlar 40

2.3.6.4.Yüksek Düzeyde Aşınmanın Görüldüğü Yerlerde Kullanılan Tungsten Karbürler 41

2.3.6.5.Demir Dışı Alaşımlar 41

2.3.6.5.1. Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşımları 41

2.3.6.5.1.1.Bor İçerikli Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşımları 42

2.3.6.5.1.2.Karbür İçerikli Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşımları 42

2.3.6.5.1.3. Laves Fazlı Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşımları 42

2.3.6.5.2. Kobalt Bazlı Sert Dolgu Alaşımları 43

2.3.6.5.2.1.Kobalt Bazlı Karbür İçerikli Sert Dolgu Alaşımları 44

2.3.6.5.2.2.Kobalt Bazlı Laves Fazı İçeren Sert Dolgu Alaşımları . 44

2.3.6.5.3.Bakır Bazlı Sert Dolgu Alaşımları 45
2.3.6.6. Demir Bazlı Sert Dolgu Alaşımları 45
2.3.6.6.1.Östenitik Sert Dolgu Alaşımları 45
2.3.6.6.2.Martenzitik Sert Dolgu Alaşımları 46
2.3.6.6.3.Karbürlü Sert Dolgu Alaşımları 46
2.4.Sert Dolgu Malzemelerinin Sınıflandırılması 47
2.4.1. DIN 855 Standartlarına Göre ……47
2.4.1.1.Demir Bazlı Sert Dolgu Kaynak Malzemeleri……47
2.4.1.1.1.Alaşım Grubu 1……..47
2.4.1.1.2.Alaşım Grubu 2……..……47
2.4.1.1.3.Alaşım Grubu 3…….…..…47
2.4.1.1.4.Alaşım Grubu 4…….…….……..48
2.4.1.1.5.Alaşım Grubu 5…….…….……...48
2.4.1.1.6.Alaşım Grubu 6…….…….……...48
2.4.1.1.7.Alaşım Grubu 7…….…….……..48
2.4.1.1.8.Alaşım Grubu 8…….…….…….…48
2.4.1.1.9.Alaşım Grubu 9…….…….…….…49
2.4.1.1.10.Alaşım Grubu 10…….…….…….…49
2.4.1.2.Düşük Demirli Sert Dolgu Kaynak Malzemeleri……..…49
2.4.1.2.1.Alaşım Grubu 20……..…….…….…….…49
2.4.1.2.2.Alaşım Grubu 21……..…….…….……...49
2.4.1.2.3.Alaşım Grubu 22…….…….…..…..……..49
2.4.1.2.4.Alaşım Grubu 23…….…….…….…..50
2.4.1.3. İçeriğinde Demir İhtiva etmeyen Sert Dolgu Malzemeleri …….50
2.4.1.3.1.Alaşım Grubu 30…….……...…….…..…50
2.4.1.3.2.Alaşım Grubu 31…….…….…...…..…50
2.4.1.3.3.Alaşım Grubu 32…….…….…...…..…50
2.4.2. AWS Standartlarına Göre Sınıflandırılması…..……..…50
2.4.3.TS 9470 Standartlarına Göre Sınıflandırılması…..……...…51
2.5.Termal Şok 54
2.5.1. Termal Şok Parametreleri..…...……54
2.5.1.1.Dayanım……..…….……..……...…54

2.5.1.2.Poison Oraını....……54

2.5.1.3.Elastisite Modülü…….……..……...…54

2.5.1.4.Termal Genleşme Katsayısı...…….…..……....55

2.5.1.5.Termal İletkenlik Katsayısı…….…..……...55

2.5.1.6.Isı Kapasitesi…..…….…….……..……55

2.5.1.7.Kırılma Tokluğu…….…….……..……56

3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM 57

3.1. Materyal 57

3.2. Yöntem 60

3.2.1. Örtülü elektrotla ArkKaynak Yöntemi…..……...60

3.2.2. Parçaların Kesilmesi……..……..62

3.2.3. Termal Şok Testi……..…….…...63

3.2.4. Sertlik Ölçümü…..…….……..69

3.2.5. Darbe Testi……..……..……...70

3.2.6. Üç Nokta Eğme Testi……..…….....72

3.2.7. Metalografik İnceleme……..…….……74

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER 76

4.1.Sertlik Deneyi Sonuçları……...…….……...76

4.2.Darbe Deneyi Sonuçları…….……...……..……...…79

4.3.Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları……....……80

4.4.Metalurjik İnceleme Sonuçları……..……...……85

4.5.Darbe ve Eğme Deneyi Sonrasında Numunelerin Değerlendirilmesi…...86

5. BÖLÜM

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER 89

5.1.Genel Sonuçlar……...…….……...89

5.2.Öneriler ……..90

KAYNAKÇA 92
ÖZGEÇMİŞ 99

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

Ti: Titanyum

Cr: Krom

Ni: Nikel

Fe: Demir

Mn: Mangan

Si: Silisyum

P: Fosfor

S: Kükürt

Mo: Molibden

N: Azot

Nb: Niyobyum

Al: Alüminyum

Cu: Bakır

Co: Kobalt

W: Volfram

B: Bor

C: Karbon

AISI: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASTM: American Society for Testing Materials (Amerikan Malzeme ve Testler Derneği)

AWS: American Welding Society (Amerikan Kaynak Derneği)

DIN: Deutsches Institut für Normung (Alman Endüstri Normları)

TSE: Türk Standartları Enstitüsü

EN: European Standard (Avrupa Standardı)

TS: Turkish Standard (Türk Standardı)

ISO: International Standard (Uluslararası Standart)

HV: Hardness Vickers (Vickers sertlik değeri)

HRA: Hardness Rockwell A (Rockwell sertlik değeri)

HRC: Hardness Rockwell C (Rockwell sertlik değeri)

PVD: Physical Vapor Deposition

TBK: Termal Bariyer Kaplama

SEM- EDX: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskopu)

XRD: X-ray Diffracation (X-Işınları Difraktometresi)

HAP: Hidroksi Apatit

GZ: Gadolinyum Zirkonat

HVOF: Yüksek Hızda Oksi Yakıt Püskürtme

TGO: Termal Büyüyen Bksit (Thermal growing oxides)

YSZ: Itriya Stabilize Edilmiş Zirkonya

DTA: Diferansiyel Termal Analiz

APS: Atmosferik Plazma Püskürtme

TGA: Termal Gravimetri Analiz

FCT: Periyodik Fırın Oksidasyon testi

DCB: Çift Konsol Kiriş

CETA: Cam Elyaf Takviyeli Alüminyum

ABS: Akrilonitril Bütadien Stiren

PA: Poliamid

TM: Toz Metalürjisi

BSD: Brinell Sertlik Değeri

HMK: Hacim Merkezli Kübik

YMK: Yüzey Merkezli Kübik

HMT: Hacim Merkezli Tetragonal

TIG: Tungsten Inert Gaz

MIG: Metal İnert Gaz

MAG: Metal Aktif Gaz

TSP: Topolojik Sıkı Paket

EB: Erime Bölgesi

ITAB: Isıdan Tesiri Altındaki Bölge

A: Akım

V: Volt

DC: Doğru Akım

AC: Alternatif Akım

μm: Mikron

MPa: Megapaskal

α: Ferrit

ϒ: Östenit

δ: Delta Ferrit

σ: Sigma Fazı

mm: Milimetre

mm2: Milimetrekare

N: Newton

ºC: Santigrad Derece

δ: Sehim

F: Kuvvet

L: Mesnet Mesafesi

a: Numune Genişliği

b: Numune Yüksekliği

M: En Yüksek Eğme Momenti

I: Atalet Momenti

σ: Eğme Gerilmesi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1 En Çok Bilinen Paslanmaz Çelik Türleri ……...……19
Tablo 2 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşimini Gözteren Tablo...…...21
Tablo 3 Yapılan Paso Sayısına Göre Dolgu Sertliği……...……39
Tablo 4 En Çok Bilinen Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşaımlarının Bileşimleri……..42
Tablo 5 En Çok Bilinen Kobalt bazlı Sert Dolgu Alaşımlarının Bileşimleri…….....43
Tablo 6 En Çok Bilinenen Kobalt Bazlı Sert Dolgu Alaşımlarının Özellikleri……...43
Tablo 7 ASTM G 65 Düşük Gerilmeli Abrasiv Aşınma Testi ile Demir Dışı Kaplamaların Aşınma Dirençleri……44
Tablo 8 Sert Dolgu Malzemelerinin Alaşım Gruplarının Kimyasal Bileşimi……..52
Tablo 9 Sert Dolgu amlzemelerinin Alaşım Gruplarının Kod Numaraları…….….53
Tablo 10 Sert Dolgu Malzemelerinin Alaşım Gruplarının Sertlikleri ……...……..53
Tablo 11 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kimyasal Bileşimi……...……..58
Tablo 12 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri……..…….58
Tablo 13 Cobalt 6 ve Cobalt 12 Kaynak Metalinin Kimyasal Analizi……...….58
Tablo 14 Cobalt 6 ve Cobalt 12 Kaynak Metalinin Mekanik Değerleri…….58
Tablo 15 Kaynak Paramatreleri……...……....61
Tablo 16 Deney Numune Kod ve Açıklamaları..……75
Tablo 17 Sertlik Ölçüm Tablosu…….……77
Tablo 18 Darbe Deneyi Sonuçları……...……79

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Farklı Paslanmaz Çelik Türleri İçin Nikel ve Krom Miktarları 17
Şekil 2 Eklenen Elementler İle Östenitik Paslanmaz Çeliğin Dönüşümü 20
Şekil 3 Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı 27
Şekil 4 Dolgu Kaynağının Yapılması 33
Şekil 5 Tampon Pasonun Oluşturulması 33
Şekil 6 Sert Dolgu Uygulaması 34
Şekil 7-a Kaynak Yapılan Ana Malzeme 36
Şekil 7-b Kaynak Sonrası Dış Bükeylik 36
Şekil 7-c Kaynak Sonrası İç Bükeylik 36
Şekil 8 Cobalt 6 ve 12 Elektrotunun Kullanıldığı Yerler ve Özellikleri 59
Şekil 9-a Sert Dolgu Kaynak İşleminin Yapılışı 60
Şekil 9-b Sert Dolgu Kaynak İşlemininde Kullanılan Ekipmanlar 60
Şekil 9-c Sert Dolgu Kaynak İşlemininde Kullanılan Elektrotlar 60
Şekil 10-a Kaynak Düzeneği Şematik Gösterimi 60
Şekil 10-b Kaynak Yapılış Şekli ve Ölçüleri 61
Şekil 11-a Plakanın Su Jetinde Kesilmesi ve Ebatlanması 62
Şekil 11-b Plakanın Ebatlandıktan Sonraki Görünümü ve Yüzeylerinin Parlatılması. 62
Şekil 11-c Parlatılan Yüzeyin Görünümü ve Ölçüleri 63
Şekil 12-a Termal Şok Ünitesi Prensip Şeması 64
Şekil 12-b Termal Şok Ünitesinin Çalışma Sırasındaki Görünümü 65
Şekil 12-c Termal Şok Ünitesinde Numunelerin Alev Altındaki Görünümü 66
Şekil 12-d Termal Şok Ünitesinin Termal Çevrim Grafiği 67
Şekil 12-e Termal Şok Ünitesinde Numunelerin Isıtılması ve Kontrol Panelinin Görünümü 68
Şekil 13 Sertlik Ölçümü 69
Şekil 14-a Darbe Deneyi Şematik Gösterimi 71
Şekil 14-b Darbe Test Cihazı ve Numunelerin Yerleştirilmesi 72
Şekil 15 Üç Nokta Eğme Testi 72
Şekil 16-a Eğme Testi Cihazı Çekme Basma Test Ünitesi 73
Şekil 16-b Üç Nokta Eğme Düzeneği Ve Numunenin Yerleştirilmiş Konumu 73

Şekil 16-c Eğmede Kaplama Üzerinde Çatlak Oluşum Başlangıcı 73
Şekil 16-d İkincil Çatlakların Oluşması 73
Şekil 17 Metalografik İnceleme Labotatuvarı..... 74
Şekil 18-a Farklı İşlem Şartları İçin Ana Malzeme Üzerinden Ölçülen Karşılaştırmalı Sertlik Değerleri 78
Şekil 18-b Farklı İşlem Şartları İçin Kaplama Üzerinden Ölçülen Karşılaştırmalı Sertlik Değerleri 78
Şekil 19 AISI 316 Paslanmaz Çelik Numunelerin Darbe Deneyi Sonuçları Grafiği 80
Şekil 20-a Kaplama yapılmamış, farklı türde kaplama yapılmış, kaplama öncesi termal şok uygulanmış ve kaplama sonrası termal şok uygulanmış numunelerin eğilme-yer değiştirme grafikleri ve bu numunelerin karşılaştırmalı mekanik özellikleri 82
Şekil 20-b Aynı türde kaplama yapılmış, kaplama sonrası termal şok uygulanmamış ve kaplama sonrası termal şok uygulanmış numunelerin eğilme-yer değiştirme grafikleri ve bu numunelerin karşılaştırmalı mekanik özellikleri 83
Şekil 20-c Aynı türde kaplama yapılmış, kaplama sonrası termal şok uygulanmamış ve kaplama sonrası farklı sıcaklıklarda termal şok uygulanmış numunelerin eğilme-yer değiştirme grafikleri ve bu numunelerin karşılaştırmalı mekanik özellikleri 84
Şekil 21-a Ana Yapı Sert Yüzey Kaplama Bölgesi Mikroyapı Görüntüsü..... 86
Şekil 21-b Kaplama Bölgesi Detayı 86
Şekil 21-c Ana Yapı Detayı 86
Şekil 21-d Isı Etkisi Altında Kalan Bölge Detayı 86
Şekil 22 AISI 316 Paslanmaz Çelik İşlem Görmemiş Numunelerin Darbe Deneyi Sonrası Görünümü 87
Şekil 23 AISI 316 Paslanmaz Çelik Numunelerin Sert Dolgu Kaynağı Sonrasında Darbe Deneyi Ardından Görünümü 87
Şekil 24 AISI 316 Paslanmaz Çelik Numunelerin Sert Dolgu Kaynağı Sonrasında Eğme Deneyi Ardından Görünümü 87
Şekil 25 AISI 316 C 12* 10 Çevrim Uygulanmış Paslanmaz Çelik Numunelerin Sert Dolgu Kaynağı Sonrasında Darbe ve Eğme Deneyi Ardından Görünümü 88
Şekil 26 AISI 316 C 12 10 Çevrim Uygulanmış Paslanmaz Çelik Numunelerin Sert Dolgu Kaynağı Sonrasında Darbe ve Eğme Deneyi Ardından Görünümü 88

GİRİŞ

Ostenitik paslanmaz çelikler günümüz endüstri ve imalat sanayinde sahip olduğu mekanik özellikler nedeniyle en fazla tercih edilen malzemelerdendir. Çalışmamızda kullanmış olduğumuz ostenitik paslanmaz çeliklerden olan Aısı 316 paslanmaz çeliğin en fazla tercih edilme sebeplerinden birisi korozyona karşı gösterdiği dirençtir. Malzeme hem normal hem yüksek sıcaklıklarda oksidasyona direnç gösterdiğinden su depolarında, basınçlı tanklarda, biyomedikal sektöründe, kimya sektöründe, gıda sektöründe, ilaç sektöründe, paslanmaz çelik eşya sektöründe ve makine parçası imalat sektörü gibi çoğu sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır [1,2].

Aşınma makine imalat ve endüstrisinde malzemelerin kullanım ömrünün bitmesine yol açıp sonrasında kırılma neticesinde büyük zararların ortaya çıkmasına neden olan en önemli etmenlerdendir. Makine parçalarının çalışma esnasında birbirine temas eden noktalarında farklı mekanik etkilerden dolayı aşınma meydana gelir. Parçalarda daha az aşınma olabilmesi için yüzey sertliği, aşınma direnci, darbe ve korozyon direnci gibi bir takım mekanik özelliklerin artırılması gerekmektedir [3]. Bunu sağlamak amacıyla parçalara sert yüzey kaplama işlemi yapılmaktadır. Sert dolgu ile yüzey kaplama malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirerek aşınma ve sürtünme etkilerini en aza indirmek amacıyla özel alaşımlı kaynak elektrotları kullanarak malzeme yüzeyinde yeni bir yüzey tabakası oluşturma işlemidir. Sert dolgu ile yüzey kaplamada parça ilk orijinal ölçülerine gelebildiği gibi yüzeyinde yeni bir tabaka oluşturulabilir. Sert yüzey kaplama sonrası parçanın darbe mukavemeti, korozyon direnci, aşınma direnci vb. özelliklerinde iyileşme görülür. Sert dolgu ile yüzey kaplama elektrot kaynağı, gaz ergitme, elektrik ark, gaz altı kaynağı, toz altı kaynağı, lehim ve metal püskürtme gibi dolgu yöntemlerini içermektedir [4].

Malzemeler ani sıcaklık değişimlerine maruz bırakıldıklarında malzemede önemli gerilmeler meydana gelir. Bu şartlar altında kırılmaya karşı direnç "termal dayanım, termal gerilme direnci veya termal şok direnci" olarak isimlendirilir. Farklı malzemelerde termal gerilmelerin etkisi sadece gerilme seviyesine bağlı değil,

cisimdeki gerilme dağılımına ve gerilme sürekliliğine, süneklik, homojenizasyon, porozite gibi malzeme özelliklerine ve daha önceki çatlaklara bağlıdır.
Termal çevrim yapılması sırasıyla üç aşamadan oluşur. Öncelikle sert dolgu ile kapladığımız malzeme yüzeyinin istenilen test sıcaklığına kadar ısıtılması, sonrasında test süresi kadar bekletilmesi ve sonrasında istediğimiz sıcaklığa kısa sürede soğutulması olarak tanımlanabilir.

Yapacağımız çalışmada AISI 316 paslanmaz çelik üzerine ark kaynak yöntemiyle kobalt bazlı Gekatec Cobalt 6, Gekatec Cobalt 12 sert yüzey kaplama elektrotları kullanılarak 1-2 mm kalınlığında kaplama yapılacaktır. Kaynak sırasında nüfuziyetin stabil olabilmesi için kaynak parametreleri sabit tutulacaktır. Kaynak sonrasında kaynatılan plakadan sonraki çalışmalarımızda kullanacağımız 55x10x10mm ebatlarında numuneler kesilecektir. Kesilen numunelerin öncelikle kenarları sonrasında yüzeyleri parlatılacak, yüzey parlatma sonrasında kaynak bölgesi gözle görülür hale gelecektir. Yüzeyleri parlatılan numuneler kendilerine yapılan işleme göre gruplara ayrılıp, sonrasında metalografik olarak incelenecektir. Yapılacak bu işlemlerden sonra numuneler termal şok ünitesinde termal şok testine (farklı sıcaklık aralıkları ve farklı tekrar sayılarında) tabi tutulup 1000°C ve 1200°C aralığında 10-20-30 ve 60 çevrim olacak şekilde termal şok uygulanacaktır. Sonrasında numuneler termal şok uygulanmış ve termal şok uygulanmamış olarak iki gruba ayrılacaktır. İşlem yapılmış ve işlemsiz hallerinin ayrı ayrı sertliklerine bakılacak, sertlikler hem ana malzemeden hem de kaynak yüzeyinden ölçülecektir. Daha sonra darbe ve eğme testi uygulanıp termal şoka maruz kalan numunelerin darbe özelliklerindeki değişimler ortaya konulacaktır. Kaplama işleminden önce ve sonra malzemelerin kimyasal analizleri yapılıp, metelografik olarak incelenecektir. Mikro yapı, sertlik incelemeleri yapılarak sonuçlar yapısal olarak değerlendirilecektir.

Hazırlamış olduğumuz tez 5 bölümden oluşmaktadır. Giriş kısmında yaptığımız çalışmadan bilgiler verilmektedir. Birinci bölümde östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik dayanımlarını artırmaya yönelik yapılan çalışmalar, sert dolgu kaynağı üzerine yapılan çalışmalar ve termal şok üzerine yapılan çalışmaların literatür taramalarına yer verilmiştir. İkinci bölümde östenitik paslanmaz çelikler, sert dolgu kaynağı ve termal şok ile ilgili detaylı anlatımlar yapılmıştır. Üçüncü bölümde malzemenin kesilmesinden itibaren aşamaları yapılan deneyler ve işlemler detaylı

olarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümde gerçekleştirmiş olduğumuz deneyler (sertlik, darbe, eğme deneyleri) detaylı olarak anlatılmıştır. Ayrıca metalürjik incelemeler gösterilmiştir. Beşinci bölümde ortaya çıkan sonuçlara göre değerlendirmeler yapılmıştır.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR İNCELEMESİ

1.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Aşınma, Mekanik Özellikler ve Termal Dayanımını Artırmaya Yönelik Yapılan Çalışmalar

Östenitik paslanmaz çelikler ile ilgili gerek yurt içinde gerekse yurt dışında yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Gürkan, AISI 420 ve 304 paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklık aşınma davranışlarını araştırmıştır [5]. Borlama 900º C'de 5 saat süreyle katı borlayıcı bir ortamda yapılmıştır. Metal yüzeyindeki tabakalar X-ışınları difraksiyon analizi (XRD) ile tespit edilmiştir. Oluşan tabakaların mikro sertlikleri bulunmuştur. Aşınma deneyleri farklı ortamlarda aşınma deneyi test düzeneğinde yapılmış numunelerin hasar bölgeleri tespit edilmiştir. XRD sonuçlarına göre 304 paslanmaz çeliğinde FeB, Fe_2B, CrB, Cr_2B ve Ni_3B fazları, 420 paslanmaz çeliği üzerinde FeB, Fe_2B, CrB ve Cr_2B fazları tespit edilmiştir. Sıcaklığın artması ile borlanmış çeliklerde oksit oluşumuna rastlanmıştır. Borlanmamış çeliklerde sıcaklığın artması ile aşınma oda sıcaklığına göre 7-8 kat, borlanmış çeliklerde ise 2-3 kat artmıştır.

Tehçi, AISI 316 ve 316 Ti ostenitik paslanmaz çelik malzemelerde kaynak parametrelerinin kaynak nüfuziyetine, mekanik özelliklere ve mikroyapıya olan etkilerini araştırmıştır. Çalışmada öncelikle AISI 316 ve AISI 316Ti ostenitik paslanmaz çelik malzemelerin üzerine otomatik TIG (Tungsten Inert Gaz) kaynak cihazı ile telli ve telsiz kaynak yapılmış sonrasında farklı kaynak parametrelerinde TIG kaynak yöntemi ile ER 316LSi ilave metal kullanılarak yatay pozisyonda kaynatılmıştır. Kaynak parametrelerinin mekanik özellikler ve mikro yapıya etkileri araştırılmıştır. Kaynak parametrelerinin ve paslanmaz çelik malzemelerin kimyasal kompozisyonlarının nüfuziyet değerlerini etkilediği, titanyum içeren ostenitik paslanmaz çeliklerde daha derin nüfuziyetlerin elde edildiği, nüfuziyet derinliğinin

akım değerine bağlı olarak arttığı, darbeli akım türünün normal akıma göre nüfuziyet derinliğini olumsuz etkilediği görülmüştür [6].

Türkan, tuz püskürtme ortamına maruz bırakılan AISI 304L ve AISI 316L ostenitik paslanmaz çeliklerin çekme davranışlarına kaynak işleminin etkilerini incelemiştir. Numuneler örtülü elektrot ark kaynağı ve TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan ayrıca ilave kaynak metali kullanılarak kaynatılmıştır. Mikro içyapıları incelenmiş ostenitik paslanmaz çelik kaynak metallerinin mikro içyapılarının esas metalin mikro içyapısından farklı olduğu görülmüştür. Tuz püskürtme deneylerinden sonra gözle kontrol yapıldığında belli bölgelerde korozyonlar gözlenmiştir. Korozyonun belli bölgelerde ortaya çıkması paslanmaz çelikte pasif tabakanın kararlılığının her bölgede aynı olmadığını göstermiştir [7].

Özbek, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem bekletme sürelerinin takım ömrü üzerine etkilerini araştırmıştır. Kesici takım olarak kaplamasız, TiCN, TiAlN ve TiCN/Al2O3/TiN kaplı tungsten karbür takımlar kullanılmıştır. Kesici takımlar 12, 24, 36, 48 ve 60 saat olmak üzere beş farklı sürede -145ºC sıcaklıkta bekletilerek derin kriyojenik işleme tabi tutulmuşlardır. Deneyler CNC torna tezgâhında yapılmış olup ve takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelenmiştir. Deneylerde yan yüzey aşınması ve krater aşınması gözlenmiştir. Ayrıca kesici takımların mikroyapı analizi ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri sonucunda en fazla sertlik 24 saat bekletme süresinde olmakla birlikte kriyojenik işlemin kesici takımın mikrosertliğinde artış sağladığı belirlenmiştir [8].

Kükürtçü, endüstride büyük kullanım alanına sahip olan 304 L, 316Ti, 321 ve 310S cinsi paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilerek kaynaklana bilirliğini, mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkilerini incelemiştir. Yapılan çekme testleri sonrasında en yüksek çekme dayanımı AISI 304L de görülmüştür. Çekme dayanımları kaynaklı numunelerde ana metalden daha yüksek çıkmıştır. Malzemelerin % uzama oranları ve süneklikleri azalmıştır. En yüksek eğme mukavemeti AISI 304L de gözlemlenmiştir. Tüm numunelerde sertlik artmış en yüksek değer AISI 310S te çıkmıştır. Tane sınırlarında çökelti partiküllerine rastlanmıştır [9].

Akın, AISI 316L östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmeleri esnasında kesme parametrelerinin ve kesici takım kaplamasının, yüzey pürüzlülüğüne etkilerini

araştırmıştır. Yapılan çalışmada TiCN-Al2O3-TiN kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür kesici takımlarla tornalama işlemleri yapılmıştır. Kesici takıma 1,5 mm derinlik verilmiş hem farklı kesme hızlarında (100–150–200 250 m/dak) hem de farklı ilerleme hızlarında (0,15–0,25–0,35–0,45 mm/dev) deneyler yapılmıştır. İncelemelerde kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğünün ters orantılı olduğu kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğünün doğru orantılı olduğu ve ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür [10].

Aslan, biyomedikal sektöründe diş implantlarında kullanılan AISI 316L paslanmaz çelik malzemelerinin yüzeylerinde hidroksi hapatit (HAP) ve TiO2 tozları ile plazma sprey kaplama yöntemi kullanarak tek ve çift katmanlı tozlardan oluşan insan sağlığına zarar vermeyen kaplamalar üreterek korozyon davranışlarını incelemeyi amaçlamıştır. Bu yöntemle kaplaması yapılan ve yapılmayan AISI 316 L paslanmaz çelik sentetik vücut sıvısı ve % 0,9 NaCl çözeltilerinde 1 ve 7 günlük kuluçka sürelerinde bekletilmiştir. Kuluçka süreleri sonunda her iki AISI 316 L paslanmaz çelikler farklı yöntemler kullanılarak yapılan çözeltide incelenmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda; HAP kaplanmış AISI 316 L paslanmaz çeliklerin korozyon dirençlerinde artış görülmüş, TiO2 ve Çift katmanlı tabakalarla kaplanmış AISI 316 L paslanmaz çeliklerin korozyon dirençlerinde artış görülmemiştir [11].

Ghiami, yapmış olduğu araştırmada 316L ostenitik paslanmaz çeliklerin kuru ortamda pin-on silindir aşınma test cihazı üzerindeki aşınma davranışı, akustik emisyon tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Akustik emisyon yöntemi yardımıyla aşınmada oluşan hasar ve hasar mekanizmaları ile aşınmada sırasında ortaya çıkan akustik emisyon sinyallerinin tanımlamasını amaçlanmıştır. Sinyallerin tanımlanmasıyla ani hasar oluşumlarının önüne geçilebilmesi ve aşınmanın kontrol altına alınması düşünülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda yüksek enerjili ve düşük frekanslı akustik emisyon sinyallerinin aşınmanın başlangıcında ortay çıktığı, düşük enerjili ve yüksek frekanslı akustik emisyon sinyallerinin yüksek aşınma sürecinde elde edildiği ortaya çıkmıştır [12].

Aydeniz, termal sprey kaplama yöntemi ile seramik kaplanan östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapı ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Yapmış olduğu çalışmada AISI 304 ve AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğinin yüzeyine plazma sprey yöntemi ile Al2O3-13TiO2 oksit tozu kaplamıştır. Kaplama sonrasında malzeme üzerine 180-300 μm aralığında kaplama yapılmıştır. Yapılan deneylerle kaplama kalınlığına bağlı

olarak korozyon ve aşınma dayanımlarında ortaya çıkan değişiklikler ortaya koyulmuştur [13].

Öcal, 316L Östenitik Paslanmaz Çelik malzemenin korozyonlu yorulma, termal çevrim ve darbeli aşınma özelliklerini birbirinden farklı aşındırıcı sıvılarda yüzey işlemsiz ve işlemli olarak farklı test cihazlarında incelemiştir. Malzemeler metalik ve seramik kaplama yapıldıktan sonra korozyonlu yorulma ve termal çevrim deneylerine tabi tutmuştur. Düzlemsel eğilmeli yorulma test cihazı ile farklı yükleme şartlarında test edilen 316L numuneler, normal hava şartlarında ve farklı aşındırıcı sıvılarda yüzey kaplanmadan ve kaplanarak test edilmiştir. Yapılan kaplamanın malzemeyi koruduğu gözlemlenmekle birlikte termal çevrimin kaplama üzerine etkileri incelenmiştir. Deneylerde kullanılan deniz suyunun diğer sıvılara karşı kaplama üzerinde daha aşındırıcı olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan darbeli aşınma testleri sonrasında taban malzemesi üzerine yapılan kaplamaların malzeme üzerine etkileri gözlemlenmiş, kaplamalarda gözlenen aşınma miktarlarının deniz suyunda yapılan testlerde havada yürütülenlere kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir [14]

Ahmadli, yapmış olduğu çalışmada 316L paslanmaz çeliklerin gerilmeli korozyon davranışlarını incelemiştir. 316L paslanmaz çelik levhalar TIG ve lazer kaynağıyla birleştirildikten sonra fiber lazer ile kesilmiştir. Sonrasında numunelerin mikroyapı, sertlik, çekme ve üç nokta eğme testleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında hem TIG kaynağıyla birleştirilmiş numuneler hem de lazer kaynağıyla birleştirilmiş numuneler karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonrasında TIG ve lazer kaynaklı numunelerin gerilmeli korozyon davranışı incelenmiştir. Numuneler bükülerek gerilme işlemi uygulanmış akabinde 600°C'de 4 saat bekletilip hassaslaştırma işlemi uygulanmıştır. Son aşamada %10 HCl çözeltisinde, sırasıyla 48-336 saat aralığında bekletilen numunelerde gerilmeli korozyon çatlağı olup olmadığına bakılmıştır [15].

İçli, 304 östenitik paslanmaz çelikler, 420 martenzitik paslanmaz çelikler ve 430 ferritik paslanmaz çelikler Tungsten Inert Gaz (TIG) yöntemi ile birleştirilmiştir. Koruyucu gaz olarak saf argon gazı kullanmıştır. Kaynak işlemi parametreler sabit tutularak alın kaynağı şeklinde yapılmıştır. Kaynaklı birleştirmeler hem farklı hem de aynı paslanmaz çelik grupları arasında yapılmıştır. Sonrasında numunelere çekme ve vickers yöntemi ile mikro sertlik testleri uygulanmış mikro yapısı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Makro gözlemler yapılmış, kaynaklanan parçaların erime bölgesi (EB) ve ısı tesiri altındaki bölgesinde (ITAB) kaynak kusurları araştırılmıştır. Mikro yapı

incelemesi yapılmış, temel malzeme (TM), erime bölgesi (EB) ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) içyapıları detaylı olarak incelenmiştir [16].

1.2. Sert Dolgu Kaynağı Üzerine Yapılan Çalışmalar

Sert dolgu kaynağı ile ilgili gerek yurt içinde gerekse yurt dışında yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Yaz, çalışmasında düşük ve orta karbonlu çelikler ile Cr-Ni'li paslanmaz çelik malzemenin yüzeyleri süper alaşım kaplama elektrotları ile farklı kaynak yöntemleri ile kaplanmıştır. Kaplama öncesi malzemenin kimyasal analizleri yapılmış sonrasında malzeme tek kat olacak şekilde kaplanarak metalografik incelemeleri yapılmıştır. Kaplanan tabaklarla geçiş bölgelerinin mikro yapı ve mikro sertlikleri taramalı elektron mikroskobu ve X ışınları ile incelenmiş, kaplamaların sertlik ve mikroyapı yönünden birbirini etkilediği sonucuna ulaşılmıştır [17].

Kisecik, sert dolgu kaynağı yapılmış çelik parçalarda bölgesel olarak görülen yüzey sertleşmesinin aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnci incelemiştir. Mmalzemenin aşınma direnç değerini ilk haliyle ve sertleştirildikten sonra karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmalarda sertleştirilmiş, örtülü elektrot, özlü elektrot ve MIG kaynağı ile sert dolgu yapılmış numunelerle deneyler yapılmıştır. Deneyler numunelere faklı yükleme zamanlarında ve sürelerinde yapılmıştır. Deneyler sonrasında aşınmaya en fazla örtülü elektrotla kaynak yapılan numune dayanmıştır. En fazla aşınma sertleştirilmemiş numunede görülmüştür. Numunelere yapılan farklı yük ve zamanlarda aşınma değerlerinde de farklılıklar görülmüştür [18].

Ozan, özlü tel elektrot ile ark kaynağı ile S355J0 çeliğine sert dolgu kaynağı uygulanmıştır. Farklı özlü tel elektrotlarla sert dolgu kaynağı yapılmış numunelerin aşınma dirençleri, seyrelme miktarları, sertlik değerleri ve mikroyapıları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Aşınma deneyleri pin-disk cihazıyla, farklı mesafelerde sabit yük altında yapılmıştır. EDS analizi ile numunelerin sert dolgu metal kısmında kimyasal yapılarına bakılarak seyrelme miktarları tespit edilmiştir. Makroskobik incelemeler neticesinde numunelerin dikiş seyrelme miktarları saptanmıştır. Mikrosertlik ölçümü ile sertliğin yüzeyden uzaklığa göre değişimi ortaya konulmuştur [19].

Yılmaz, yapmış olduğu araştırmada lokal sert dolgu kaynağı kullanarak kapalı kalıpta sıcak çelik dövme kalıbının ömrünü uzatmaya çalışmıştır. Kalıpta ilk hasar gören

yerlere sert dolgu kaynağı uygulanmıştır. Uygulama öncesinde demir ve kobalt esaslı elektrotlardan hangisinin kullanıma daha uygun olduğu ile alakalı araştırma yapılmıştır. Deneyler sonrası en uygun elektrot seçilerek sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Uygulama sonrası kalıp ömründe yüzde elliye yakın iyileşme sağlanmıştır [20].

Yılmaz, sert dolgu kaynağında elektrot kimyasal bileşiminin ve kaynak yönteminin sertleşme kabiliyetine etkisini incelemiştir. Yapmış olduğu çalışmada çelik malzemeler üzerine dört farklı içerikte elektrot kullanılarak sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Sonrasında mikroyapı ve SEM-EDX görüntülerine bakılıp sertlikleri ölçülmüştür. Pin-On Disk cihazında aşınmaya verdikleri tepkilere bakılmıştır. Kaynak tellerinin kimyasal yapılarına göre aşınmalarına bakılmıştır. Aşınma hesapları numunelerin belirli metredeki hacim ve ağırlık kayıplarına göre yapılmıştır [21].

Özbey, AISI H13 esaslı kesme bıçağının aşınan bölgelerine elektrik ark kaynağı ile sert dolgu kaynağı yapmıştır. Kesme bıçağının kimyasal yapısına uygun elektrot tespit edilmiş, yapılan kaynak işlemi sonrasında kaynak dikişi tahribatsız muayene ve sertlik ölçümleri ile kontrol edilmiştir. Yapılan aşınma deneylerinde ortaya çıkan deformasyon sertleşmesine bağlı olarak yük miktarı artmasına rağmen aşınmada azalma görülmüştür. Diğer aşamada sert dolgu yapılan yüzey ilk ölçüsüne getirilmiş sonrasında kesme bıçağının reel ortamda ömrü tespit edilmiştir. Ayrıca sert dolgu yapılan kesme bıçaklarında bıçak ömrü yarı yarıya artmıştır [22].

Yavuz, yapmış olduğu çalışmada değişik türdeki aşınmalara dayanacak şekilde Fe-Cr-W-B-C esaslı sert dolgu elektrotu üretmiştir. Üretilmiş olan örtülü elektrotlarla elektrik ark kaynağı yöntemiyle düşük karbonlu AISI 1020 çelik altlık yüzeyine sert dolgu kaynağı kaplanmıştır. Deney sonuçlarına göre alaşımlı sert dolgu katmanının düzgün dağılım sergilediği ve kaynak dikişi ile altlık malzeme arasında uyumlu bir geçiş olduğu optik mikroskop görüntülerinde görülmüştür. Aşınma sonuçlarına göre numuneler incelenmiş farklı aşınma oranları tespit edilmiştir [23].

Çetin, yapmış olduğu çalışmada Al2024 kütük ve Al2024 tozundan toz metalürjisi ile saf kaynak çubukları üretmiştir. Özlü çubuklar belli oranda B4C içermektedir. Al2024-T351 plaka üzerine üretilen kaynak çubuklarıyla TIG kaynağı ile kaynak yapılmıştır. Kaynak yapılan ve yapılmayan plakalar birbirine göre değerlendirilmiştir. Eğme deneyi, darbe deneyi, mikrosertlik analizleri ve metalografik inceleme

yapılmıştır. Yapılan kaynak sonrasında porozite görülmüştür. Yüzey dolgu kaynağı yapılan numunelerin eğme deneylerinde, B4C yüzdesinin artmasıyla dayanımın da arttığı görülmüştür [24].

Çelik, Fe Kılıflı Fe/B4C özlü sert dolgu kaynak elektrotu üretimi ve dolgu karakterizasyonu adlı çalışmada düşük karbonlu çapı Ø8 mm, kalınlığı 1.00 mm ebadındaki sanayi borusunun içi %5, %10 ve %15 B4C oranlarında doldurularak, Fe kılıflı Fe/B4C özlü yarı mamul ürünler üretilmiştir. Daha sonra çubuk haddeleme yoluyla, 2 mm çapında demir kılıflı, demir/bor karbür toz karışımı özlü (Fe Fe/B4C) kompozit sert dolgu kaynak çubukları üretilmiştir. Bu elektrotlarla, Fe esaslı numunelerin yüzeyleri TIG kaynağı ile doldurulmuş, kaynak tabakasının metalografik özelliklerine bakılmış, kaplama ile ana metal ara yüzey özellikleri, ana metaldeki yapısal değişimler incelenmiştir. Mekanik karakterizasyonda ise mikrosertlik taraması, üç nokta eğme deneyi ve çentik darbe testi uygulanmış, kaplama - ana metal, ara yüzey bağ özellikleri gözlemlenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda en yüksek darbe dayanımı %15 Fe/B4C özlü kaynak elektrotuyla yapılan sert yüzey dolguda görülmüştür [25].

Mammadov, yapmış olduğu çalışmada S355 J2+N genel yapı çeliği ana malzemesi üzerine ark kaynağı ile özlü tel elektrotu kullanarak sert dolgu kaynağı yapmıştır. HARDCOR M55 metal özlü kaynak teli kullanılarak tek paso ve üç paso olacak şekilde sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Sert dolgu kaynağı işleminde MAG gazaltı kaynak yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmadaki ilgili numuneler standartlara uygun olarak hazırlanmış ve değerlendirmeler de uygun standartlara göre yapılmıştır. Metalografik inceleme ve aşınma testleri yapılarak kaynaklı parçalar kıyaslanmıştır [26].

Asgarov, çalışmasında özlü tel elektrotu kullanarak MAG kaynağı ile S355J2+N ana malzemesine sert dolgu kaynağı yapmıştır. Hardcor 600G özlü tel elektrotu ile farklı pasolarda kaynak yapılmıştır. Yapılan çalışmada numunelerin aşınma dirençleri, sertlik değerleri ve mikro-makro yapılarına bakılmıştır. Aşınma deneyleri, farklı mesafelerde sabit yük altında yapıl olup SEM-EDS sonuçları alınıp kimyasal bileşimleri belirlenmiştir. Deney numunelerinin makro ve mikro sertlik değerlerine bakıldıktan sonra metalografik ve aşınma işlemi yapılmıştır. İncelemeler sonucunda makro sertlik, mikro ve makro yapılar değerlendirilmiştir [27].

1.3. Termal Şok Üzerine Yapılan Çalışmalar

Karaali, termal bariyer kaplama yüksek sıcaklıklarda altlık metalini oksidasyon dan korumak için yapılan bir kaplamadır. TBK seramik ve metalik esaslı iki farklı tabakadan oluşur. Termal şok etkisi termal bariyer kaplamaların çalışma süresini belirleyen en önemli etken olduğu için termal şok etkisi ve hasar mekanizması incelenmiştir. Termal şok etkisine göre oluşan hasara bir tanımlama yapmak amaçlanmıştır. Çalışmada YSZ (ZrO2-ağ.% 8 Y2O3) ve CSZ (ZrO2 – ağ.% 2.5 Y2O3 – ağ.%25 CeO2) tozları plazma sprey yöntemi ile kaplandıktan sonra termal şok deneyi yapılmış ve sonuçlara ulaşılmıştır [28].

Altuncu, iki farklı TBK kompozisyonunun tekrarlanabilir üretim özellikleri ve termal çevrim karşısında göstermiş olduğu durumlar incelenmiştir. Yapılan çalışmada Y2O3 ile stabilize zirkonya (YSZ) ve Y2O3-CeO2 stabilize zirkonya (CSZ) üretilip tasarımları yapılmış yapılan tasarım sonrası üretilen kaplamaların pürüzlülük, mikrosertlik, birikme verimi, porozite ve yapışma dayanımı özellikleri ile proses parametreleri arasındaki ilişkiler ortaya çıkarıldıktan sonra en iyi üretim parametreleri belirlenmiştir. Termal çevrim performans testleri sonrasında kaplamaların dayanım özellikleri arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur [29].

Yılmaz, yapmış olduğu çalışmada in vitro ortamda termal çevrimin üç farklı diş dolgu malzemesinin üzerindeki etkilerini incelemiştir. Diş dolgu malzemeleri ağzımızın yapısı düşünüldüğünde her zaman farklı sıcaklıklar altında çalışmakta ve dolgu malzemelerinin termal çevrimden etkilendiği görülmektedir. Yapılan çalışmada üç farklı diş dolgu malzemesi deneysel bir ağız ortamında 5°C-65°C aralığında ve yapay tükürük ortamında termal çevrim öncesi ve sonrasında incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda malzemelerin bağ kuvvetlerindeki değişim elde edilerek incelenmiştir [30].

Koçarslan, yapmış olduğu çalışmada 16MnCr5 Çeliğinin borlama ve termal çevrimli borlama özelliklerini araştırmıştır. 16MnCr5 sementasyon çeliğine borlama yapılmıştır. Numunelere borlama ısıl işlemi katı ortamda ekabor-1 tozu ile 1000 °C'de 16 saat yapılmıştır. Bunun yanında termal çevrimli borlama ile karşılaştırma yapılması için 1000°C'de 5'er saat bekletilerek 3 defa termal çevrimli borlama işlemi yapılmıştır. İki farklı yöntem kullanılarak borlama yapılan numune birbirleriyle mikro yapısal ve mekanik açıdan karşılaştırılıp sonuçlar değerlendirilmiştir [31].

Kaplan, çalışmasında termal bariyer kaplamaların (TBC) katı partikül erozyonu, sıcak korozyon ve termal çevrim davranışlarını incelemiştir. CoNiCrAlY bağ ve YSZ ($ZrO_2+Y_2O_3$) üst kaplama özelliğinde olan termal bariyer kaplama (TBC) sistemleri araştırılmıştır. TBC'lerin üretimi altlık olarak Ni esaslı inconel 718 süper alaşım kullanılarak atmosferik plazma sprey (APS) tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Numune olarak hazırlanan TBC'lere 1150 ºC sıcaklıkta termal çevrim ve 1000 ºC sıcaklıkta sıcak korozyon testleri uygulanmıştır. Erozif aşınma testleri ise farklı partikül çarpma açılarında (30º, 60º ve 90º) katı partiküllerin yönlendirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Termal çevrim testleri sonucunda TBC'ler 40 çevrim ardından, sıcak korozyon testleri sonucunda ise 48 çevrim ardından hasara uğramıştır. Katı partikül erozyonu testlerinde en yüksek erozyon oranı 60º'lik çarpma açısında gerçekleşmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), elementel-haritalama (EDX), enerji dağılım spektrometresi (EDS), X-ışınları difraksiyonu (XRD), 3D optik profilometre analizleri ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir [32].

Kanar, yapmış olduğu çalışmada nano yapı katkılı yapıştırıcıların ortam sıcaklığı ve termal çevrim altında kırılma davranışlarını incelemiştir. Yapıştırıcıya nanoyapı eklemek suretiyle nanokompozit yapıştırıcılar elde edilip yapıştırıcının kırılma davranışı hem normal ortamda hem de termal çevrim altıda çift konsol kiriş (Double Cantilever Beam –DCB) testi kullanılmak suretiyle incelenmiş, deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda deneysel kırılma enerjileri araştırıldığında, nanoyapı ilavesiyle elde edilen nanokompozit yapıştırıcılar bağlantının kırılma enerjisini artırmakta ve nümerik analizden elde edilen verilerin deneylerin doğruluğunu ispatladığı görülmektedir [33].

Dölekler, yapmış olduğu çalışmada YSZ, $Gd_2Zr_2O_7$ VE YSZ/ $Gd_2Zr_2O_7$ içerikli termal bariyer kaplama sistemlerinin izotermal oksidasyon ve termal çevrim davranışlarını incelemiştir. Çalışmasında nikel esaslı süper alaşım inconel 718 altlık malzeme üzerine, yüksek hız oksi yakıt (HVOF) ve CGDS teknikleri kullanarak CoNiCrAlY içerikli tozlar püskürtülmüş ve bağ kaplamaların üretimi gerçekleştirilmiştir. Bağ kaplamaların üzerine ise EB-PVD tekniği ile YSZ, $Gd_2Zr_2O_7$ (GZ) ve YSZ/GZ üst kaplama malzemesi şeklinde biriktirilmiştir. Üretilen TBC'ler vakum ısıl işlemi sonrasında, 1000 °C ve 1100 °C'lerde 8, 24, 50 ve 100 saat izotermal oksidasyon ve 1150 °C de bekleme sıcaklığında fırın termal çevrim testlerine tabi tutulmuşlardır. Testlerden önce ve sonra TBC'ler mikroyapısal incelenmiş,

oksidasyon ve termal çevrim testleri sırasında bağ kaplama ile üst kaplama ara yüzeyinde oluşan termal olarak büyüyen oksit (TGO) tabakasının davranışı ve termal çevrim sonrası meydana gelen hasarlar kıyaslanarak belirli sonuçlara ulaşılmıştır [34].

Fidan, termal çevrime maruz bırakılmış 4/3 dizilimli fiber metal tabakalı kompozitlerin eğilme özelliklerinin ve oluşan hasar mekanizmalarının belirlenmesi şeklinde çalışmalar yürütmüştür. Çalışmasında farklı çevrim adetlerindeki termal yaşlandırmanın 4/3 dizilimli CETA (Cam Elyaf Takviyeli Alüminyum) malzemenin eğilme özelliklerine etkisini araştırmıştır. Öncelikle CETA numuneleri üretilmiş sonrasında iki saat-30°C ile +40°C de iklimlendirme odasında termal çevrimlere (0, 25, 50, 100, 200 ve 300 adet çevrim) maruz bırakılmıştır. Çevrimler sonrasında üç nokta eğilme testleri uygulanmış eğilme modülü ve eğilme dayanımında değişiklikler olduğu saptanmıştır. Sonrasında konik ışınlı bilgisayarlı tomografi yöntemiyle kalıcı hasarın artıp artmadığına bakılarak gerekli sonuçlara ulaşılmıştır [35].

Yazıcı, çalışmasında vollastonit dolgulu poliamitin krom kaplama sürecinin iyileştirilmesi ve termal çevrim dayanımının değerlendirilmesi amacıyla çalışmalar yürütmüştür. Bu tez çalışması vollastonit dolgulu PA malzemenin krom kaplama sonrasında hem plastik yüzey ile metal tabaka arasındaki yapışmasını hem de metal tabakalar arasındaki yapışmanın termal çevrim dayanımını artırmak amacıyla yapılmıştır. PA kaplamanın aşındırma, aktivasyon ve hızlandırıcı süreçlerindeki süre ve konsantrasyon parametrelerinin kaplama performansına etkisi araştırılmıştır. Termal çevrim dayanım testi sonrasında krom kaplı PA plakalarının yüzey morfolojileri ve PA alt tabakalarındaki mikroyapıları SEM / EDX yöntemiyle incelenmiş, cross-cut adezyon testi ile ara yüzey yapışma gücüne bakılarak sonuçlar değerlendirilmiştir [36].

Akgül, çalışmasında Muğla bölgesindeki farklı karbonat kayacı olan mermer türlerinden örnekler alınmış sonrasında 100°C'de ısınma-soğuma (termal şok) ve 25, 100, 200, 300, 400 ve 500°C'de yüksek sıcaklık uygulaması deneyleri yapılmıştır. Sıcaklık uygulanması sonrasında numunelere gözeneklilik, P-dalga hızı, shore sertliği, tek eksenli basınç (TEB) dayanımı ve birim hacim ağırlığı deneyleri yapılmıştır [37].

Öcal, AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin korozyonlu yorulma, termal çevrim ve darbeli aşınma davranışlarına farklı kaplamaların etkisi adlı tez çalışması yürütmüştür. 316L östenitik paslanmaz çelik malzemenin korozyonlu yorulma, termal çevrim ve

darbeli aşınma özellikleri farklı korozyon sıvılarında test cihazlarıyla yüzeylerine işlem uygulanmadan ve uygulanarak incelemiştir. Numunelere metalik ve seramik kaplama yapılmış, korozyonlu yorulma deneylerinde Al-5Mg malzeme kaplama, termal çevrim deneylerinde %5 Y2O3 kısmen stabilize ZrO2 (5YSZ-ZrO2) kaplama, darbeli aşınma deneylerinde ise her iki kaplama da kullanılmıştır. 316L malzemenin agresif çalışma şartlarında korozyon direncini kaybedebilmesinden dolayı bahsedilen çalışma şartlarında 316L malzeme kaplamasız ve kaplamalı olarak teste tabi tutulup farklı sıcaklık aralıklarında korozyonlu yorulma deneylerinde kullanılan sıvılar altında termal çevrimlere maruz bırakılarak termal çevrimin kaplama üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda deniz suyunun kullanılan diğer sıvılara kıyasla kaplama üzerinde çok daha fazla kötü etkilerde bulunduğu gözlenmiştir [38].

Ayaş, yapmış olduğu çalışmada doğal ortamın, UV ışınının, termal çevrimlerin ve suyun bileşik etkisi altında akrinonitril bütadien stiren polimerinin mekanik özelliklerini incelemiştir. Akrilonitril bütadien stiren (ABS) polimer malzemesinin, sıcaklık, ışık, nem ve yağmur etkisi altında mekanik, morfolojik ve reolojik özelliklerindeki değişimleri araştırmıştır. Deney için gerekli olan şartlar, doğal yaşlandırma tesisatı, hızlandırılmış yaşlandırma cihazı (QV-LAB), termal yaşlandırma ve suyun altında yaşlandırma ile yapılmıştır. Çalışma için gerekli olan numuneler öncelikle plastik enjeksiyon makinesinde üretilmiş 24 saat geçtikten sonra darbe, eğme, çekme, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve eriyik akış testlerine tabi tutulmuştur. Ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiştir [39].

Kurt, farklı termal çevrimlere maruz bırakılmış alüminyum/alüminyum bal peteği sandviç kompozitlerin eğilme özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak çalışmalar yürütmüştür. Savaş uçaklarının yapısal parçaları uçuş ömürleri boyunca binlerce termal değişime uğrarlar. Termal değişim nedeniyle çekirdek/yüzey tabakasının ara yüzünde olası hasarlar ortaya çıkabilmektedir. Yapılan çalışmada savaş uçaklarının hareketli yüzeylerinde kullanılan AA3005-H19 alüminyum alaşımlı çekirdek/AA5754-H22 alüminyum alaşımlı (Al/Al) yüzey tabakasından meydana gelen bal peteği sandviç kompozitler, savaş uçağının yaşadığı termal çevrime maruz bırakılmıştır. Savaş uçaklarında uçağın maruz kaldığı en büyük kuvvet eğilme kuvvetidir. Öncelikle numuneler termal çevrime uğratılmış çevrim işleminden sonra ASTM C 393 standardına göre üç nokta eğilme testleri uygulanmıştır. Yapılan testler sonrasında numunelerin yüzey gerilmesi, maksimum çekirdek kesme gerilmesi,

eğilme sertliği, çekirdek kesme modülü ve enine kesme sertliği değerleri tespit edilmiştir. Eğilme testi sonrasında örneklerde oluşan hasarlar dijital kamera görüntüleme yöntemi ile ortaya çıkarılmıştır [40].

Gökkaya, kordiyeritin termal şok dayanımını etkileyen parametreler ve kalite kontrolü üzerinde çalışmıştır. Kordiyeritin termal genleşme katsayısı çok düşük olup termal yorulma direnci çok yüksektir. Bundan dolayı; otomobil egzozlarındaki katalitik konvektörlerde, döner ocaklarında radyan olarak ayrıca döküm filtrelerinde kullanılmaktadır. Katalitik konvektörlerde kaliteli kordiyerit kullanılmalıdır. Döner ocaklarındaki radyanların kordiyeritten üretilmesi sayesinde gerekli özellikler sağlanmaktadır. Katalitik konvektör ve döküm filtrelerindeki termal şok ve termal yorulma şiddeti döner ocaklarına nispetle çok yüksektir. Katalitik konvektörlerde 1100 ºC'ye varan ani ısınma ve soğuma ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada döner ocağı radyanlarında kullanılan kil-talk ve bu karışımlara ek olarak yaklaşık 1000 °C'de pişirilen kil-manyezit karışımları incelenmiştir [41]

Erdoğan, İnconel 601 süper alaşımının %8 YSZ tozu ile termal bariyer kaplama sonrası korozyon ve termal şok dayanımlarının incelenmesi konusunu incelemiştir. Çalışmasında, inconel 601 altlık malzemesine bağ kaplama için NiCrAlY kullanılmıştır. Seramik üst kaplamada ise %8 YSZ toz kaplama malzemeleri kullanılarak 100, 200 ve 300 µm seramik üst kaplama kalınlıklarında termal bariyer kaplama yapıldıktan sonra SEM, EDS ve XRD analizleri yapılmıştır. Sonrasında %3,5 NaCl çözeltisi ile elektrokimyasal korozyon testi ve FCT termal şok yöntemi ile 1200°C de termal şok testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarla hangi seramik üst kaplama kalınlığının termal şoka dayanımının daha yüksek olduğuna bakılmıştır [42].

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Paslanmaz Çelikler

Gününüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve birçok alanda tercih edilen paslanmaz çeliklerin kısa tanımını yapacak olursak muhtevasında ağırlık olarak minimum % 10,5 oranında krom (Cr) bulunan demir esaslı alaşımlardır. Paslanmaz çeliklerin korozyona karşı dayanıklı olmasının başlıca sebebi paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan krom oksit tabakasıdır. Bu tabaka oksidasyonun yayılmasının önündeki en büyük engellerdendir [43]. Daha basit ifadeyle paslanmaz çelikler içinde bulunduğu korozyonlu ortamlarda paslanmayan çeliklere verilen genel addır. Paslanmaz çelikler imalat kolaylığı (kesilebilmesi, kaynağa uygun olması, hem sıcak hem soğuk şekillendirilebilmesi, talaşlı imalata uygun olması),mekanik dayanımı, düşük ve yüksek sıcaklıklarda dayanımı, yüksek korozyon dayanımı, hijyenik olması, sünekliği, yüksek sertlik ve rijitliği, bakım maliyetlerindeki uygunluk, estetik görünüm gibi nedenlerde tercih sebebidirler.

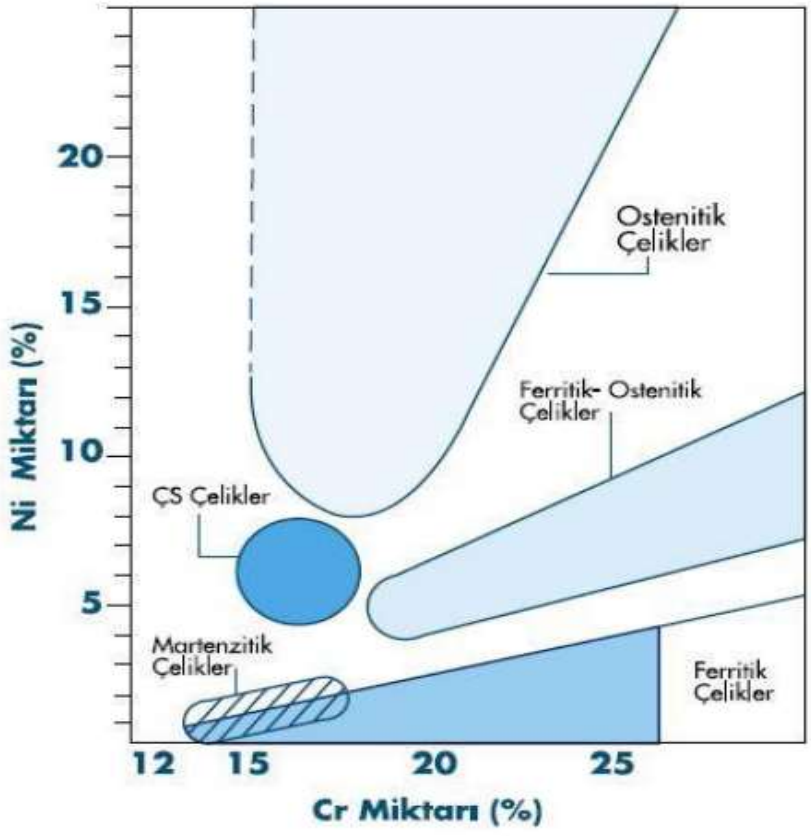
Paslanmaz çelikler kimya ve petro kimya endüstrisinde, gıda endüstrisinde, basınçlı tanklarda, depolama tanklarında, ısı eşanjörlerinde, paslanmaz çelik borularda, yanma odaları ve ısıl işlem fırınlarında, dalgıç pompaların gövde mil ve çarklarında, uzay endüstrisinde kısaca hayatımızın birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler mikro yapılarına ve içerdiği alaşım elementlerine göre beş farklı gruba ayrılırlar [44]. Bunlar;

1. Östenitik Paslanmaz Çelikler
2. Ferritik Paslanmaz Çelikler
3. Östenitik-Ferritik Paslanmaz Çelikler

4. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

5. Çökelme Sertleştirmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerde farklı alaşım ve yapılar kimyasal bileşimin değişmesiyle elde edilir. Kullanıcı farklı paslanmaz çeliklerden kendi amacına en uygun olanını seçebilir. Paslanmaz çeliklerde mikro yapıyı belirleyen en önemli iki element krom ve nikeldir. Bunlardan sonra önem sırasına göre mangan gelmektedir. Mikro yapıdaki krom ve nikel malzemenin östenitik ve ferritik olarak sınıflandırılmasını sağlar. Şekil 1'de paslanmaz çeliklerin içlerindeki krom ve nikel oranlarına göre türleri gösterilmiştir. Piyasada kullanılan paslanmaz çelik türlerinde en yaygın olarak kullanılanlar östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerdir. Çalışmamızda kullanmış olduğumuz paslanmaz çelik grubunu detaylı anlatıp diğer paslanmaz çelik gruplarından kısaca bahsedeceğiz.



*Şekil 1.*Farklı paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları [4].

Paslanmaz çelik gruplarına geçmeden önce paslanmaz çelik içerisindeki alaşım elementlerinden bahsetmemiz gerekmektedir. Paslanmaz çeliklere kullanım

amacına göre istenilen fiziksel ve kimyasal özellikleri karşılamak için alaşım elementleri katılmaktadır. Örnek vermemiz gerekirse karbon elementinin östenitik etkisi bulunmaktadır. Malzemede sertlik ve mukavemet istenildiği zaman eklenmektedir. Kaynak metalinin korozyon direncini ve düşük sıcaklıklardaki tokluğunu düşürür. Azot ise östenitik etkisi bulunmaktadır. İçeriğinde karbon oranı düşük fakat krom oranı yüksek olan çeliklere yüksek sıcaklıklarda görülebilen tane büyümesinin önüne geçmek için kullanılır. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini önlemek için katılır. Korozyon dayanımını ve mukavemeti arttırır.[43, 45, 46,47]

2.2. Paslanmaz Çelik Türleri

2.2.1.Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler içeriğinde % 12-25 Cr, % 8-25 Ni ve maksimum % 20 oranında Mn ye sahip olan krom-nikel-demir alaşımlarıdır. Karbon oranı maksimum % 4 ler seviyesindedir. Östenitik paslanmaz çelikler yüzey merkezli kübik (ymk) kafes yapısına sahiptirler. İçyapılarını oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıklarda korurlar. En yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik türüdür. Yaklaşık olarak % 70 oranında kullanım oranına sahiptir. Östenitik paslanmaz çelikler korozyon direnci bakımından diğer paslanmaz çelik türlerine göre yüksek performans gösterirler. Mukavemetleri soğuk şekil değiştirmeyle artış gösterir. Süneklik ve toklukları oda sıcaklığında bile iyi düzeydedir [48].

Kafes yapıları ısıl işleme tabi tutulduğunda östenitik tir. (YMK, γ demiri türü) Bu sebepten dolayı bu paslanmaz çelik türüne östenitik paslanmaz çelik denilmektedir. Östenitik paslanmaz çelikler ısıl işlem sonrasında faz değiştirmezler. Bu nedenle de yapılarında sertleşme olmaz. Diğer paslanmaz çelik türlerinden ayrılmasını sağlayan en önemli özelliklerinden birisi manyetik özellik göstermemesidir. Metalin östenitik olup olmadığı mıknatıs yardımıyla anlaşılabilir.

Östenitik paslanamaz çelikler genellikle sıvı ile temasın olacağı yerlerde kullanılırlar. Gerilmeli korozyon çatlaması olmaması metal içerisindeki yüksek nikel oranı ile sağlanır. Diğer korozyon türlerine olan mukavemeti yapısına katılan molibden ve krom ile ayarlanır. Soğuk şekillendirilmiş östenitik paslanmaz çelikler yüksek mukavemet ve korozyon dirençli olurlar [56]. İçerdiği karbon oranı ve yüksek alaşımdan dolayı işlenmeleri diğer paslanmaz çelik türlerine göre zordur. Karbon ve

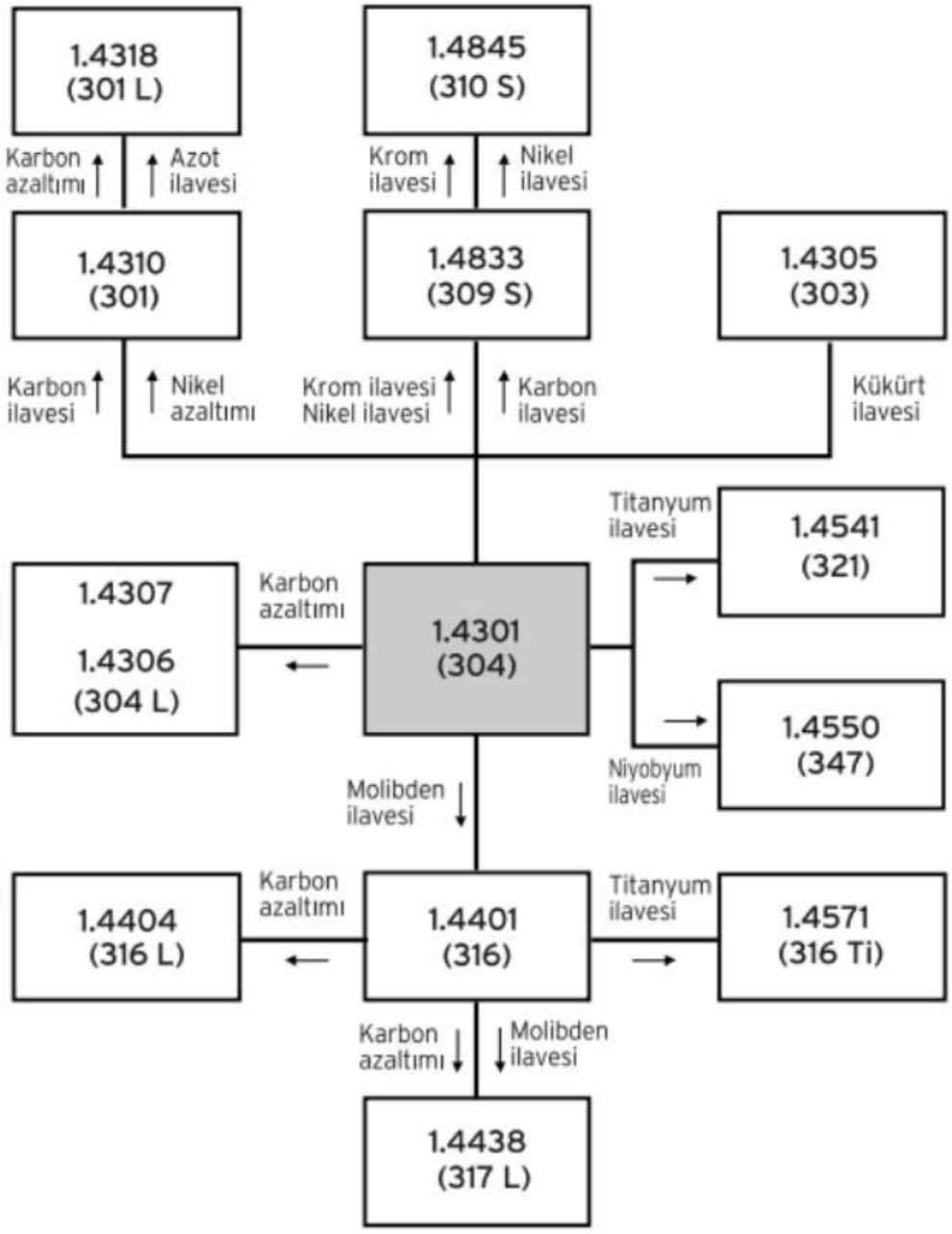
alaşım oranı az olan paslanmaz çeliklere göre yüksek dayanım, süneklik, deformasyon sertleşme eğilimi ve düşük ısıl iletkenlikleri bu grup paslanmaz çeliklerin zor işlenme sebebidir [49]. Tablo 1 de en çok bilinen östenitik paslanmaz çelik türleri verilmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerde 300 serisi çelikler piyasada genellikle 18-8 olarak geçmektedir ve %18 Cr ,%8 Ni elementi içerirler.

Tablo 1. En çok bilinen östenitik paslanmaz çelik türleri [4].

ASTM AISI	EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Adı
301	1.4310	X10CrNi18-8
304	1.4301	X5CrNi18-10
304L	1.4306 1.4307	X2CrNi 19-11 X2CrNi 18-9
304LN	1.4311	X2CrNiN18-10
309	1.4828	X15CrNiSi20-12
310	1.4841	X15CrNiSi 25-20
310S	1.4845	X12Ni 25-21
316	1.4401 1.4436	X5CrNiMo 17-12-2 X3CrNiMo 17-13-3
316L	1.4404 1.4432 1.4435	X2CrNiMo 17-12-2 X2CrNiMo 17-12-3 X1CrNiMo 18-14-3
316LN	1.4429	X2CrNiMoN 17-11-2
316Ti	1.4571	X6CrNiMoTi 17-12-2
321	1.4541	X6CrNiTi 18-10
347	1.4550	X6CrNiNb 18-10

Östenitik paslanmaz çeliklerin hangi elementlerin ilavesi ile hangi östenitik paslanmaz çelik türüne dönüştüğünü şekil 2 den anlayabiliriz.



Şekil 2. Eklenen elementler ile östenitik paslanmaz çeliğin dönüşümü [50].

Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşim oranlarını tablo 2 de görebiliriz.

Tablo 2**.** Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimini gösteren tablo [51]

ASTM	EN	Kimyasal Bileşim (% ağırlık, en fazla)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
201	14.372	0.15	5.5 7.5	1.00	0.06	0.03	16.0 18.0	3.5 5.5	-	0.25	-
301	14.310	0.15	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	6.0 8.0	-	-	-
304	14.301	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0 20.0	8.0 10.5	-	-	-
304L	14.306	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0 20.0	8.0 12.0	-	-	-
304LN	14.311	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0 20.0	8.0 12.0	-	0.10 0.16	-
309	14.828	0.20	2.0	1.00	0.045	0.03	22.0 24.0	12.0 15.0	-	-	-
309S	14.833	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	22.0 24.0	12.0 15.0	-	-	-
310	14.841	0.25	2.0	1.00	0.045	0.03	24.0 26.0	19.0 22.0	-	-	-
310S	14.845	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	24.0 26.0	19.0 22.0	-	-	-
316	14.401	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	-	-
316L	14.404	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	-	-
316LN	14.406	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	0.10 0.16	-
316Ti	14.571	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	-	5x(C+N)Ti
321	14.541	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	17.0 19.0	9.0 12.0	-	-	(5xC)Ti
347	14.550	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	17.0 19.0	9.0 13.0	-	-	(10xC)Nb

2.2.2.Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, %11 - 30 arasında Cr içerirler. Al, C, N, Nb, Ni, Ti, Mo gibi elementler yüzdesel olarak düşüktür ve bunlar ferritik yapıyı stabil hale getirmek için kullanılırlar. Kafes yapıları oda sıcaklığında hacim merkezli kübik (HMK) tir. Östenitik paslanmaz çeliklerin manyetik özellik göstermemesine rağmen ferritik paslanmaz çelikler manyetiktir ve ısıl işlem altında sertleşmezler. Toklukları düşük ve gevrekleşmeye yatkındırlar [52]. Soğuk şekil değiştirme ile sertleştirilebilirler. Östenitik paslanmaz çeliklerden faklı olarak klorlu ortamlara daha dayanıklı, düşük soğuk şekil değiştirme sertleşmesi, yüksek akma dayanımı, belli derecelere kadar manyetik olmaları ve daha ekonomik olmaları nedeniyle tercih edilirler [53].

2.2.3.Östenitik –Ferritik Paslanmaz Çelikler

Mikro yapıları östenit ve ferrit ten oluşmakta olup çift fazlı ya da dublex paslanmaz çelikler olarak da adlandırılırlar. Yapılarındaki östenit ve ferrit oranları birbirine eşit derecededir. Yapılarında çift faz içermeleri kaynaklı östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerden daha iyi özellik gösterirler. %18-28 Cr, %4,5-8 Ni, %2,5-4 Mo içerirler [54]. Östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklere göre akma dayanımları yaklaşık iki kat yüksek, gerilmeli korozyon çatlağına karşı daha mukavim, tokluk ve sünekliği ise daha iyidir [52]. Tuzlu ve yağlı ortamlarda, kimya ve petro kimya tesislerinde, nükleer sanayi endüstrisinde kullanılırlar.

2.2.4.Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler yapılarında %11,5-18 Cr ve %0,15-1,5 C içeren kafes yapıları hacim merkezli kübik (HMK) yapıya sahip olan paslanmaz çelik grubudur. Çeliklerde östenitleme 950 – 1050 ºC aralığındadır. Çelik bu sıcaklık aralığında su verme işlemi ile soğutulursa kristal yapı martenzite dönüşür. Böylelikle sertlik ve mekanik dayanımda artış meydana gelir [4]. Mekanik dayanımdaki artış bileşimdeki karbon oranıyla ayarlanır. Karbon oranına bağlı olarak mekanik dayanım ve sertlik, süneklik ve toklukla ters orantılıdır. Şayet mekanik dayanım ve sertlik tercih edilirse karbon artırılır buna bağlı olarak süneklik ve toklukta azalma meydana gelir. Malzemedeki korozyon dayanımı ve tokluk molibden ve nikelle ayarlanabilir. Martenzitik paslanmaz çelikler manyetiktir, kaynağa uyumlulukları ise düşüktür.

2.2.5.Çökelme Sertleşmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler

Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler, yapılarındaki bakır (Cu), molibden (Mo), niyobyum (Nb), titanyum (Ti) ve alüminyum (Al) gibi alaşım elementlerinden dolayı çökelti fazları oluşturulup çökelme sertleşmesi gösterirler. Çökelme sertleşmesi yüksek mukavemet ve sertlik kazandırır.

2.3.Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Bir malzemenin kaynak yapılabilirliği kaynak sonrasında çalışma ortamında gösterdiği yüksek performans ve kolaylıkla kaynakla birleştirilebilmeyi ifade eder. Malzeme yapılan kaynak sonrası iyi bir kaynak kalitesi sergiler. Yüksek kaynak yapılabilirliğe sahip olmak değişen ortamlarda ekstra hiçbir işlem yapmadan yüksek kaynak kalitesi elde etmektir. Kaynak yapılabilirliği malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerine sünekliğine, mekanik ve çentik darbe dayanımına, korozyon dayanımı ve kırılmasına ayrıca malzemenin düşük çalışma sıcaklıklarında gösterdiği özelliklere bağlıdır.

Kaynak yapılabilirliğine kimyasal bileşim, mikro yapı ve kristal yapı, östenit ve ferrit dengesi etki eder. Bunların haricinde malzemeye daha önce ısıl işlem yapılıp yapılmadığı, hangi kaynak yöntemi ile kaynağın yapıldığı, kaynak yapılırken uygulanan kaynak parametreleri gibi etkenlerde kaynak yapılabilirliği üzerinde etkilidir. Malzemeye daha önce ısıl işlem yapılıp yapılmadığının önemi kadar malzemeye kaynak sonrası ısıl işlem yapılıp yapılmayacağı da kaynak yapılabilirliğini etkiler. Ayrıca, kaynak yapılan bölgede ısıdan etkilenen bölge oluşur.(ITAB) ITAB bölgesinde görülebilen deformasyon ve olası çatlaklar kaynak yapılabilirliğini etkiler. [55,56,57]

Östenitik paslanmaz çeliklerde parçanın kaynak yapılabilirliğini fiziksel özellikler etkilemektedir. Bu özellikler;

1. Sahip oldukları ısı iletim katsayısı oda sıcaklığında sade karbonlu ve düşük alaşımlı paslanmaz çeliklerin üçte biri kadardır.

2. Isıl genleşme katsayıları sade karbonlu ve düşük alaşımlı paslanmaz çeliklerin ısıl genleşme katsayılarından 1/2 oranında daha fazladır.

3. Bileşiminde alaşım bulunmayan paslanmaz çeliklere göre elektrik iletme dirençleri % 400 ile %700 arasında daha fazladır.

Yukarıda saydığımız fiziksel özellikler nedeni ile paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında bileşiminde karbon ve alaşım oranı az olan çeliklere göre daha yüksek oranda büzülme meydana gelir. Kaynak dikişinde parçanın soğuması sonrası oluşan büzüşme sonrası iç gerilmeler yüksek oranda artarsa kaynak bölgesinde çatlama ihtimali görülebilir [58].

Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak yapılması esnasında bahsi geçen fiziksel özelliklere dikkat edilmesi haricinde farklı etkenler de kaynakta etkilidir. δ-ferrit fazı oluşması, taneler arası korozyon çatlağı hassasiyeti, gerilmeli korozyon hassasiyeti ve sigma fazının oluşumu da kaynak kabiliyeti üzerinde etkilidir.

2.3.1.Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı Sırasında Görülebilen Problemler

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında görülebilen problemleri üç başlık altında toplayabiliriz. Bunlar; krom karbür oluşumu, δ-ferrit ve sıcak çatlak oluşumu, sigma fazı oluşumudur.

2.3.1.1. Krom Karbür Oluşumu

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında krom karbür oluşumu sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bazı paslanmaz çeliklerde çeliğin uzun süre 450°C–850°C de bırakılması nedeniyle krom karbür çökelmesi görülebilmektedir. Paslanmaz çeliklerin üretimi sırasında metal 1100ºC den hızlıca soğutulursa bu elementler metal içerisinde çökelmemektedir. Karbonun difüzyon hızının çok düşük olması nedeniyle normal ortam şartlarında çelikte çökelme görülmez. Paslanmaz çelik malzemenin çalıştığı ortama bağlı olarak çalışma sıcaklığı 450ºC'üzerine çıkarsa difüzyon hızı yükselmekte ve tane sınırlarında yoğunlaşan karbon krom ile krom karbür ($Cr_{23}C_6$) bileşiğini yapmaktadır. Krom karbür bileşiğinde karbür oranı sadece %10 dur. Bu nedenle krom karbür çökelmesi sonucunda östenitin tane sınırlarındaki krom oranı azalmakta ve krom karbürün çökelmesiyle korozyon oluşumu görülebilmektedir. Sonrasında tane sınırları arasındaki korozyon nedeni ile parça korozyondan zarar görmektedir. Böylece taneler arasında oluşan korozyon sonucu paslanmaz çelik malzeme çok kısa bir süre içerisinde kullanılmaz hale gelmektedir. Karbon oranının yükselmesi korozyonu

yükseltmektedir. Kaynak esnasında eriyen metal içinde karbon çökelmesi olmamasına rağmen, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) kaynak esnasında 500ºC–900ºC de kaldığı için metalin karbon oranı yüksekse östenit fazının tane sınırlarında karbür çökelmesi görülebilir [59].

2.3.1.2. δ-Ferrit ve Sıcak Çatlak Oluşumu

Östenitik paslanmaz çeliklerin üretiminde sıvı fazdan katı faza geçişi esnasında östenit ve ferrit tanecikleri oluşurken ferrit taneciklerinin haricince östenit içerisinde δ–ferrit tanecikleri oluşur. Bu faz ferritiktir, sıcak şekil değiştirme ve korozyon dayanımı üzerinde negatif etkiye, çatlak oluşumunda pozitif etkiye sahiptir [58].

Sıcak şekillendirmeyi kolaylaştırmak için östenitik yapıyı artırmak gerekir, bu nedenle metale östenitik yapıtı artırıcı elementler (nikel, mangan gibi) eklenebilir. Ergime sıcaklığı düşük olan elementlerin oluşturduğu bileşimler tane sınırlarında birikirse sıcak çatlama ihtimali artar. Yapılan kaynak işlemi esnasında oluşan bileşimler kaynak dikişine veya ısı tesiri altında kalan bölgeye (ITAB) nüfuz ettiğinde metalin soğuması sırasında ortaya çıkan çekme gerilmeleri sonrası metalde sıcak çatlamalar görülebilmektedir. Sıcak çatlak oluşumunu engellemek için mikro yapıda ferritik ve ostenitik yapıda tane sınırı oluşturulur [57]. İşte bu tarz paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında ortaya çıkan δ-ferrit fazı sıcak çatlama eğilimini arttırmaktadır. Bu bakımdan δ-ferrit kristal oluşumunu sıcak çatlamaya karşı kontrol altında tutmak gerekmektedir [57,60].

2.3.1.3. Sigma (σ) Fazı Oluşumu

Östenitik paslanmaz çelikler 650ºC–900°C arasında uzun süre tavlanması sırasında δ-ferrit sigma fazına dönüşür. Sigma fazı malzemenin şekillendirilme kabiliyetini azaltan sert, kırılgan, manyetik olmayan bir fazdır. Uzun süreli tavlama esnasında karbür ayrışarak molibden, krom, niyobyum ve silisyum gibi elementlerce zenginleşir. Bu elementler sigma faz oluşumunu hızlandırır.

Ferritin sigma fazına dönüşmesi sonucu kaynak dikişinde gevrekleşme artar ve malzeme çatlayabilir. Şayet malzemede ferrit miktarı yüksekse ve uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalıyorsa sigma fazı gözlenir. Kaynak yapıldıktan sonra kaynak bölgesi hızlı soğutulursa sigma fazı oluşmamaktadır. Paslanmaz çelikte kaynak esnasında sigma fazı oluşmuşsa metal 950°C–1050°C sıcaklıklar arasında tavlanıp hızlı soğutularak bu faz ortadan kaldırılır [60].

2.3.2. Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Teknikleri

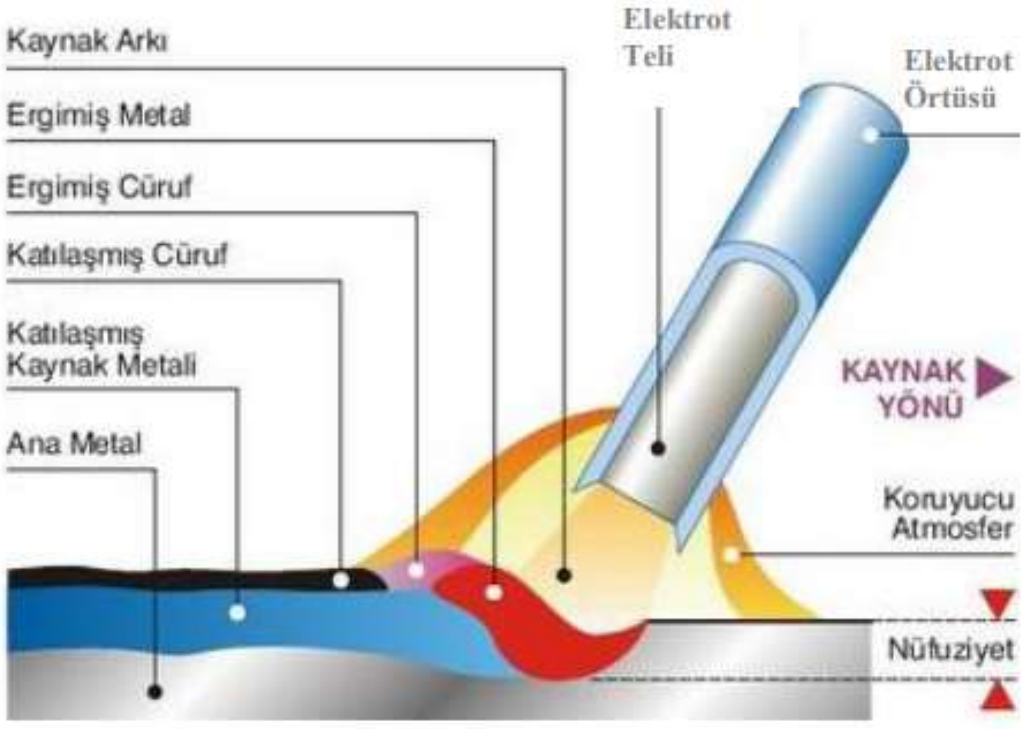
Östenitik paslanmaz çelikler yapıları itibariyle kullanılabilen bütün kaynak yöntemleri ile kaynak yapılabilir. Uygun kaynak yöntemi kaynak yapılacak metalin cins ve kalınlığına, hangi kaynak ekipmanlarının bulunduğuna, kaynak yapılacak parçanın bulunduğu ortam ve şartlara bağlı olarak seçilebilir. Paslanmaz çelik kaynaklarında kullanılan kaynak yöntemlerini aşağıdaki şekliyle sıralayabiliriz;

- Örtülü Elektrot ile Ark Kaynağı
- Oksi-Asetilen Kaynağı(Gaz Ergitme Kaynağı)
- TIG Kaynağı (Ergimeyen Elektrotla Ark Kaynağı)
- MIG/MAG Kaynağı (Ergiyen Elektrotla Gaz Altı Kaynağı)
- Plazma Ark Kaynağı
- Tozaltı Kaynağı
- Elektron Işın Kaynağı
- Lazer Kaynağı
- Elektrik direnç Kaynağı
- Difüzyon Kaynağı
- Sürtünme Kaynağı

Kaynak işleminde göz önüne almamız gereken noktalar güç ve ısıdır. Isı kaynağı olarak gaz alevi, ışın ve elektrik arkı gibi yöntemler kullanılır. Isı kaynağında güç yükseldiği zaman kaynak yapacağımız malzemeye geçen ısı azalmaktadır. Kaynağın yapılma hızı ve parçaya nüfuz etmesi gücü artırttıkça artış gösterir. Yüksek güç üreten makinelerin ilk kurulum maliyetleri yüksek, düşük güç yoğunluğu üreten makinelerin ilk kurulum maliyetleri düşüktür. Fakat gücün düşük olması parçanın zarar görme ihtimalini artırır. Kaynak hızı ve nüfuziyeti güç yoğunluğu arttıkça artar. Bu aşamada çalışmamızda kullandığımız örtülü elektrotla kaynak yöntemiyle alakalı detaylı anlatım yapılmaktadır. Sonra en fazla kullanılan kaynak yöntemleri hakkında kısa bilgilendirme yapılmaktadır.

2.3.2.1. Örtülü Elektrot ile Ark Kaynak Yöntemi

Kaynak yöntemlerinin tamamında kaynağı yapabilmek için enerjiye, enerjiyi sağlayan bir ekipmana ve kaynak bölgesini doldurmak için ek kaynak metaline gereksinim vardır. Ark kaynak işleminde enerji ve ekipman kaynak makinası, gerekli dolgu metali ise elektrot tarafından sağlanmaktadır. Kaynak için gereken ısı elektrik arkı tarafından sağlanır. Örtülü elektrot ile ark kaynağında elektrik akımı kaynak yapılacak metal parça ve elektrot arasından geçerken ark oluşur. Ark kaynak yapılacak parça ve ergimiş elektrot arasında yanar, yanma sonucu ergiyen elektrot kaynak metali haline gelir. Yanma esnasında elektrot örtüsü de yanarak gaz açığa çıkar. Gaz kaynak bölgesini korurken ortaya çıkan cüruf kaynak dikişini örter ve kaynak yapılan bölgeyi korur. Örtülü elektrot kaynağında kaynak dikişine istenilen özellikleri kazandırmak için alaşım elementleri katılabilir. Böylelikle kaynak dikişinde istenilen metalik özellikler elde edilir [3].Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı şekil 3 de gösterilmiştir.



Şekil 3. Örtülü elektrot ile ark kaynağı [80].

Kaynak yapılabilmesi için gereken elektrik akımı akım üreteciyle kablolara kablolardan kaynak yapılacak metale ve elektrot pensesine geçer. Kaynakçının elektrotu elektrot pensesine takması sonrasında kaynak yapılacak metale değdirir ve ark ortaya çıkar. Sonrasında kaynağın yapılması sırasındaki tüm işlemler ve kaynağın düzgün yapılması kaynakçının maharetine bağlıdır. Kaynakçının eğitimli olması kaynak kalitesini etkileyen en önemli unsurlardandır. Kaynak işleminin bitmesiyle kaynak dikişi üzerindeki cürufu kaynakçı temizler.

Kaynak makinalarının amacı kaynak arkının devamını sağlayarak istenilen gerilim ve şiddette kaynak akımı vermektir. Aşağıdaki nedenlerden dolayı şebekeden alınan elektrik akımından doğrudan kaynak yapmak olanaksızdır.

- Şebekede bulunan 220 veya 380 V kaynak yapılabilmesi için aşırı yüksektir.
- Şebeke gerilimindeki alternatif akım ölüme sebebiyet verebilir.
- Elektrotun ergimeye başlaması sonrasında akım şiddeti aşırı yükselir, elektrottan ayrışan metal damlaları patlayarak tehlikeli bir biçimde çevreye sıçrar.

Seçilen kaynak makinelerinin sağlaması gerekli olan koşullar vardır.

- Şebeke elektriğini kullanan kaynak makinalarının şebekeden aldığı gerilimini, sınırlandırılmış boşta çalışma gerilimine çevirmek.
- Kaynak akım şiddetini ayarlayabilecek şekilde tasarlanmış olmak ve kaynak esnasında akım şiddetini istenilen değerde tutabilmek.
- Boşta çalışma gerilimini ayarlayabilecek şekilde tasarıma sahip olmak.
- Kaynak yapıldığı anda kaynak için gerekli ark gerilimini sağlamak.

Kaynak makinası akım şiddeti ile gerilim arasındaki ilişkiyi göstermeli ayrıca ani güç değişimlerine de cevap verebilmelidir. Elektrik ark kaynağında kullanılan makineler yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebekeden gelen akımı, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetine çevirir. Kaynakta ark gerilimi 25 - 55 Volt ve akım şiddeti de 10 - 600 Amper arasındadır. Elektrik ark kaynağında doğru ve alternatif akım kullanılabilir. Doğru akım kullanılırken elektrot negatif kutba bağlanır. Şayet doğru akım kullanılırsa;

- Çapı küçük olan elektrotlarda düşük akımda daha iyi kaynak yapılabilir.

- Elektrot fark etmeksizin hepsi kullanılabilir.
- Daha kolay ark oluşturur.
- Ark boyu kısayken daha rahat kaynak yapılabilir.
- Kaynak yapılması zor olan açılarda daha kolay kaynak yapılabilir.
- İnce sacları kaynak yaparken daha kaliteli kaynak yapar.
- Alternatif akıma göre etrafa sıçraması azdır.

Kaynak sırasında doğru akım kullanılırken elektrot pozitif kutba bağlıyken (doğru kutuplama) kaynak daha derine nüfuz eder. Kutuplama elektrot türüne göre yapılır.

Örtülü elektrot ile ark kaynağı yaparken alternatif akım kullanırsak;

- Ark üflemesi sorunu hemen hemen hiç görülmez.
- Kalın kesitlerde ve büyük çaplı elektrotlarda daha verimlidir.

Örtülü elektrot ark kaynağında kullanılmak üzere rutil elektrot, oksit elektrot, asit elektrot, bazik elektrot, selülozik elektrot ve demir tozlu elektrotlar geliştirilmiştir. Paslanmaz çelikler ve korozyona dayanıklı çeliklerin kaynağında rutil elektrot ve bazik elektrot kullanılır.

Rutil elektrotlarda elektrot örtüsünün % 35'i titan dioksit den oluşturur. Kalan kısımda feldspat, kuvartz, selüloz, ferromangan kullanılır ve bunlar sodyum ve potasyum silikat ile bağlanırlar. Rutil elektrotlar farklı kalınlıklarda üretilebilirler. Elektrot kalınlığı arttıkça kaynak metali daha ince damlacık şeklinde akar ve kalınlaşan örtü kaynak dikişinin mekanik özelliklerini iyileştirir. Her iki akım türünde kaynak yapılabilirler. Doğru akım kullanılırsa elektrot pozitif kutba bağlanır.

Bazik elektrotlarda elektrot örtüsü kalsiyum, toprak alkali metallerin karbonatları ve kalsiyum flüorür den oluşur ayrıca örtüye silikat veya rutilde katılabilir. Örtü içeriğinde bulunan ferrosilisyum kaynak metalinde oluşabilecek gözenekleri engeller. Bazik elektrotlarda örtü içerisinde hidrojen oluşmasını sağlayan maddeler bulunmadığı için kaynak dikişinde hidrojen görülmez ve böylelikle bu sorunun sebep olduğu ince dikiş altı çatlaklarının önüne geçilebilir. Bazik elektrotların kullanıldığı kaynaklarda dikişin mekanik özellikleri iyidir. Bazik elektrotlarda kaynak sırasında oluşan cürufun akışkanlığını artırmak için örtüye zirkonyum oksit veya zirkonyum

silikat eklenebilir. Rutil elektrottan farklı olarak yalnız doğru akımla uygulama yapılabilir ve elektrot pozitif kutba bağlanır.

Örtülü elektrot ile kaynak yapılırken kaynak dikiş özeliklerini belirleyen faktörlerin başında kaynak akım şiddeti gelir. Kaynak akım şiddeti elektrot kalınlığına göre değişim gösterir. Optimum akım şiddetini seçmek için elektrot örtüsünün türüne, kalınlığına, kaynağı yaptığımız pozisyona ve kaynak ağız şekline göre hareket edilir. Kaynak akım şiddetini artırırsak ergimiş metal miktarını artırırız. Buna bağlı olarak kaynak dikişinin nüfuziyeti ve dikiş boyutları artar. Akım şiddetini gereğinden fazla artırırsak metal sıçraması artar, yanma olukları oluşur. Kaynak dikişi düzgün olmaz ve kaynak dikişi çatlayabilir. Elektrot örtüsü ince ise elektrot aşırı ısınır ve örtü ark bölgesine ulaşmadan yanar. Kaynak akım şiddeti gereğinden düşük seçilirse ergimiş metal miktarını ve kaynak dikişinin nüfuziyeti azalır. Akım şiddetini çok düşük seçersek kaynak yaptığımız parçada erime gerçekleşmez ve kaynak metali ile parça istenilen şekilde birleşmez.

Örtülü elektrotlarda gereken akımı ayarlamak için l akım şiddeti(A), d elektrot tel çapı(mm) olmak üzere akım şiddeti;

Elektrot örtüsü ince ise	l = d x (40 - 45) A
Elektrot örtüsü kalın ise	l = d x (45 - 50)A
Elektrot örtüsü demir tozlu ve kalın ise	l = d x (50 - 60) A

Formülüyle hesap edilir. Yatay kaynak pozisyonlarında üst sınır, dik ve tavan pozisyonlarda ise alt sınır akım şiddeti olarak seçilir [3].

Östenitik krom nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında sıcak çatlamanın önüne geçebilmek için;

1. Elektrot çapı minimum seçilir.

2. Akım şiddeti minimum seçilir.

3. Pasolar ince çekilirken elektrot zikzak olarak hareket ettirilir.

4. Şayet birden çok kaynak pasosu çekeceksek ilk paso sonrası parça oda sıcaklığına kadar soğutulur ikinci pasoya geçilir ve parça hızlı soğutulur.

5. Kaynağın sonundaki çukurluk doldurulup şayet kaynakta çatlak görülürse çatlak taşlanmalı ve yeniden kaynatılmalıdır [44].

Paslanmaz çelik parçaya en uygun örtülü elektrotu seçerken kaynak metalinin mekanik ve korozif özellikleri parçanın mekanik ve korozif özelliklerinden daha iyi olmalıdır.

2.3.3. Sert Dolgu Kaynağı

Sert dolgu kaplama abrasyon, adhezyon, darbe, korozyon ve yüksek sıcaklık aşınmalarından malzemeyi korumak için yapılır. Malzemeyi çalışma esnasında oluşabilecek sorunlara karşı koruyup istenilen mekanik özellikleri vermek veya çalışma esnasında yıpranan, aşınan, bozulan malzemeleri yeniden eski haline getirmek için, ana malzemeyi istediğimiz özellikleri verecek bir metal veya alaşımla tek veya çoklu katmanlarla doldurarak yüzeyini kaplama işlemidir. Dolgu işlemi yukarıda detaylı olarak anlattığımız kaynak yöntemlerinin yanı sıra lehimleme ve metal püskürtme ile de yapılabilir [17,61].

Sert dolgu kaynağı ana metali eski boyutlarına getirmek için yapılıyorsa dolgu işlemini yaptığımız metalin bileşimini ana metal bileşiğinin aynısını veya çok benzerini seçeriz. Yapmış olduğumuz sert dolgu kaynağını malzemeye yeni özellikler kazandırmak için yapıyorsak istediğimiz mekanik özelliklere uygun bileşimde bir dolgu malzemesi seçeriz.

Ana metale kazandırmak istediğimiz mekanik özellikler aşağıdaki gibidir [61];

- Kaynak sonrası malzemede oluşan sertlik
- Malzemenin yüksek sıcaklıklardaki sertliği
- Aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnç
- Abrasyona karşı gösterdiği direnç
- Korozyona karşı göstermiş olduğu direnç
- Malzemenin yüksek sıcaklıktaki oksidasyon direnci
- Darbelere karşı göstermiş olduğu direnç

Kaynak yönteminin sert dolgu kaynağı olarak isimlendirilmesinin nedeni ana malzemeyi doldurduğumuz metalin yüksek sertliğe sahip olmasından dolayıdır. Bu yüzden yöntemin adı sert dolgudur [3].

Yaptığımız yüzey kaplama işlemlerini içeriğine göre sınıflandırmamız gerekirse malzemeye yeni özellikler kazandırmak için yapıyorsak sert yüzey kaplama,

malzemeyi aşınma sonrası eski haline getirmek için yapıyorsak dolgu kaplama olarak isimlendirebiliriz. Ayrıca koruyucu kaplama ve kademeli kaplama da yapılabilir.

Uygulanan tabaka kalınlığının ince olduğu, genel olarak ≤ 3 mm olarak uygulanan, ana malzemeden daha sert, aşınmaya, çarpmaya, çizilmeye karşı daha dirençli bir malzeme ana malzeme üzerine kaynak yöntemleriyle veya ısıl püskürtme ile biriktirilmesiyle sert yüzey kaplama yapılabilir. Kaynak sonrası malzeme yüzeyinden daha az metal kaybı yaşanır. Bu yöntem ana malzemeye yüzey sertleştirme işlemleri uygulanmaksızın doğrudan yapılır. Malzemeden kaplama sonrası hangi özellik isteniyorsa ona göre malzeme seçimi yapılır.

Kaynak yapılacak malzeme sertleştikçe kaplama tabakası incelir. Çok sert malzemelerde oluşabilecek çatlamanın önüne geçilebilmesi için en fazla iki paso yapılır. Büyük çatlak oluşumunu engellemek için yapılacak ikinci pasonun hızı daha hızlı olarak uygulanır.

Sert yüzey kaplama tüm aşınma çeşitleri için uygulanabilir. Kazıcı dişleri, kırıcıların çeneleri, sondaj makinesi elmas uçları metal-kaya aşınmasına örnek olarak verilirken lokomotif tekerleği metal-metal aşınmasına örnektir ve bu aşınmaların tamamında uygulanır.

Kepçe, ekskavatör ve iş makinalarının tamamında, dövme kalıplarında, preslerde, kesici takımlarda, dişli çarklarda, supaplarda abrasiv aşınmalara karşı kullanılır. Vanalarda, tel çekme makinalarında, gaz türbinlerinin kanatlarında, vanalarda, musluklarda, krank millerinde kullanılır. Ağırlıklı olarak sade karbonlu ve paslanmaz çeliklere aşınmaya karşı daha dirençli olması için uygulanır [19,62,63].

Aşınan parçaları aşınmadan önceki ilk haline tekrar getirmek için yapılan sert dolgu kaynağının üç aşaması bulunmaktadır. Bunlar dolgu kaynağının yapılması, tampon paso oluşturulması ve sert dolgunun uygulanmasıdır.

Dolgu Kaynağının Yapılması: Aşınan iş parçasını, çatlamaya karşı dirençli dolgu kaynağıyla orijinal ölçülerine yakın bir hale getirdiğimiz kaynak işlemidir. Şekil 4 te gösterilmiştir.



Şekil 4. Dolgu kaynağının yapılması [64].

Tampon Paso Oluşturulması: Kaynak yaptığımız parçanın ve kaynak metalinin bileşimindeki karbon miktarını düşürüp alaşımı biraz daha seyreltmek için uygulanır. Tampon paso kaynak yaptığımız parça ile sert dolgu arasına oluşturulan sağlam bir tabakadır. Amacı sert dolgu tabakasında soğuma esnasında büzülme kaynaklı oluşabilecek çatlamaların kaynak yaptığımız parçaya ulaşmasını engellemektir. Şekil 5 de gösterilmiştir.



Şekil 5. Tampon pasonun oluşturulması [64].

Sert Dolgu Uygulanması: Sert dolgu uygulaması bir, iki ve üç paso halinde ana metal üzerine uygulanabilir. Sert dolgu malzemesi ana metalden çok daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençlidir. Yapılan kaynakta ark kaynağı kullanılması malzemeyi aşınmaya karşı daha dayanıklı hale getirir. Malzeme ömrünü uzatmak için yapılır. Şekil 6 da gösterilmiştir.



Şekil 6. Sert dolgu uygulanması [64].

Sert dolgu kaynağına başlamadan önce sırasıyla malzeme öncelikli olarak tavlama sıcaklığına ulaşana kadar uzun sürede ısıtılır. Malzemenin östenitik hale dönüşmesi sağlanır. Daha sonra malzeme kaynak yapılacak sıcaklığa gelene kadar soğutulur ve kaynak işlemi yapılır. Kaynak sonrasında malzeme ortam sıcaklığında ya da yağda ortalama 100°C soğutulup temperlenir [65].

2.3.3.1. Sert Dolgu Kaynağının Malzemeye Kazandırdığı Özellikler

Sert dolgu kaynağından beklediğimiz fayda malzemeyi çalışma ortamında dış etmenlere karşı koruyarak ömrünü uzatarak maliyeti düşürmektir. Malzemenin çalıştığı ortam iyi analiz edilmeli, aşınmaya karşı en özellikli kaynak metali saptanıp en iyi yöntemle malzemeye uygulanmalıdır. Uygulama sonrası malzemede beklediğimiz özellikleri aşağıdaki şekliyle detaylandırabiliriz [66].

1. Kaynak sonrası malzemede oluşan sertlik
   - ✓ Malzemenin makro sertliği
   - ✓ Malzemenin mikro sertliği
   - ✓ Malzemenin yüksek sıcaklıklardaki sertliği
   - ✓ Sürünme mukavemeti
2. Malzemenin abrasyona karşı göstermiş olduğu mukavemet
   - ✓ Malzemenin alçak gerilme şartlarında çalışması
   - ✓ Malzemenin yüksek gerilme taşlaması koşullarında çalışması
   - ✓ Malzemenin oyulma koşulları altında çalışması

3. Malzemenin darbeye karşı göstermiş olduğu mukavemet
   - ✓ Akma mukavemeti
   - ✓ Çatlak oluşumuna karşı mukavemet
   - ✓ Basmaya karşı mukavemet
   - ✓ Basmaya karşı gösterdiği süneklik
4. Malzemenin ısıya karşı göstermiş olduğu mukavemet
   - ✓ Malzemenin temperlenmeye karşı gösterdiği mukavemet
   - ✓ Yüksek sıcaklığa karşı mukavemet
   - ✓ Sürtünmeye karşı mukavemet
   - ✓ Oksitlenme ve sıcak korozyona karşı mukavemet
   - ✓ Isıl yorulmaya karşı mukavemet

2.3.3.2. Sert Dolgu Kaynağının Avantajları

Sert dolgu kaynağının avantajlarını aşağıdaki şekliyle sıralayabiliriz.

- Aşınma ve korozyona karşı dirençli, gerekli görüldüğünde tamir işleminin parçanın çalışma ortamında söküm yapmadan gerçekleştirebilme
- İstenilen özelliklerdeki aşınmaya karşı mukavemetli alaşımların ve çok sert bileşimlerin uygulama esnasında kolaylıkla kaynak edilebilmesi
- Çalışma koşullarında uygulama kolaylığı
- Yüksek maliyetli alaşım elementlerinin malzemenin tamamı yerine sadece dolguda kullanılması nedeniyle ekonomik kullanımı
- İstenilen sertlikte yüzey tabakası elde etmek
- Ana malzemede pahalı malzeme yerine daha ekonomik malzeme seçebilmek
- Malzemenin çalışma süresini artırmak (30 ila 300 Kat)
- Bakım onarım maliyetlerini düşürmek
- Aşınan malzemeleri atmak yerine yeniden kullanabilmek (ana malzeme maliyetine göre %75 e varan ekonomiklik)
- Malzemenin çalışma koşullarında gösterdiği arıza yapma süresini artırmak

- Yedek parça stokunu düşürmek

2.3.3.3. Sert Dolgu Kaynağında Görülen Hatalar

Herhangi bir malzemeye kaynak işlemiyle dolgu yapıldığında basma ve çekme gibi iç ve dış gerilmeler ortaya çıkar. Yapılan kaynak sonrasında kaynak tabakası malzemenin işleyişi sırasında ortaya çıkan gerilmelere karşı koyabildiği gibi malzemeyle eşlenik çalışarak daha büyük gerilmelerin ortaya çıkmasına sebep olabilir. Bunun sonucunda çatlak oluşumuna engel olabilir veya çatlak oluşumunu hızlandırabilir. Yapılan dolgu sonrası malzemede ortaya çıkan gerilmeleri engellemek için gerilme giderme tavlaması yapılabilir.

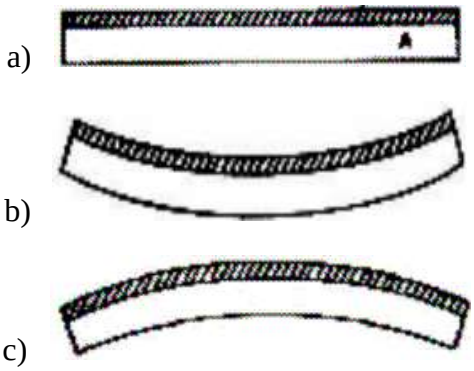
Kaynak sonrası ortaya çıkan ısıl genleşme, çekme ve büzülme sonucunda çarpılma ve çatlama görülebilir. Oluşabilecek hatalar ağırlıkla kaynak yapılacak malzemenin ve kaynak metalinin mukavemet ve sünekliğine bağlı olarak ortaya çıkabilir. Yapılan sert dolgu kaynaklarında çoğunlukla ana malzeme ve kaynak metali birbirinden farklı özelliklere sahiptir.

Hem kaynak yapılan malzemenin hem de kaynak metalinin genleşme katsayıları ve elastikiyet modülleri birbirinden farklıdır. Bundan dolayı ortaya çıkan çekme kuvvetleri kaynak yapılan ana malzemede ve kaynak metalinde farklı olacaktır. Kaynak yüzeyi ısınırken ana malzeme daha soğuktur.

Ortam sıcaklığında bulunan soğuk olan ana malzeme üzerine kaynak işlemi yapıldığında kaynak yapılan üst yüzey ısınıp genleşecektir. Kaynak yapılan ana malzeme (Şekil 7.a) dış bükey haline gelecektir.(Şekil 7.b) Kaynak işlemi bitip malzeme soğumaya başladığında kaynak metalinin altında kalan tabaka ısı transferi ile ısınırken üst taraf soğuyacak ve kaynak metali büzüşüp, parça iç bükey halini alacaktır. (Şekil 7.c)

Kaynaktan önce ön ısıtma uygulanan parçalarda şekil değiştirmeler minimum düzeyde gerçekleşir. Parça kalınlığı büyükse şekil değiştirme olasılığı düşüktür. Dolgu kaynağında kullandığımız alaşımlarda en sağlam ve tercih edileni östenitik çeliklerdir. Çekme ve basma gerilmelerine karşı süneklik ve mukavemetleri yüksektir. Martenzitik çelikleri tercih edersek çekme ve basmaya karşı mukavemetlidir fakat süneklikleri düşüktür. Östenitik ve martenzitik çelikler üzerine sert dolgu uygulaması yaptığımızda sert dolgu soğuduğu anda kaynak yaptığımız malzeme ince ise eğilme ihtimali yüksektir. İçerdiği karbon oranı fazla olan çelikler gevrek olup çekme

mukavemeti düşük basma mukavemeti yüksektir. Yumuşak malzemelerde kaynak sonrası soğuma esnasında çatlaklar olabilir [66,67,68].



Şekil 7. a) Kaynak yapılan ana malzeme, *b)* Kaynak sonrası iç bükeylik, *c)* Kaynak sonrası dış bükeylik [67].

2.3.4. Sert Dolgu Kaynağı Sonrasında Malzemede Görülen Metalürjik Değişimler

Kaynak sırasında oluşan ısı kaynak parametrelerine bağlı olarak değişim gösterir. Kaynak arkında kullanış olduğumuz enerjinin miktarına, kaynak ilerleme miktarına ve ısı iletim kat sayısına bağlı olarak kaynak esnasında vermiş olduğumuz enerjinin % 50 ye yakını malzemeyi ergitir. Geriye kalan ısı kaynak yaptığımız malzemeyi ısıtır. Ne kadar çok enerji verirsek kaynak sıcaklığı da o oranda yükselir.

Kaynak yaparken kullandığımız enerjiyi ne kadar yüksekse ergime hızı o nispetle büyük olur. Metal daha hızlı erir, daha hızlı katılaşır ve kaynar. Kullandığımız enerji miktarının düşük olması halinde kaynak bölgesi ergime sıcaklığına ulaşana kadar verdiğimiz ısı ana metali ısıtır. Isı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) yanında kalan bölgelerde metalürjik değişimler olabilir. ITAB bölgesi genişliği kullandığımız kaynak metoduna bağlı olarak değişim gösterir. Elektrot kaynağı kullanımında 10 mm den fazla, toz altı kaynağı kullanımında 2-6 mm, TIG-MIG-MAG kaynaklarında ise daha dar olup 0,5-3 mm genişliktedir.

ITAB bölgesinde ergimeye yakın yerlerde tane büyümesi ve tane incelmesi görülebilir. Mikro yapıda değişimler serleşme ve pekleşme görülebilir. Kaynak esnasında gerek ısınma gerekse soğuma hızları çok yüksektir. Bu nedenle metal malzemenin metalürjisi değişime uğrayabilir ve faz dönüşümleri belirli noktalarda olabilir.

Malzeme faz dönüşüm sıcaklıklarına ulaşırsa yeni fazların görülme olasılığı artar. Bu nedenle sıcaklığa çok dikkat edilmelidir.

Isı tesiri altında kalmış olan bölge ve onunla komşu bölgelerde metalürji değişirse malzemenin mekanik özellikleri de değişir. Mekanik özellikler iyileşebileceği gibi kötüleşebilir. Genel olarak görülen mekanik iyileşme oranı mekanik özelliklerde görülen kötüleşmeye göre oldukça azdır.

2.3.5. Sert Dolgu Kaynağında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar ve Dolgu Seçimi

Sert dolgu kaynağında aşağıda belirttiğimiz hususlar dikkate alınmalıdır [44,47,61].

- Kaynak yapacağımız ana metal malzemenin kimyasal bileşimi bilinmelidir. Hangi tür çelik olduğu öğrenilmelidir.
- Hangi aşınma türüne göre kaynak yapacağımıza karar verilmelidir.
- Malzemeye ve çalışma ortamına en uygun kaynak yöntemi seçilmelidir. Maliyetler göz ardı edilmemelidir.
- İstediğimiz aşınma direncine göre alaşım seçilmelidir.
- Yüksek aşınma direnci isteniyorsa sert dolgu alaşımı seçilmeli fakat kaynak dolgu setliği ve malzeme alaşımı göz önünde bulundurulmalıdır. En sert dolgu en iyi aşınma mukavemetini sağlamayabilir.
- Tampon tabaka yapılacaksa bu tabakanın kimyasal bileşimi ana metalin bileşimine uygun alaşımlardan olmalıdır.
- Sert kaynak dolgusu yumuşak malzeme üzerine çekilmelidir. Daha sert ve kırılgan kaynak dolgusu üzerine tok bir alaşım malzemesinden kaynak yapılmamalıdır. Yoksa zamanla en üste çektiğimiz katman parçalanıp dökülebilir.
- Aynı sertliğe sahip olan üst üste iki paso olarak kaynak yapılmış kaynak dolgusu tek bir paso olarak uygulanmış daha sert kaynak dolgusuna göre aşınmaya daha dayanıklıdır. Örnek olarak 50 HRc sertliğinde iki paso ile çekilen kaynak dolgusu 60 HRc sertliğindeki tek pasoda çekilen kaynak dolgusundan aşınmaya karşı daha mukavimdir.
- Kaynak dolgu elektrotlarının katalog değerlerine, hangi akım türü ve şiddetinde kaç paso olarak uygulanacağına dikkat edilmelidir.

- Dolgu sertliğimiz ne kadar yüksekse dolgu kalınlığımız o nispetle incedir. İnce kesitli malzemelerde geçerli olmamakla birlikte paso sayısı artarsa dolgu sertliği düşer. Tablo 3 de gösterilmiştir.

Tablo 3. Yapılan paso sayısına göre dolgu sertliği (61)

Dolgu sertliği (HRc)	Tabaka Sayısı
62-70	1
55-62	2
50-55	3
40-50	5
20-40	daha çok

- Uygulama sonrasında darbe dayanımı istiyorsak karbür miktarı arttıkça darbe dayanımının azaldığını unutmamalıyız.
- Uygulama sonrasında aşınma mukavemeti ve korozyona dayanım isteniyorsa nikel ve kobalt bazlı malzemeler kullanılabilir.
- Uygulamamızda demir bazlı sert dolgu alaşımları kullanıyorsak sonrasında oksidasyon ve korozyona uğrayabileceğini bilmemiz gerekmektedir.
- Uygulama sonrasında yüksek sıcaklıklara dayanım istiyorsak bileşiminde tungsten ve molibden oranı yüksek dolgu malzemesi seçimi yapmalıyız.

2.3.6. Sert Dolgu Kaynağında Kullanılan Dolgu Malzemeleri

Sert dolgu kayağında kullanılan dolgu malzemeleri alaşımlar, karbürler ve bunların belirli oranda karıştırılmasıyla oluşan bileşimlerdir. Çelikler, düşük alaşımlı demirler, içerdiği krom oranı fazla olan demir karbürler, yüksek alaşımlı ana metali demir olan malzemeler, karbürler, nikel ve kobalt alaşımlarıdır. Ağırlık olarak nikel ve kobalt kullanılsa da nadiren bakır bazlı alaşımlarında kullanıldığı görülmektedir. Sert dolgu kaynağında kullanılan malzemelerin %90 ı demir bazlı alaşımlardır [6,38].

Sert dolgu alaşımları demir, nikel ve kobalt bazlı alaşım matrislerinin içine borür ve karbür gibi sert çökelti fazlarının eklenmesiyle oluşturulur. Demir ve kobalt bazlı sert dolgu alaşımlarında matrisin içindeki sert faz karbürdür. Nikel esaslılarda ise karbürle beraber borür de bulunaktadır. Bu alaşımlarda karbon miktarı % 4 ler seviyesindedir.

Karbonla birlikte bor da uygulamada alaşım içinde bulunuyorsa karbon ve bor toplamı % 5 ler seviyesindedir. Bir genelleme yapmak gerekirse demir bazlı alaşımların %35 i krom , %30 u Molibden ve %13 volfram, silisyum ve mangan dır. Sert dolgu alaşımlarında demir bazlı alaşımları kendi başına inceleyeceğiz. Bununla birlikte sert dolgu kaynağında kullanılan alaşımları kullanım yerlerine göre aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

1. Dolgu malzemesi olarak kullanılan alaşımlar
2. Metal-Metal (adhezyon) aşınmalarına karşı kullanılan alaşımlar
3. Metal-Toprak (abrazyon) aşınmalarına karşı kullanılan alaşımlar
4. Yüksek düzeyde aşınmanın görüldüğü yerlerde kullanılan tungsten karbürler
5. Demir dışı alaşımlar

2.3.6.1. Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılan Alaşımlar

Dolgu malzemesi olarak kullanılan sert dolgu alaşımları düşük alaşımlı perlitik çelikler ve yüksek alaşımlı östenitik manganlı çeliklerden oluşur. Aşınmış parçalar eski haline getirmek ve bundan sonra yapılabilecek diğer kaplamalarla ana metal arasında tampon bölge oluşturmak için yapılırlar. Aşınma problemini ortadan kaldırmak için uygulanmazlar. Dolguda kullandığımız östenitik manganlı çelikler şayet çalışma ortamında düşük aşınma riski varsa aşınmaya karşıda malzemeyi daha mukavim hale getirmek için kullanılabilirler. Demiryollarının rayları, kalın kesitli yavaş çalışan dişli çarklar ve çelik paletler kullanım alanlarında birkaçına örnektir [44].

2.3.6.2 Metal-Metal (adhezyon) Aşınmalarına Karşı Kullanılan Alaşımlar

Metal-Metal (adhezyon) aşınmalarına karşı kullanılan sert dolgu alaşımları martenzitik ledeburik soğuk iş takım çeliklerdir. Martenzitin çok sert bir yapı olması nedeniyle bu kaplamada kullanılan malzemeler endüstride sert yüzey kaplama alaşımları olarak adlandırılırlar. Vinçlerin tekerleklerinde, boru bükme makinalarının çelik merdanelerinde ve iş makineleri kullanım yerlerinin bir kaçına örnektir [44,47].

2.3.6.3 Metal-Toprak (abrazyon) Aşınmalarına Karşı Kullanılan Alaşımlar

Metal-Toprak (abrazyon) aşınmalarına karşı kullanılan sert dolgu alaşımları içeriğinde yüksek oranda krom barındıran beyaz dökme demirlerdir. Katılaşma sırasında krom

karbür oluşur. Bu alaşımlar kullanım yeri itibariyle sürtünme ve kazımaya karşı mukavemetlidirler. Kepçe ve ekskavatör tırnaklarında, kaya kırıcıların çenelerinde, sondaj makinalarının elmas uçlarında kullanılabilirler. Metal toprak teması sonucu oluşan tüm aşınmalarda kullanılabilirler [44].

2.3.6.4 Yüksek düzeyde Aşınmanın Görüldüğü Yerlerde Kullanılan Tungsten Karbürler

Yüksek düzeyde aşınmanın görüldüğü yerlerde kullanılan tungsten karbür alaşımları malzemede çok set bir yüzey istediğimiz zaman kullanılır. Malzeme ayrıca yüksek kesme kuvvetlerine maruz kalıyorsa yine bu çeşit sert dolgu alaşımları tercih edilir. Kesici takımlar, delgi ve matkap uçları uygulama alanlarına örnektir.

2.3.6.5 Demir dışı alaşımlar

Demir bazlı sert dolgu alaşımları korozif ve aşınma mukavemeti istenilen yerde tercih edilmezler. Demir dışı sert dolgu alaşımları demir bazlı sert dolgu alaşımlarının kullanılamadığı çalışma ortamlarında kullanılabilmektedir. Demir bazlı sert dolgu alaşımlarının bileşiminde nikel ve kobalt bulunur. Bundan dolayı aşınma mukavemetleri yüksektir. Demir dışı sert dolgu alaşımları üçe ayrılır.[44,47]

1.Nikel bazlı sert dolgu alaşımları

2.Kobalt bazlı sert dolgu alaşımları

3.Bakır bazlı sert dolgu alaşımları

2.3.6.5.1 Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşımları

Kobalt bazlı sert dolgu alaşımları yüksek maliyetlidir. Yüksek maliyeti düşürmek için nikel bazlı sert dolgu alaşımları seçilebilir. Yüksek sıcaklıklarda kullanılan malzemeler için uygulanabilir [48]. Nikel bazlı sert dolgu alaşımları üçe ayrılır:

a) Bor içerikli nikel bazlı sert dolgu alaşımları.

b) Karbür içerikli nikel bazlı sert dolgu alaşımları.

c) Laves fazlı nikel bazlı sert dolgu alaşımları

En çok bilinen nikel bazlı sert dolgu alaşımlarının bileşimleri tablo 4 te gösterilmiştir.

Tablo 4. En çok bilinen nikel bazlı sert dolgu alaşımlarının bileşimleri [47].

	Bileşim, % ağ.								
Alaşım	Fe	Cr	Mo	W	Si	C	B	Co	Ni
Borür içerikli alaşımlar									
Alaşım 40	1.5	7.5	.....	.....	3.5	0.3	1.5	.....	kalan
ERNiCr-B	3	11	.....	.....	4	0.5	2.5	.....	kalan
ERNiCr-C	4	16	.....	.....	4	0.7	3.5	.....	kalan
Karbür içerikli alaşımlar									
Alaşım N-6	3	29	5.5	2	1.5	1.1	0.6	3	kalan
Alaşım 716	kalan	26	3	3.5	1.5	1.1	0.5	11	23
Laves fazlı alaşımlar									
T-700	....	16	33	....	3.5	.....	.....	.....	kalan

2.3.6.5.1.1. Bor İçerikli Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşımları

İçeriğinde bor, silisyum, karbon, krom ve nikel bulunmaktadır. Yapılarında %1.5-%3.5 arasında bulunmaktadır. Krom oranı yükseldikçe bor oranı yükselir bunun sonucunda 1800 Hv sertliğinde krom-bor alaşımları meydana gelir. Bileşimin içindeki elementlerin oranları alaşımın özelliğini belirler. Yapılan kaynak sonrası katılaşma sırasında oluşan fazı nikel, krom, karbon ve bor oluşturur. Oluşan ilk sert faz bor, ikinci sert faz karbon içeriklidir.

Matrisin kafes yapısında borun yanında mekanik özellikleri etkileyen diğer bir element silisyumdur. Bor ile beraber sünekliği artırır, mekanik özellikleri iyileştirir, çökelti oluşumuna yardımcı olur.

Bor içerikli nikel bazlı sert dolgu alaşımları karbürle birlikte abrasiv aşınma direncini artırırlar. Bor ve karbürün yapı içerisinde artırılmasıyla aşınma direncinde artış sağlanır. Korozyon dirençleri düşük, aşınma dirençleri normal seviyededir.

2.3.6.5.1.2. Karbür İçerikli Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşımları

Kobalt içerikli sert dolgu alaşımlarından daha ucuz olması kaynaklı tercih sebebidirler. Radyoaktif özelliklerinden dolayı nükleer enerji sektöründe kullanılabilirler.

2.3.6.5.1.3.Laves Fazlı Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşımları

Laves fazı içeren nikel bazlı sert dolgu alaşımının bileşimi Ni-33Mo-16Cr-3.5Si ile ifade edilir. Adhezyon aşınmasına karşı dayanımı iyi, darbe direnci düşük, abrasiv aşınmaya karşı dayanımı normal seviyededir.

2.3.6.5.2 Kobalt Bazlı Sert Dolgu Alaşımları

Kobalt bazlı sert dolgu alaşımları karbür içerikli ve laves fazlı olarak ikiye ayrılırlar. Çalışma ortamında abrasyon dayanımı, korozyon mukavemeti ve oksidiyona karşı koruma istendiğinde kobalt bazlı sert dolgu alaşımları kullanılabilirler. Bu tür alaşımlar ayrıca çalışma ortamının yüksek sıcaklık olduğu yerlerde tercih edilirler.

En çok bilinen kobalt bazlı sert dolgu alaşımlarının bileşimleri tablo 5 te, özellikleri ise tablo 6 da gösterilmiştir.

Tablo 5. En çok bilinen kobalt bazlı sert dolgu alaşımlarının bileşimleri [47].

Alaşımlar	Bileşim, % ağ.					
	Cr	Mo	W	Si	C	Co
Karbür İçerikli Alaşımlar						
ERCoCr-A	28	-	5	-	1.2	kalan
ERCoCr-B	29	-	8	-	1.5	kalan
ERCoCr-C	31	-	13	-	2.5	kalan
ERCoCr-E	27	-	6	-	0.2	kalan
Laves Fazlı Alaşımlar						
T-400	9	18	-	2.5	-	kalan
T-800	18	29	-	3.5	-	kalan

Tablo 6. En çok bilinen kobalt bazlı sert dolgu alaşımlarının özellikleri [47].

Özellik	Alaşım 21(a)	RCoCrA	RCoCrB	RCoCrC	Tribaloy T-800
Yoğunluk, g/cm³	8.3	8.3	8.6	8.6	8.6
En büyük çekme muk, Mpa	1295	1515	1765	1930	1780
En büyük basma direnci, Mpa	710	834	827	620	-
Uzama, %	8	1.2	1	1	-
Termal Yayılma katsayısı	14.8×10^{-6}	15.7×10^{-6}	14×10^{-6}	13.1×10^{-6}	12.3×10^{-6}
Sıcak sertlik, DPH					
445 °C	150	300	345	510	659
540 °C	145	275	325	465	622
650 °C	135	260	285	390	490
760 °C	115	185	245	230	308
Aşınma					
Yağsız kayma aşınması (b),mm³					
670 N	5.2	2.6	2.4	0.6	1.7
1330 N	14.5	18.8	18.4	0.8	2.1
Abrasiv Aşınma (c),mm³					
Oksi-Gaz	-	29	12	8	-
TIG	86	64	57	52	24
Çentiksiz Charph darbe muk, J	37	23	5	5	1.4
Korozyon direnci(d)					
65 °C'de %65 nitrik asit	U	U	U	U	S
65 °C'de %5 sülfirik asit	E	E	E	E	-
400 °C'de %50 fosforik asit	U	E	E	E	E
(a)	Co-27Cr-5Mo-2.8Ni-0.2C				
(b)	Aşınma değişik yüklerde uygulanan 2000 devir için 80 dev/dak'da 4620 çelik yüzüğe karşı Dow-Corning LWF-1 de yapılan testlerden ölçülmüştür				
(c)	Aşınma kuru kum kauçuk tekerlek abrazyon testlerinden ölçülmüştür.Americanfaundrymen's Society kum testi ve 230 mmm çapında kauçuk tekerlek kullaılarak 135 N yük altında 2000 devir için test edilmiştir.				
(d)	E, 2 mil/yıl dan daha az ; U,50 mil/yıl dan daha ; S, 20 mil/yıl dan az				

2.3.6.5.2.1 Kobalt Bazlı Karbür içerikli Sert Dolgu Alaşımları

Kobalt bazlı karbür içerikli sert dolgu alaşımları biyomedikal sektöründe implant üretiminde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bileşimindeki karbon oranına göre değişim göstermektedirler.

2.3.6.5.2.2 Kobalt Bazlı Laves Fazı İçeren Sert Dolgu Alaşımları

Hücre yapısı topolojik sıkı paket(TSP) yapıdadır. Laves fazı mekanik özellikler üzerinde olumsuz etkilerinden dolayı istenmeyen bir fazdır. Buna karşın malzemenin aşınma direncini artırdığı için kullanılmaktadır. Tablo 5 te görüldüğü üzere T-400 ve T-800 olarak iki tür laves fazı vardır ve alaşımın yarısını oluştururlar. Alaşım kobalt bazlıdır, bağlayıcı element C ve Mo dir. Abrasiv aşınma dayanımını artırıp süneklik ve kırılganlığı düşürür. Çatlama hassasiyetinden dolayı termal püskürtme yöntemi daha fazla kullanılır. Tablo 7 de demir dışı yüzey kaplama alaşımlarının abrasiv aşınma karşısında hacim kayıpları aşınma dirençlerine bağlı olarak gösterilmiştir.

Tablo 7. ASTM G 65 Düşük gerilmeli abrasiv aşınma testi ile demir dışı kaplamaların aşınma dirençleri [47].



- Kobalt 6 (AWS A 5.13 R CoCr-A) : Kobalt bazlı sert dolgu alaşımlarının içinde en fazla Kobalt 6 tercih edilir. Kobalt-krom-tungsten matrisine krom-karbür eklenmesi sonucunda oluşturulur. Sıcaklığın çok yüksek olduğu ortamlarda, korozyon direnci istenen malzemelerde ve adhezyon dayanımının istendiği yerlerde kullanılır.
- Kobalt 12 (AWS RCoCr-B) : Yapısı kobalt 6 ya yakındır. Bileşimindeki karbür oranı kobalt 6 dan yüksektir. Daha serttir. Aşınma dayanımı daha yüksektir.(abrazyon, adhezyon) Darbe dayanımı daha az ve korozif ortamlara daha dayanıksızdır.
- Kobalt 1: (AWS A 5.13 R CoCr-C) : Karbür oranı kobalt 6 ve kobalt 12'den daha yüksektir. Sertlik ve aşınma dayanımı yüksek, korozyon direnci ve darbe direnci daha düşüktür. Kaynak yapıldıktan sonra soğutulurken çatlayabilir. Çatlamayı engelleyebilmek tavlama yapılır ve bir pasodan diğerine geçerken malzemenin çok ısınmamasına dikkat edilmelidir.
- Kobalt 21 (AWS A 5.13 R CoCr-E) : Bileşimindeki karbür oranı daha düşüktür. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve sünektir. Çalışma esnasında daha da sertleşir. Malzeme termal şoklara maruz kalıyorsa, oksidasyon ve erozyona uğruyorsa bunlara dayanıklı olduğu için tercih edilir.

2.3.6.5.3. Bakır Bazlı Sert Dolgu Alaşımları

Bakır esaslı sert dolgu alaşımları nispeten düşük sıcaklıklarda kullanılır. (≤200 ºC) [47].Daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığında malzemenin mekanik özellikleri kötüleştiği için az tercih edilirler.

2.3.6.6. Demir Bazlı Sert Dolgu Alaşımları

Demir bazlı sert dolgu alaşımları kullanımın büyük çoğunluğunu oluşturur. Maliyetleri diğer alaşım türlerine göre daha ekonomiktir. Demir bazlı sert dolgu alaşımlarını üçe ayırabiliriz [69,70].

2.3.6.6.1. Östenitik Sert Dolgu Alaşımları

Östenit fazı gama demir (ϒ –Fe) olarak ta bilinir. 912 ºC- 1394 ºC arasındaki yüzey merkezli kübik fazın adıdır. Östenitik çelikler yapısında % 13-20 Mangan ve % 0.5-1.5 karbon ihtiva ediyorsa östenitik manganlı çelikler olarak isimlendirilir. Kaynak sonrası düzgün yüzey istenen parçalarda ve östenitik manganlı çeliğe yapacağımız

dolgu malzemesi karbürlü bir dolgu malzemesiyse tampon tabakası olarak kullanılırlar. Bileşiminde karbon ihtiva eden düşük alaşımlı çeliklerde kaynak sonrası özelliklerini koruduğu için tercih edilirler. Bundan dolayı bileşiminde karbon ihtiva eden düşük alaşımlı çeliklerin, yapısında mangan bulunan çeliklerle birleştirilmelerinde kullanılırlar. Malzememiz östenitik manganlı çelikse ve bu malzemede sert dolgu ihtiyacımız varsa kaynak sonrası gösterdiği yüksek özellikler nedeniyle tercih edilirler. Kaynak sonrası daha da sertleşirler, darbe dirençleri yüksek, abrasyon dirençleri normaldir. Tok bir malzemedir ve çatlamaya dayanıklıdır. Tok olduğu için darbe dirençleri yüksektir. Çalışma esnasında malzeme sıcaklığı 260ºC'yi geçerse çatlama dayanımı azalır ve gevrekleşir [71].

2.3.6.6.2. Martenzitik Sert Dolgu Alaşımları

Darbe ve abrazyon direnci normal adhezyon sürtünme direnci yüksektir. Katılaşma sırasında çeliği hızlıca soğutursak martenzit fazı oluşur. Havada sertleşen martenzitik alaşımlarda işlem sonrası soğuma hızı sertlik için önemlidir.

Bileşimindeki karbon ve alaşım oranı düşük martenzitik sert dolgu alaşımları çeliklerin sert dolgusunda tercih edilen ürünlerdir. Sert dolgu kaynağında kullanılma nedeni tokluğunun ve adhezyona karşı mukavemetli olmaları neticesindendir. Kaynak yapacağımız malzemenin sertliği yüksekse asıl dolgu ile arasında tampon bölgesi olarak kullanılabilirler.

Bileşimindeki karbon ve alaşım oranı yüksek olan martenzitik sert dolgu alaşımlarının dolgu yapılmasından sonra sertliği bunların paralelinde yüksek olmaktadır. (alaşım oranı % 6-12) Sertliğin yükselmesi adhezyon ve abrasyon direncini artırır, tokluğu ise zayıflatır.

Malzememiz martenzitik paslanmaz çelik ise termal şok direnci yüksektir. (C oranı ≤ %0.25, alaşım elementi %18) Adhezyon ve korozyon dirençleri normal seviyededir. Bileşimdeki krom ve karbon oranının ayarlanmasıyla abrasyon, adhezyon ve darbe dirençleri yükselir. Malzememiz östenitikse kullanılmaz, birleştirme kaynaklarında tercih edilmezler [71].

2.3.6.6.3. Karbürlü Sert Dolgu Alaşımları

Abrazyon direnci çok yüksek seviyede, termal şok dayanımı iyi seviyede, korozyon dayanımı orta seviyede, darbe direnci ise düşük seviyededir. İçine katıldığı matris yapıdan çok daha sert oldukları için abrasyon dirençleri çok iyidir.

Abrazyon direnci ve darbe dayanımı istiyorsak bileşimdeki karbon oranı C≤3 olmalıdır. Bileşimdeki karbür oranı yüksekse soğuma esnasında çatlak oluşabileceği için iki metalin birbiri ile kaynaştırılması için kullanılmaz [71].

2.4 Sert Dolgu Malzemelerinin Sınıflandırılması

Sert dolgu kaynak malzemelerinin sınıflandırılmış olduğu DIN 855, AWS ve TS 9470 standartlarına göre açıklamaları aşağıda detaylı olarak verilmiştir [72].

2.4.1 DIN 855 Standartlına Göre Sınıflandırması

2.4.1.1 Demir Bazlı Sert Dolgu Kaynak Malzemeleri

2.4.1.1.1 Alaşım Grubu 1

Bileşimlerindeki karbon oranı ≤ % 0,4 olan alaşım sız veya hafif alaşımlı, Cr, Mn, Mo, Ni elementlerinin oranlarının ≤ %5 olduğu alaşım grubudur. Kaynak yapacağımız malzeme alaşım sız çelik ise ve dolguda beklentimiz yoksa bu alaşım grubu kullanılır. Aşınan parçayı eski ölçülerine getirmek istediğimizde kullanılabilir. Demir yolu raylarında, her türlü tarım makinelerinde, tamir ve tampon tabaka kaynaklarında kullanılabilirler.

2.4.1.1.2 Alaşım Grubu 2

Bileşimlerindeki karbon oranı ≥ % 0,4 olan alaşım sız veya hafif alaşımlı, Cr, Mn, Mo, Ni elementlerinin oranlarının ≤ %5 olduğu alaşım grubudur. İçeriğindeki karbür oranının alaşım grubu 1 den daha yüksek olması nedeniyle aşınma dayanımı daha yüksektir. Malzemenin kaynak öncesi 250-350 °C'ye kadar ısıtılması gerekir. Talaş kaldırma ile işleme her zaman mümkün olmaz. Konveyörler, fanlar, tekerlekler kullanım alanlarına örnektir.

2.4.1.1.3 Alaşım Grubu 3

Kaynak sonrası malzemede istenen sertlik yüksekse alaşım grubu 3 kullanılabilir. Alaşım içeriğinde W, Cr, Mo, Ni, Co ve V içerebilir. Sert dolgu sonrasında kazanılan sertlik malzemenin 500 °C'nin altında çalıştığı sıcaklıklara kadar kendini korur. Kaynak sonrası yüzeyde çatlama olmaması için malzeme ısıtılır ve kaynaktan sonra soğumanın yavaş olması istenir. Sıcak iş takımlarında, kesici bıçak ve kalıpların dolgusu kullanım alanlarına örnektir.

2.4.1.1.4 Alaşım Grubu 4

Alaşım içeriğinde W, Mo, Cr, V, Co ihtiva eder. Malzemede kaynak sonrası işleme olacaksa hafif tavlama yapılabilir. Kaynak sonrası sertlik ve mukavemette iyileşme istenirse kaynak bölgesine bir iki kez tavlama yapılabilir. Her türlü kesici takımlarda kullanılabilir.

2.4.1.1.5 Alaşım Grubu 5

Bileşimlerindeki karbon oranı ≤ % 0,2, krom oranının ≥ %5 (%5-30) olduğu alaşım grubudur. Dolgu malzemesi içindeki martenzit miktarı arttıkça kaplamanın sertliği de artar. Uygulanacağı malzemeler kimyasal bileşimi kendisine yakın olan çelikleri olmalıdır. Vanalar, pistonlar kullanım yerine örnektir.

2.4.1.1.6 Alaşım Grubu 6

Bileşimlerindeki karbon oranı (% 0,2-2,0) % 5'ten fazla Cr ve yüksek C'lu (takriben % 0,2 ilâ % 2,0) alaşımlardır. Karbon oranının yüksekliği ve paslanma direncinin daha düşük olması nedeni ile alaşım grubu 5 ten ayrışır. Bu alaşım grubu grup 5'e benzemektedir. Kaynak öncesi ön ısıtma yapılabilir. Kesici takımlarda kullanılabilir.

2.4.1.1.7 Alaşım Grubu 7

Bileşimlerindeki karbon oranı ≥ % 0,5, Ni oranı ≤ 3 olan, Mn ve Mn-östenit oranının % 11-18 arası olduğu alaşımlardır. Çalışma şartlarında baskı altında mukavemet artışı gösterir. Mukavemet artışıyla sertliği 180 HB den 550 HB ye çıkar. Darbeye maruz kalan parçalarda tercih edilir. Aşınmaya karşı çok fazla tercih edilmez. Kaynak yapılan malzeme ne kadar soğuk olursa kaynak sonrası mukavemet o derece iyi olur. Aşınma plakalarında, iş makinalarının tırnaklarında, konkasör plakalarında, dolgu yapılan alanın geniş olduğu malzemelerde ve cıvatalar kullanım alanlarından örneklerdir.

2.4.1.1.8 Alaşım Grubu 8

Bileşiminde Cr-Ni-Mn-östenit içerir. Alaşım grubu 8 alaşım grubu 7 den daha mukavemetlidir. Manyetik özelliği yoktur. Oksidasyon karşısında dayanıklıdır. Ön ısıtma yapılmadan kullanılabilir. Alaşım grubu 7 ye göre soğukta daha az sertleşir. Raylar, konkasörler, türbinler kullanım alanlarıdır.

2.4.1.1.9 Alaşım Grubu 9

Bileşimlerinde Cr, Ni ihtiva ederler. Yapıları östenitik yapıdadır ve manyetik özellik göstermez. Kendi bileşimine yakın çeliklerde, kavitasyon sonucu aşınmaya uğramış çeliklerde korozyon direnci isteniyorsa kullanılırlar. Kaynak sonrası malzemenin soğudukça sertliği ve mukavemeti artış gösterir.

2.4.1.1.10 Alaşım Grubu 10

Bileşimlerinde karbon oranı ≤ %35 ve krom oranı %2-5 arasında olan belirli oranda Co, Mo ve W içeren alaşımlardır. Sert dolgu malzemesi östenitik bir yapı içerişinde Cr içeren karbürden oluşur. Bileşimindeki oranı ile sertliği artırılabilir. Dolgu sert bir yapıya sahip olduğu için çatlamaya karşı ön ve son ısıtma yapılabilir. Aşınmaya karşı çok dayanıklı olduğu için iş makinalarının aşınan parçalarının kaynağında ve koruma amaçlı kaynağında kullanılır.

2.4.1.2 Düşük Demirli Sert Dolgu Malzemeleri

2.4.1.2.1 Alaşım Grubu 20

Bileşimi Co esaslı olan sert dolgu kaynak malzemesi Cr-W ile alaşımlandırılan gerekli görülürse Ni ve Mo ilave edilen bir yapıdadır. Co-Cr alaşımlı sert dolgu malzemesi yüksek sıcaklıklarda aşınmaya, korozyona ve oksidasyona daha yüksek dayanım gösterir. Malzeme yüksek sıcaklıklarda kullanılacaksa 600 °C ye kadar sertliğini koruyabildiği için tercih edilir. Sert dolgu malzemecinin C oranı yüksektir, yüksek sertlik, yüksek aşınma mukavemeti isteniyorsa kullanılır. Yüksek sıcaklıklarda bileşimdeki demir oranının yükselmesi sertliği azalttığı için düşük demirlidir. 400-600 °C arasında ön ısıtma sonrasında yavaş soğutma uygulanır. İçten yanmalı motorların supap yatakları, buhar makineleri, pompa krankları kullanım yerlerine örnektir.

2.4.1.2.2 Alaşım Grubu 21

Bileşimi karbür esaslıdır. Cr veya W karbürlerinin oranı dolgu malzemesinin bileşiminde yüksektir. Aşınma dayanımı çok yüksek seviyededir. Bileşiminde bulunan karbür oranı ile aşınma dayanımı ayarlanır. Ön ısıtma uygulanır. Kaya kırıcı makinelerde, delik makinelerinde kullanılabilir.

2.4.1.2.3 Alaşım Grubu 22

Bileşimleri Ni esaslı, Cr ve Cr-B ile alaşımlamdırılan sert dolgu kaynak malzemeleridir. Aşınma dayanımları yüksek, korozyona karşı mukavim ve yüksek

çalışma sıcaklıklarında sertliği iyidir. C, Cr ve B oranlarındaki artış sertliği de artırır. Sertlik ≥ 30 HRC dir. Sert dolgu kaynak malzemesi 500 °C üzerindeki sıcaklıklarda tercih edilmez. Ön ısıtma yapılması gerekir. Pompa valflerinde, salyangoz vidalarında, krank millerinin kaynaklarında kullanılırlar.

2.4.1.2.4 Alaşım Grubu 23

Bileşimi Ni esaslı, Mo ile alaşımlandırılan sert dolgu malzemesi içeriğinde Cr bulunup bulunmamasına göre ayrılır. Yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Malzeme 500 °C nin yüksek sertlik ve mukavemet gösterir. Hidroklorik ve sülfürik asitlerle yüksek sıcaklık ve basınçta çalıştığı ortamlarda bile korozyona dayanıklıdır. İçeriğinde Cr bulunan sert dolgu alaşımı yüksek sıcaklıklara daha dayanıklıdır. Ön ısıtma isteyebilir. Kimya sektörü çalışma alanlarına örnektir.

2.4.1.3 İçeriğinde Demir İhtiva Etmeyen Sert Dolgu Malzemeleri

2.4.1.3.1 Alaşım Grubu 30

Bileşiminde Sn oranı% 6-12 arasında, % 0,5 P içeren Cu esaslı alaşımlardır. Sertlikleri 60-130 HB arasındadır. Asit ve tuza dayanıklı olup kayma aşınması karşısında çok yüksek dayanım gösterirler.

2.4.1.3.2 Alaşım Grubu 31

Bileşiminde Al oranı % 5-15 olan, Ni, Mn ve Si içeren Cu esaslı alaşım türüdür. Kimyasal dayanımları yüksektir. 60-100 kp/mm2 arası brinell sertliğine sahiptir. Bileşime ≤ % 5 Ni ilave ettiğimizde brinell sertliği 250 kp/mm2 çıkar, erozyon ve kavitasyona dayanıklı hale gelir. Bileşime ≤ % 15 Mn ilavesiyle 250 kp/mm2 sertliğe ulaşılır, titreşim ve erozyona dayanıklı hale gelir. Bileşime yüksek oranda Mn ilave edersek elektrik direnci artar. Kimya, gıda, elektrik endüstrisi kullanım yerlerine örnektir.

2.4.1.3.3 Alaşım Grubu 32

Bileşiminde % 5-45 oranında Ni bulunan Mn oranı ≤ % 3,5 olan Cu esaslı alaşım grubudur. Deniz suyuna ve korozyona dayanıklıdır.

2.4.2. AWS Standartlarına Göre Sınıflandırması

Burada sert dolgu kaynağı malzemeleri beş ana gruba ayrılır. Ana gruplar da kendi alt dallarına ayrılır.

Grup 1 sert dolgu kaynak malzemeleri düşük ve orta karbonlu çeliklere göre darbe mukavemeti en yüksek alaşım grubudur. Genellikle dolgu malzemesi olarak tercih edilir.

Grup 2 sert dolgu kaynak malzemeleri birinci gruba göre aşınma mukavemeti daha yüksek fakat darbe dayanımı daha düşüktür. Grubun içinde darbe dayanımı daha yüksek olan gruplar bulunmaktadır.

Grup 3 sert dolgu kaynak malzemeleri aşınmaya daha dayanıklıdır. Korozyon dayanımı vardır. Yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir

Grup 4 sert dolgu kaynak malzemelerinden kobalt bazlı olanlar yüksek sıcaklığa dayanıklı, abrazyon, korozyon ve erozyon dayanımı yüksek, darbe direnci yüksek, oksitlenmeye dayanıklı olan alaşımlardır. Nikel bazlı olanlar aşınma ve korozyonun aynı anda olduğu malzemelerde verimlidir ve kullanılırlar. Adhezyon dayanımları daha yüksektir.

Grup 5 sert dolgu kaynak malzemeleri yataklarda kullanılırlar [72].

2.4.3 TS 9470 Standartlına Göre Sınıflandırması

Sert dolgu malzemelerinin alaşım gruplarının kimyasal bileşimi tablo 8 de verilmiştir. Bunların kod numaraları ise tablo 9 da verilmiştir. Sertlikleri ise tablo 10 da verilmiştir.

Tablo 8.Sert dolgu malzemelerinin alaşım gruplarının kimyasal bileşimi [73].

Alaşım Grubu	Kimyasal Bileşim (% Kütle)									
	C	Co	Cr	Fe	Mn	Mo	Ni	W	V	
1	< 0,4	-	0-3	Geri Kalanı	0,5-3	0-1	0-3	-	-	-
2	> 0,4	-	0-5		0,5-3	0-1	0-3	-	-	-
3	0,2-0,5	-	1-5		-	0-4	0-5	1-10	0,15-1,5	-
4	0,6-1,5	0-15	4-6		-	0-10	-	1,5-18	0-3	-
5	En çok 0.2	-	5-30		-	0-2	0-5	-	-	-
6	0,2-2,0	-	5-18		-	0-2	-	-	-	-
7	0,5-1,2	-	0-3		11-18	(Mo)[1)]	0-3	-	-	-
8	En Çok 0.25	-	18-20		5-8	(Mo)[1)]	5-9	-	-	-
9	En Çok 0,3	-	13-30			0-5	8-25			Nb/Ta 0-1,5
10	1,5-5	0-5	27-35		0-8	0-3	-	0-5	-	-
20	0,7-3	30-70	25-33		-	0-3	0-3	3-25	-	-
21			Cr-Karbür 0-80	Bağlayıcılar Fe, Mo, Co,Ni				W-karbür 0-80		(Ti-karbür)[1)]
22	En Çok 1	1-1,5	8-18	-	-	-	65-85	(W)1)	-	B 0.5
23	En Çok 0.12	0-2,5	0-18	4-7	-	8-35	Geri Kalanı	0-20	0,2-0.6	
1) Grup özelliklerini değiştirmeyen ilaveler										

Alaşım Grubu	Kimyasal Bileşim (% Kütle)									
	Sn	Al	Fe	Ni	Si	Mn	Cu			
30	6-12				-	-	Geri Kalanı	-	-	-
31	-	5-15	0-6	(Ni)[2)]	(Si)[2)]	(Mn)[2)]		-	-	-
32	-	-	(Fe)[1)]	5-45	-	(Mn)[1)]		-	-	-

Tablo 9. Sert dolgu malzemelerinin alaşım gruplarının kod numaraları [73].

Alaşım grubu	Kaynak Metali veya Dolgu Metali Tipi
1	% 0,4 C'lu alaşimsiz veya % 0,4 C'lu toplam % 5'e kadar alaşım elementleri (Cr, Mn, Mo, ve Ni) ihtiva eden az alaşımlı çelikler.
2	% 0,4'den fazla C'lu alaşırasız veya % 0,4 C'den fazla C'lu, toplam % 5'e kadar alaşım elementleri (Cr, Mn, Mo, ve Ni) ihtiva eden az alaşımlı çelikler.
3	Sıcak işleme özelliğine sahip alaşımlı çelikler
4	Yüksek hız özelliğine sahip alaşımlı çelikler
5	% 5'den fazla Cr'la alaşımlandırılmış, düşük C'lu (Yaklaşık % 0,2'ye kadar) çelikler
6	% 5'den fazla Cr'la alaşımlandırılmış, daha yüksek C'lu (yaklaşık %0,2-%2,0 kadar) çelikler
7	% 11 - % 18 Mn % O,5'den fazla C ve % 3'e kadar Ni ihtiva eden Mn-Ostenitik çelikleri
8	Cr-Ni-Mn östenitik çelikleri
9	Cr-Ni çelikleri (paslanmaya asitlere ve ısıya dayanıklı)
10	Karbür yapıcı malzeme ilavesi olmaksızın yüksek C ve yüksek Cr'lu çelikler
20	Co esaslı Ni ve Mo ihtiva ederek veya etmeden Cr-W alaşımlı
21	Karbür esaslı (sinterlenmiş, döküm veya özlü)
22	Ni esaslı, Cr, Cr-B alaşımlı
23	Ni esaslı, Cr'lu veya Cr'suz Mo alaşımlı
30	Cu esaslı, Sn alaşımlı
31	Cu esaslı, Al alaşımlı
32	Cu esaslı, Ni alaşımlı

Tablo 10. Sert dolgu malzemelerinin alaşım gruplarının sertlikleri [73].

Sertlik Sembolü	Sertlik Aralığı
150	125'den175dahilBSD
200	175'den225dahilBSD
250	225'den275dahilBSD
300	275'den325dahilBSD
350	325'den375dahilBSD
400	375'den450dahilBSD
40	37'den42dahilRSD-C
45	42'den47dahilRSD-C
50	47'den52dahilRSD-C
55	52'den57dahilRSD-C
60	57'den62dahilRSD-C
65	62'den67dahilRSD-C
70	67'denfazla RSD-C
*) On ölçümün ortalama değeri	

2.6.Termal Şok

Malzemeler bulunduğu ortamlarda ani sıcaklık değişimlerine uğradıklarında malzeme içerisinde gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan gerilmelere rağmen kırılmaya direnç gösterir ve bu "termal dayanım, termal gerilme direnci veya termal şok direnci" şeklinde tanımlanır. Yapıları birbirinden farklı olan malzemelerde ortaya çıkan ısıl gerilmeler gerilme seviyesinin haricinde, malzemelerin yapısal özelliklerine, malzemelerin gerilme dağılımına ve gerilmelerin sürekli olmasına, sünekliğine, homojenizasyonuna, gözenekliliğine ve içerisinde bulunan çatlaklara bağlıdır [74].

Ani sıcaklık değişimleri karşısında ortaya çıkan iç gerilmeler sıcaklığın düştüğü durumlarda pozitif yöndedir (basma yönünde). Malzemenin sıcaklığının arttığı durumlarda ise gerilmeler negatif yöndedir (çekme yönünde). Ostenitik paslanmaz çeliklerin ısı iletim katsayısının küçük olması ve ısıl genleşme katsayısının büyük olması nedeniyle bu tür çelikler termal yorulma karşısında hassastır.

2.6.1.Termal Şok Parametreleri

2.6.1.1.Dayanım

Malzemelerin çekme dayanımının yüksek olması ortaya çıkan gerilmelerde çatlak oluşmaması için gereklidir.

2.6.1.2.Poisson Oranı

Poison oranı, malzemelerin elastiklikleriyle ilgili bir orandır. Çekme gerilimi ortaya çıktığında malzemenin enine kesiti alındığında uzunluğu artarken genişliği azalır. Bu ikisi arasındaki oran poison oranıdır.

2.6.1.3.Elastisite Modülü

Elastisite modülü bir malzemenin kuvvet altında deformasyona karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Malzemenin elastisite modülü düşük ise, sıcaklık farklılığından kaynaklanan gerilimlerle kolaylıkla bükülebilir. Daha soğuk yüzey konkav (iç bükey) olur, bundan dolayı gerilimi azaltır.

Termal şok esnasında malzemenin genleşmesinde meydana gelen değişimler elastiklik sınırını aşmadığında kaplama ile ana malzeme birbirinden farklı elastiklik modülüne sahip olduğu için ana malzeme ile kaplama arasında gerilim farkı ortaya çıkar. Yapılan kaplama ana malzemeden daha rijitse maruz kaldığı gerilim değeri artar, üzerlerine uygulanan kuvvet ve elastisite modülleri arasındaki fark arttığında gerilimin

değerinde daha çok artış olur. Elastiklik modülleri arasındaki farktan dolayı yapılan kaplama daha fazla çekme gerilmesine maruz kalır. Aradaki gerilim farkını azaltmak için yapılan kaplama ve ana malzemenin arasına kademeli geçişi sağlayacak benzer mekanik ve termal özelliklerde tampon kaplama yapılabilir. Ayrıca aradaki fark çok fazla ise kademeli kaplama yapılabilir. Diğer bir yol ise altlık malzemeden en üstteki kaplama tabakasına kadar sürekli formda geçişin sağlandığı bir yan kaplama gerçekleştirmektedir. Yapılan kaynağın kalınlığı azaltıldığında elastiklik modülü farkından kaynaklanan malzemenin uğrayabileceği zarar azalır [75].

2.6.1.4.Termal Genleşme Katsayısı

Malzemeye ısı verdiğimizde boydaki uzama-kısalmanın ısıtmadan önceki malzemenin boyuna oranıdır. Katsayı sıcaklığın artmasıyla artış gösterir, sıcaklık çok yükseldiğinde sabite yakın değer gösterir. Yapılan kaynak sonrasında kaplama ile ana malzemenin termal genleşme katsayıları farklı ise iki tabaka arasında yine gerilim farkı ortaya çıkar. Şayet yapılan kaynak kalınlığı ana malzemeye kıyasla çok ince ise ana malzeme genleştiği zaman tüm yük kaynak tabakasına biner ve oluşan genleşmeye engel olamaz. Ana malzemenin termal genleşme katsayısı yapılan kaynak tabakasının termal genleşme katsayısından fazla ise kaplamada çekme gerilmesi görülür [75].

2.6.1.5.Termal İletkenlik Katsayısı

Termal iletkenlik birim sıcaklık farkı başına birim alanda birim uzunluk boyunca ısı transferinin oranıdır. Malzemenin termal iletkenliği denilince malzeme içinde ısının ne kadar hızlı yayıldığının ifadesidir. Termal iletkenlik değeri yüksekse malzeme ısıyı iyi iletir. Termal iletkenlik değeri düşükse malzemenin ısı iletimi düşük ve yalıtkan olduğunu ifade eder. Malzeme yüzeyinde ısı farkı olmadığında genleşmede değişim ve istenmeyen gerilmeler ortaya çıkmaz. Metallerin iletkenliği ve termal şoka dayanımları yüksektir. Kristal yapı ne kadar karmaşık ise termal iletkenlik o ölçüde düşer [75,76].

2.6.1.6.Isı Kapasitesi

Isı kapasitesi, bir malzemenin sıcaklık değerini 1ºC artırmak için verilmesi gereken ısının değeridir.

2.6.1.7.Kırılma tokluğu

Kırılma tokluğu, malzemede çatlak bulunması halinde malzemenin gevrek kırılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Malzemenin kırılma tokluğu yüksekse darbe direnci yüksek ve daha kolay işlenebilir olduğunu ifade eder. Kırılma tokluğu yüksek olan malzemenin termal şok direnci de yüksektir.

Kaynak sonrası malzeme yüzeyinde oluşan kaplamanın daha uzun süreli dayanımı için çatlak uzunluklarının düşük olması gerekmektedir. Kaplamaların kırılma tokluğunda elastisite modülü ve termal genleşme katsayısı etkiliyken termal iletkenlik değeri etkisizdir. Yapılan kaynağın malzeme yüzeyinde oluşturduğu kaplama kalınlığı yüksek olduğunda ana malzemenin elastisite modülü düşükse kırılma tokluğu da düşüktür [75].

3.BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, örtülü elektrot ark kaynak uygulamasında kullanılan paslanmaz çelik malzemenin özellikleri ve uygulanan kaynak yöntemi hakkında bilgiler bulunmaktadır. Paslanmaz çelik malzemeler ve sert dolgu elektrotları temin edilmiş ardından deney numuneleri hazırlanmıştır. Numunelere yapılan işlemlerde kullanılan cihazların bilgileri, yapılan deneylerin parametreleri, sert dolgu kaynağı yapılması sonrasında oluşan yapının metalografik incelemeleri, termal şok sonrası deney numunelerinin metalografik incelemeleri, sertlik ve mikro sertlik ölçümleri, çekme ve darbe testlerine yönelik analizler alt başlıklar olarak incelenmiştir.

3.1 Materyal

Bu çalışmada endüstride çok sık kullanılan iyi korozyon direncine sahip, tokluğu ve kaynak yapılabilirliği yüksek 316 östenitik paslanmaz çelik (1.4401), Gekatec Cobalt 6 (SFA/AWS A5.13, TS EN 14700:06 E Co Cr A) cobalt bazlı örtülü sert dolgu elektrotu ve Gekatec Cobalt 12 (SFA/AWS A5.13, TS EN 14700:06 E Co Cr B) cobalt bazlı örtülü sert dolgu elektrotları ile örtülü elektrot ark kaynak yöntemiyle kaynak yapılmıştır. Malzemelerin kimyasal kompozisyonları % ağırlık olarak tablo 11'de verilmiştir. Malzemelerin mekanik özelikleri tablo 12 de verilmiştir. Cobalt 6 ve cobalt 12 elektrotun kullanıldığı yerler ve özellikleri şekil 8 de verilmiştir. Cobalt 6 ve Cobalt 12 elektrotunun kimyasal analizi tablo 13 de verilmiştir. Cobalt 6 ve Cobalt 12 elektrotunun mekanik değerleri tablo 14 de verilmiştir. Malzemeler önce kaynatılmıştır. Sonrasında ölçülerine kesilmiş yüzeyleri parlatılmıştır. Parlatma işleri sonrasında termal şok testi uygulanmıştır. Termal şok testi sonrasında numunelere

darbe testi ve üç nokta eğme testi yapılmıştır. Çalışmamızda kullanmış olduğumuz numunelerin kodları ve isimleri tablo 16 da verilmiştir.

Tablo 11. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi [73].

Ana malzemeler ve ilave metal	Kimyasal Analiz Değerleri (% Ağırlık)									
	C	N	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	P	S	Mo
AISI 316	0,08	-	2	1	18–20	8–10,5	-	0,045	0,03	2–3

Tablo 12. Östenitik paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri [73].

316 Paslanmaz Çeliğin Mekanik Özellikleri	
Çekme Mukavemeti (MPa)	490-860
Akma Mukavemeti (Mpa)	205-575
Yüzde Uzama (%)	30-60

Tablo 13. Cobalt 6 ve cobalt 12 kaynak metalinin kimyasal analizi [77].

Kaynak Metalinin Kimyasal Analizi (%)																
Şarj No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Al	Fe	-	-	Co	W
AWS	0,7-1,4	≤2,0	≤2,0	-	-	25,0-32,0	≤3	≤1,0	-	-	-	≤5,0	-	-	Kalan	3,0-6,0
TS/EN/ISO	0,6-3,0	-	≤0,1-2,0	-	-	20,0-35,0	≤4,0	-	-	-	-	Kalan	-	-	Kalan	4,0-10,0
COBALT 6	0,98	0,818	1,07	0,001	0,016	26,14	0,00	0,011	0,277	0	0,036	4,08	-	-	61,74	4,778
COBALT 12	1.01	1.059	0.339	0.008	0.056	29,46	2,108	0.327	0,017	0,102	-	3.303	0,31	0,104	53	8,794
TS/EN/ISO	1,0-1,7	≤2,0	≤2,0	-	-	25,0-32,0	≤3,0	≤1,0	-	-	-	≤5,0	-	-	Kalan	7,0-9,5
AWS	1,0-3,0	-	≤2,0	-	-	20,0-35,0	≤4,0	≤1,0	-	-	-	-	-	0,00	Kalan	-

Tablo 14. Cobalt 6 ve cobalt 12 kaynak metalinin mekanik değerleri [77].

Kaynak Metalinin Mekanik Değerleri						
Çentik Darbe Testi						
	Test Sıcaklığı °C	KV Darbe Enerjisi J	KV Ort. J	Sertlik HRC	Radyografi Testi	Isıl İşlem
COBALT 6	20	-	-	42	-	-
COBALT 12	20	-	-	48-52	-	-

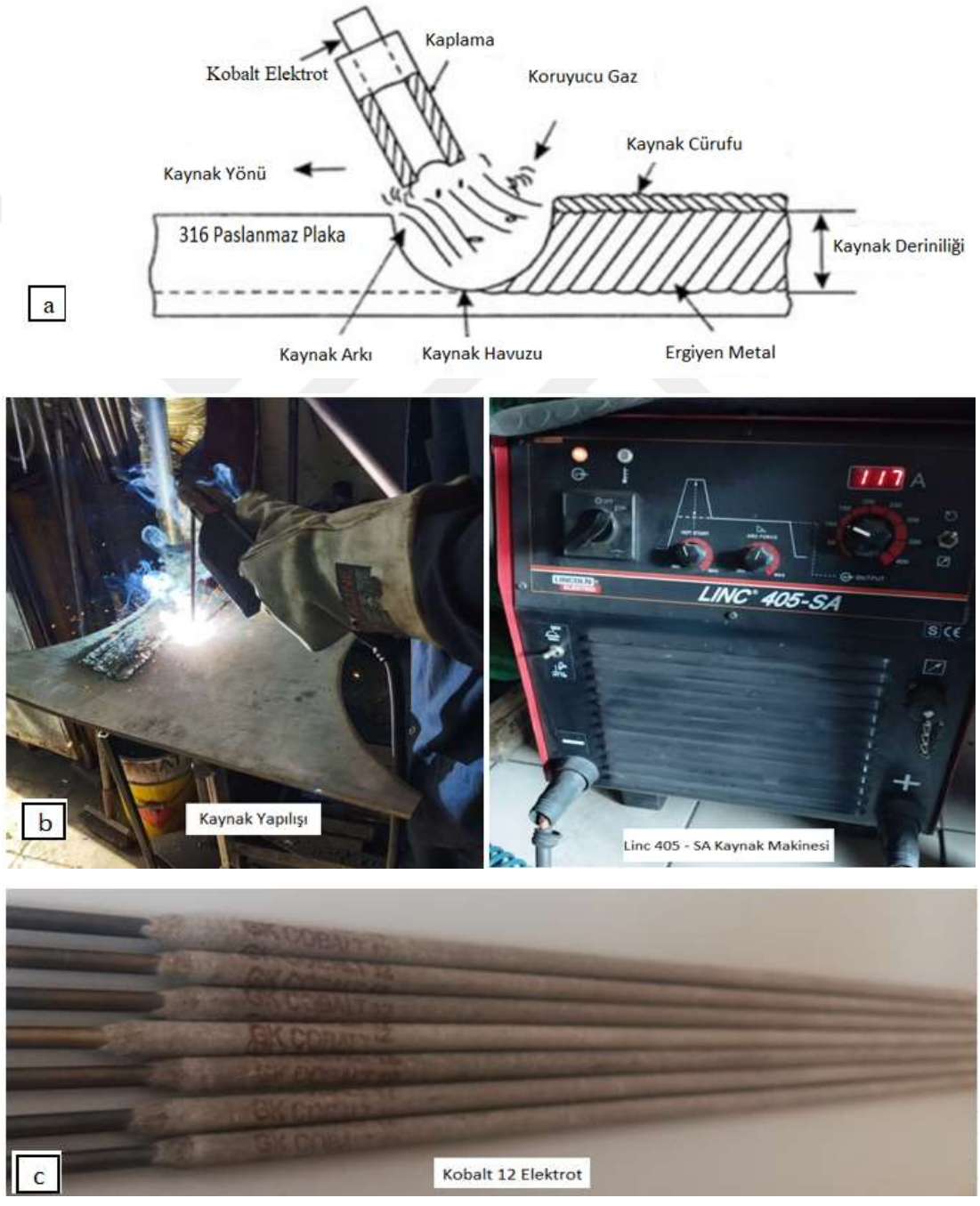
Kobalt 6 Elektrotunun Kullanıldığı Yerler Ve Özellikleri	Kobalt 12 Elektrotunun Kullanıldığı Yerler Ve Özellikleri
Mekanik Değerler	Mekanik Değerler
Sertlik (HRC)	Sertlik (HRC)
42	48 - 52
Kullanıldığı Yerler ve Özellikleri	**Kullanıldığı Yerler ve Özellikleri**
Ekstruder vidaları, nakil helezonlar, dövme kalıpları, sıcak kesme kalıp ve takımları, sıcakta çalışan mil burç vb parçalarda, her tür sıcak iş çeliklerinde, hot-dip galvaniz banyolarında, yanma odalarında, vana sistemlerinde, sıcaklık ve aşınmanın birlikte bulunduğu ortamlarda, subap ve yuvalarında kullanılır.	Sıcak ve soğuk kesme bıçakları, sıcak ortamda çalışan pompa milleri, salmastra kovanları, şaft burçları, bağlantı flanşları, plastik enjeksiyon presleri, valf sitleri, türbülans ve yanma odaları, sıcak çelikleri tutan ekipmanlar, sıcaklık ve aşınmanın birlikte bulunduğu ortamlarda kullanılır.
En yaygın kullanılan kobalt alaşımıdır.	Alaşımsız, düşük alaşımlı ve yüksek alaşımlı çeliklerin dolgu kaynağında kullanılan Co, Cr, W bazlı bir yapıya sahip elektrottur.
Geniş bir sıcaklık aralığında her türlü mekanik ve kimyasal etkiye dayanıklı olup yüksek sıcaklıklarda sert kalabilme özelliğine sahiptir.	Geniş bir sıcaklık aralığında her türlü mekanik ve kimyasal etkiye dayanıklıdır.
Kavitasyona karşı direnci çok yüksektir.Bu nedenle valf sistemlerinde ve türbin kanatlarında kavitasyona karşı koruyucu veya tamir amaçlı kullanılır.	Özellikle yüksek sıcaklıklarda darbe, basınç, abrazyon ve korozyon aşınmasına karşı yüksek dayanıma sahiptir.
Standart karbür uçlu takımlarla işlenebilir.	
Paslanmaz çelikler dahil kaynak edilebilen her tür çeliğe çok iyi intibak eder.	Yüksek sürtünme dayanımına sahip kaynak metali verir.
Tampon olarak 307 veya 312 gibi paslanmaz elektrotlar kullanılabilir.	Tampon olarak 307 veya 312 gibi paslanmaz elektrotlar kullanılabilir.
Dayanım Seviyesi	**Dayanım Seviyesi**
Aşınma Dayanımı: X X X X	Aşınma Dayanımı: X X X X
Yüksek Sıcaklık: X X X X	Yüksek Sıcaklık: X X X X
Korozyon: X X X	Korozyon: X X X
İşlenebilirlik: X X	İşlenebilirlik: X X
Darbe Dayanımı: X X X	Darbe Dayanımı: X X X
Termal Şok: X X X X	Termal Şok: X X X X
Çatlama Direnci: X X X	Çatlama Direnci: X X X

Şekil 8. Kobalt 6 ve 12 elektrotun kullanıldığı yerler ve özellikleri [78].

3.2 Yöntem

3.2.1 Örtülü Elektrotla Ark Kaynak Yöntemi

Bu çalışmada örtülü elektrotla ark kaynak yöntemi uygulanarak sert dolgu kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Sert dolgu kaynağı tek paso olarak yapılmıştır. Kaynak işleminin yapılışı şekil 9-a da, kullanılan ekipmanlar ve elektrotlar şekil 9-b ve şekil 9-c de, kaynak parametreleri ise Tablo 15'te verilmiştir.

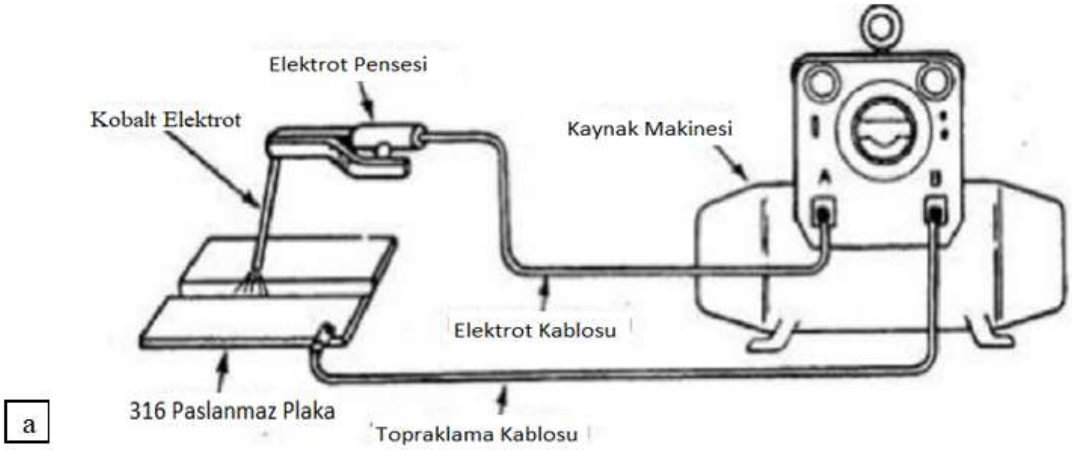


Şekil 9. a) Sert dolgu kaynak işleminin yapılışı, *b)* Sert dolgu kaynak işleminde kullanılan ekipmanlar, *c)* Sert dolgu kaynak işleminde kullanılan elektrotlar [61].

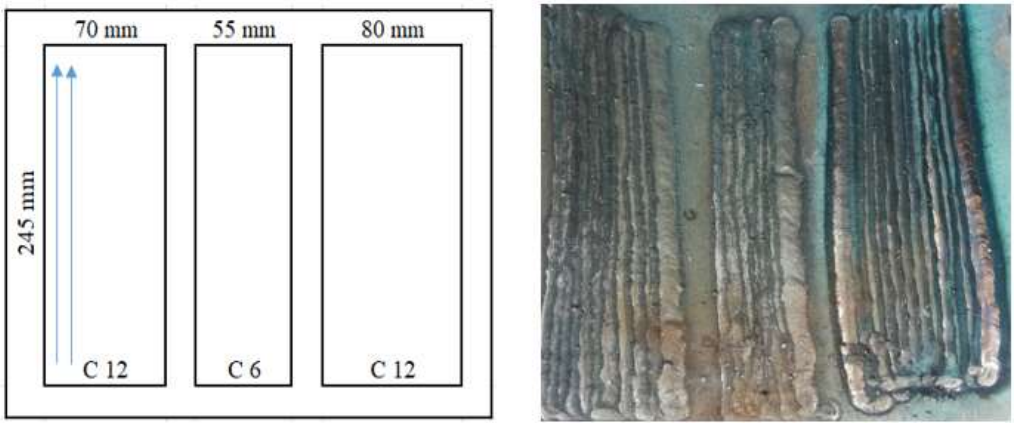
Tablo 15. Kaynak parametreleri

Kaynak Makinesi	Linc 405-SA
Elektrot Malzemesi	Cobalt
Kaynak Akımı	115 A
Kaynak Hızı	3.5 mm/sn
Kaynak Şekli	Yatay / Bindirme
Kaynak Kalınlığı	1.5-2 mm
Elektrot Tipi / Çapı	Sert Dolgu / 3.2 mm

Kaynak işlemi yatay olarak bindirme kaynağı şeklinde yapılmıştır. Kaynak düzeneği şekil 10-a da gösterilmiştir. Sonraki aşamalarda kullanılmak üzere plakaya yapılan kaynak ve ölçüleri şekil 10-b de gösterilmiştir.



a



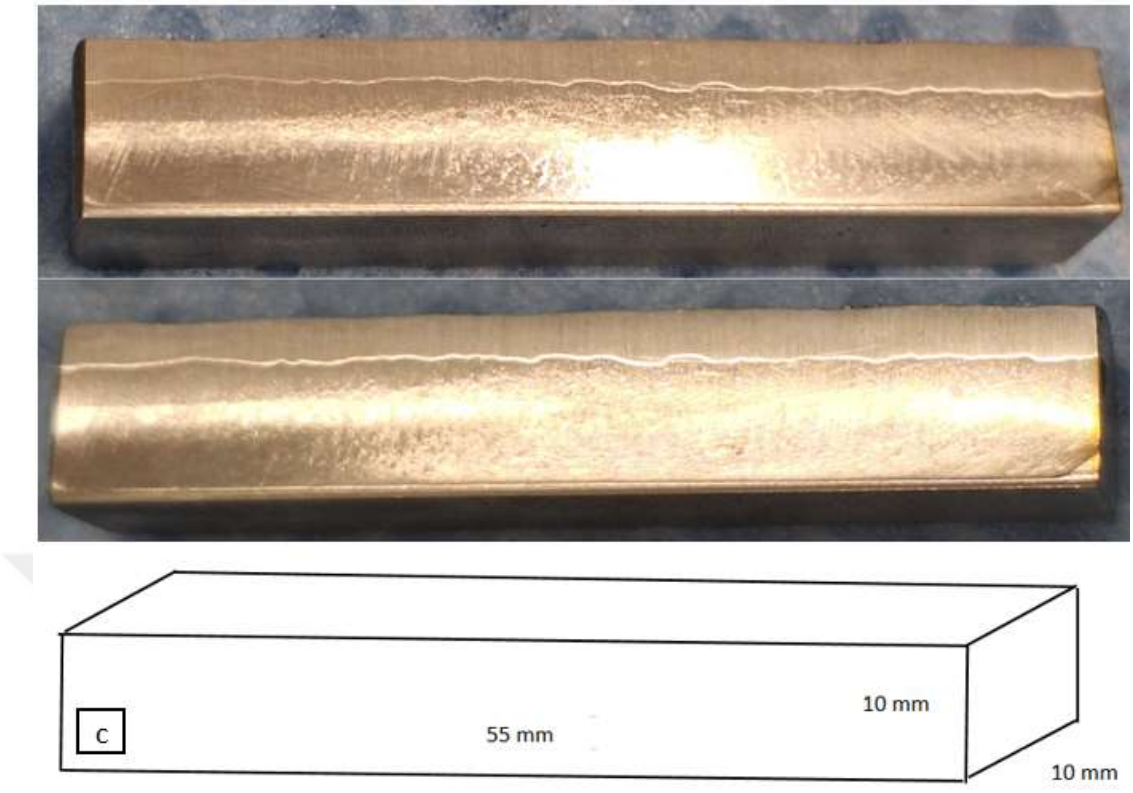
b

Şekil 10. a) Kaynak düzeneği şematik gösterimi, *b)* Kaynak yapılış şekli ve ölçüleri [53].

3.2.2 Parçaların Kesilmesi

Kaynak işlemi sonrasında parçalar su jetinde 70x245mm, 55x245mm, 80x245 mm ölçülerinde kaynak yönüne paralel olarak kesilmiştir. Sonrasında Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Metal laboratuvarında testereyle ASTM E23 standartlarında çentik açılmamış olarak 10x10x55mm ebatlarında kesilmiştir. Testerede kesilen numuneler, zımpara makinesinde yüzeylerini incelemek amacıyla 600 ve 800 mesh'lik zımparalar ile parlatılmıştır. Şekil 11-a da plakanın su jetinde kesilmesi ve ebatlanması, şekil 11-b de ebatlandıktan sonraki görünümü ve parlatılması, şekil 11-c de ise parlatılan yüzeyin görünümü ve numunelerin ölçüleri gösterilmiştir.

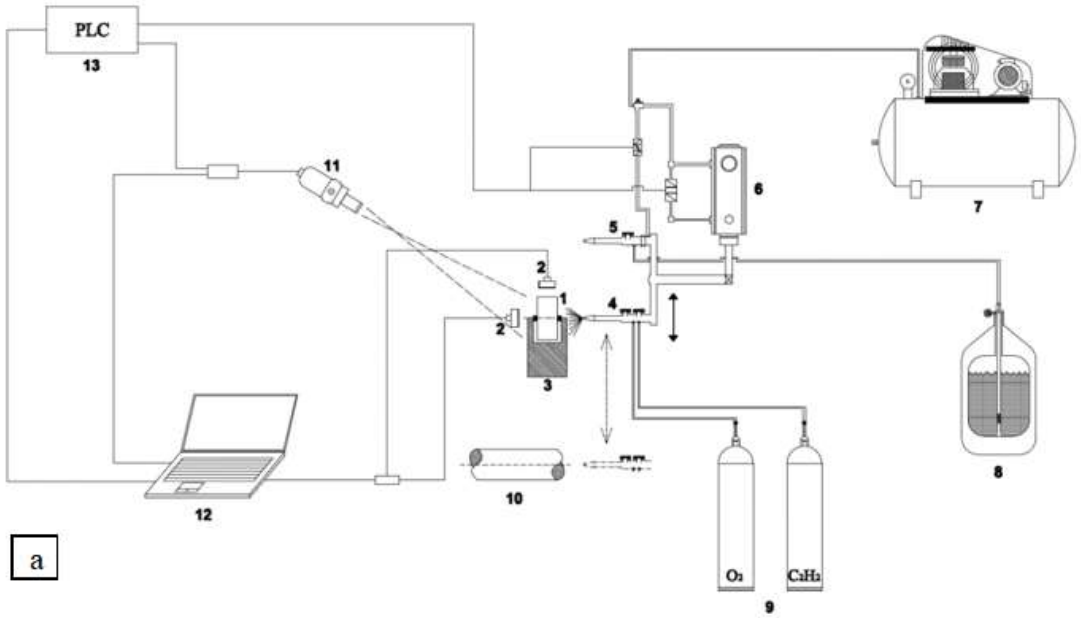




Şekil 11 a) Plakanın su jetinde kesilmesi ve ebatlanması, *b)* Plakanın ebatlandıktan sonraki görünümü ve yüzeylerinin parlatılması, *c)* Parlatılan yüzeyin görünümü ve ölçüleri

3.2.3 Termal Şok Testi

Malzemelerin ani sıcaklık değişimleri sonrasında uğradıkları değişimleri görmek için yüzeyleri parlatılan 10x10x55mm ebadındaki numuneler termal şok cihazına yerleştirilip 1000 ºC ve 1200 ºC de 10-20-30 ve 60 çevrim olarak şekilde termal şoka maruz bırakılmıştır. Termal şok ünitesi prensip şeması şekil 12-a da, termal şok ünitesinin çalışma sırasındaki görünümü şekil 12-b de, termal şok ünitesinde numunelerin alev altındaki görünümü şekil 12-c de gösterilmiştir. Termal şok ünitesinin termal çevrim grafiği şekil 12-d de, termal şok ünitesinde numunelerin ısıtılması ve kontrol panelinin görünümü şekil 12-e de gösterilmiştir.



Termal şok çevrim sisteminin temel elemanları ve görevleri aşağıdaki gibidir;

1. Deney Numuneleri: 10x10x55mm ebatlarındaki 316 paslanmaz çelik numuneler ısıtma ve soğutma nozullarının karşısına merkezli olacak şekilde sabitleme aparatına bağlanmıştır.

2. Akustik Emisyon Sensörleri: Akustik emisyon sensörleri ile istenildiği taktirde numunede iç yapı hasarının başladığı kritik çevrim sıcaklığı, çevrim sayısı ve hasar boyutu ile ilgili bilgiler alınabilmektedir. Çalışmamızda içyapı hasarına bakılmamıştır. Bu cihaz çalışmamızda kullanılmamıştır.

3. Pabuç (Numune Sabitleme Aparatı): Pabuç numunelerin termal çevrimi esnasında sabit kalmasını sağlayan torc ile numune arasındaki mesafeyi alev bölgesi ve sıcaklığına göre ayarlayan aparattır.

4. Isıtma Torcu: Numuneyi ani ısıtmada kullanılan torç ısıtma alevi olarak oksijen ve asetilen kullanmaktadır.

5. Soğutma Torcu: Numuneyi ani soğutmada kullanılan torç soğutucu olarak basınçlı hava ve su karışımı kullanmaktadır.

6. Pnömatik Silindir: Üzerine monte edilen ısıtma ve soğutma torçlarını taşıyıp gelen sinyallere göre ileri/geri hareket işlemini gerçekleştirmektedir.

7. Kompresör: Pnömatik silindire ileri-geri hareketini, soğutma nozuluna ise yüksek hızlı hava tedarikini sağlamaktadır.

8. Dewar Kabı: İstenildiğinde soğutucu olarak sıvı azot kullanılmasını sağlayan muhafaza deposudur. Yapmış olduğumuz çalışmada kullanılmamıştır.

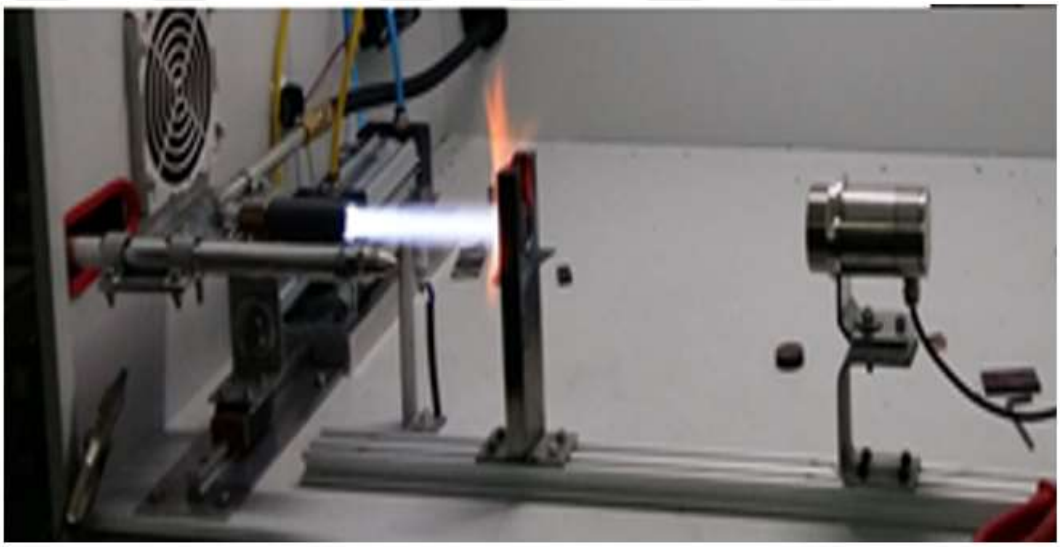
9. Oksijen ve Asetilen Tüpleri: Numunenin ısıtılmasında kullanılan oksijen ve asetilen gazlarını muhafaza etmektedir.

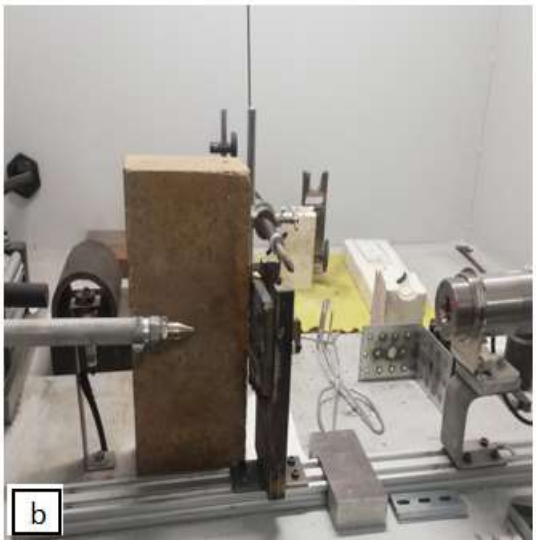
10. Güvenlik Borusu: Opsiyoneldir.

11. Pirometre: Ani sıcaklık değişimlerini okumamızı sağlayan temassız sıcaklık sensörüdür. Pirometrenin göndereceği infrared ışın ısıtma alevinden etkilendiği için numunenin arka yüzeyinden ölçüm alacak şekilde konumlandırılmıştır.

12. Bilgisayar: Termal şok sınır şartlarının girildiği yazılım ile kontrolün ve diğer deneysel veri kayıtlarının anlık olarak tutulduğu sistemdir.

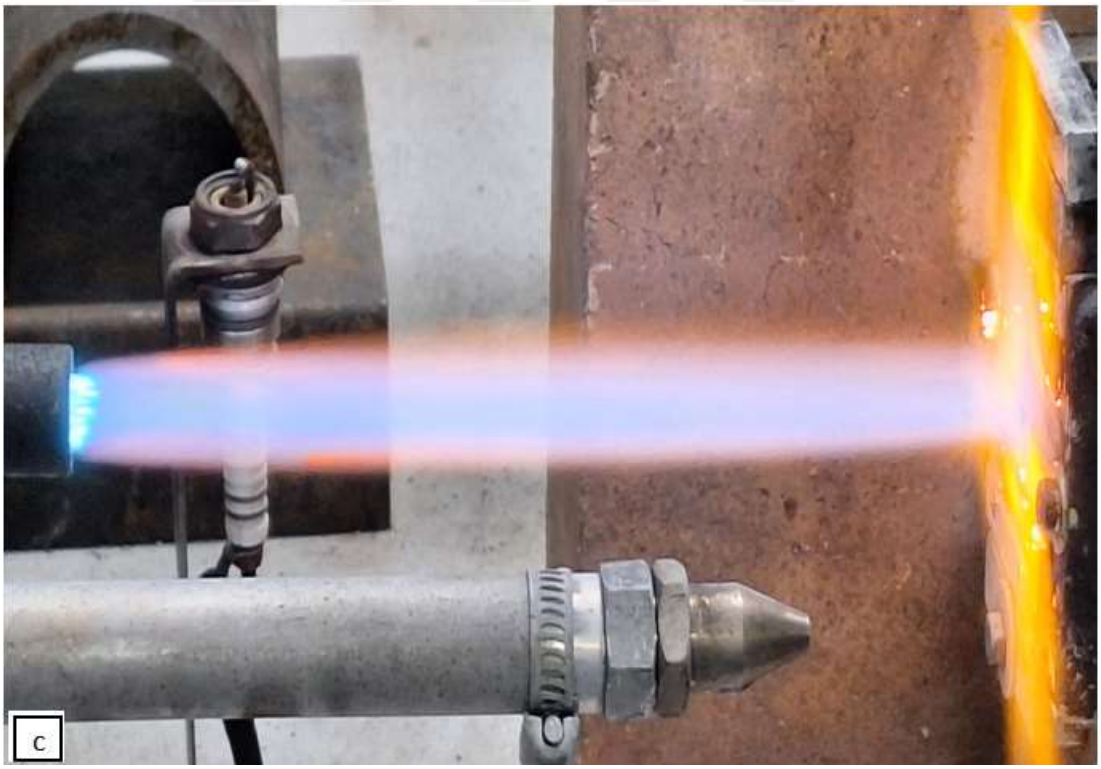
13. PLC: Pirometreden gelen sıcaklık bilgilerini, her deney öncesinde girilen sınır şartlarına göre kontrol eden pnömatik silindire ters yönde hareket sinyalini veren mantıksal denetleyici.

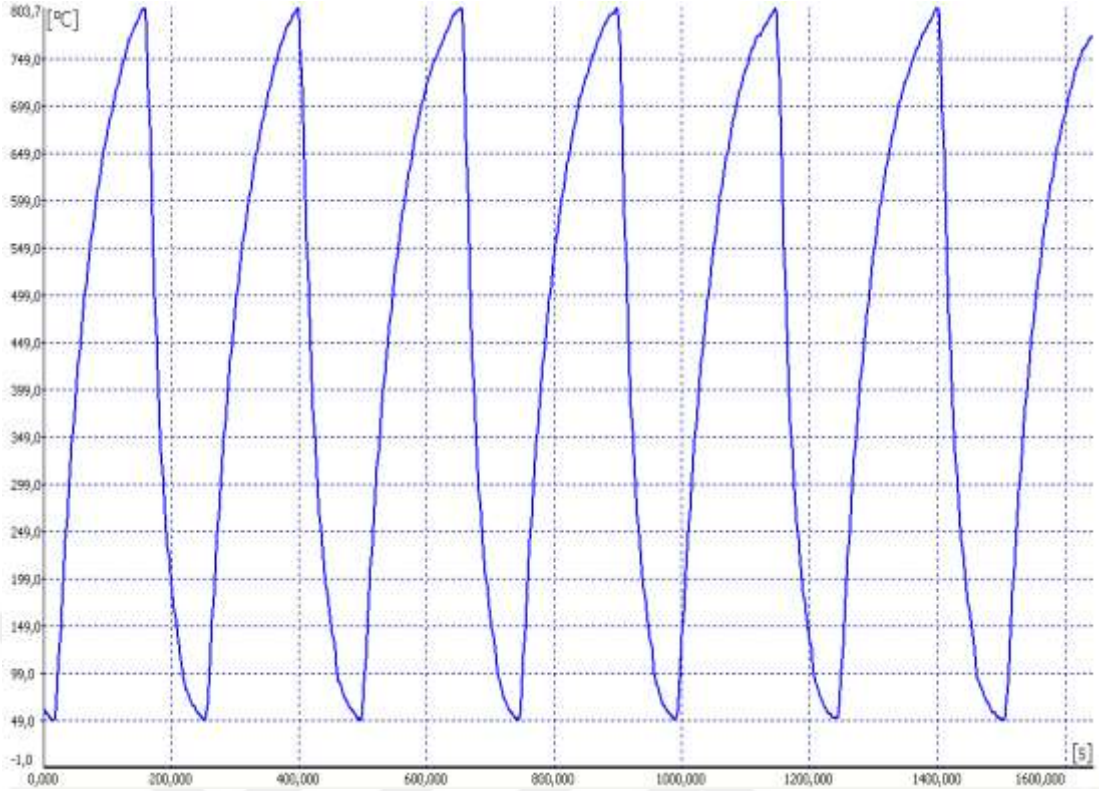


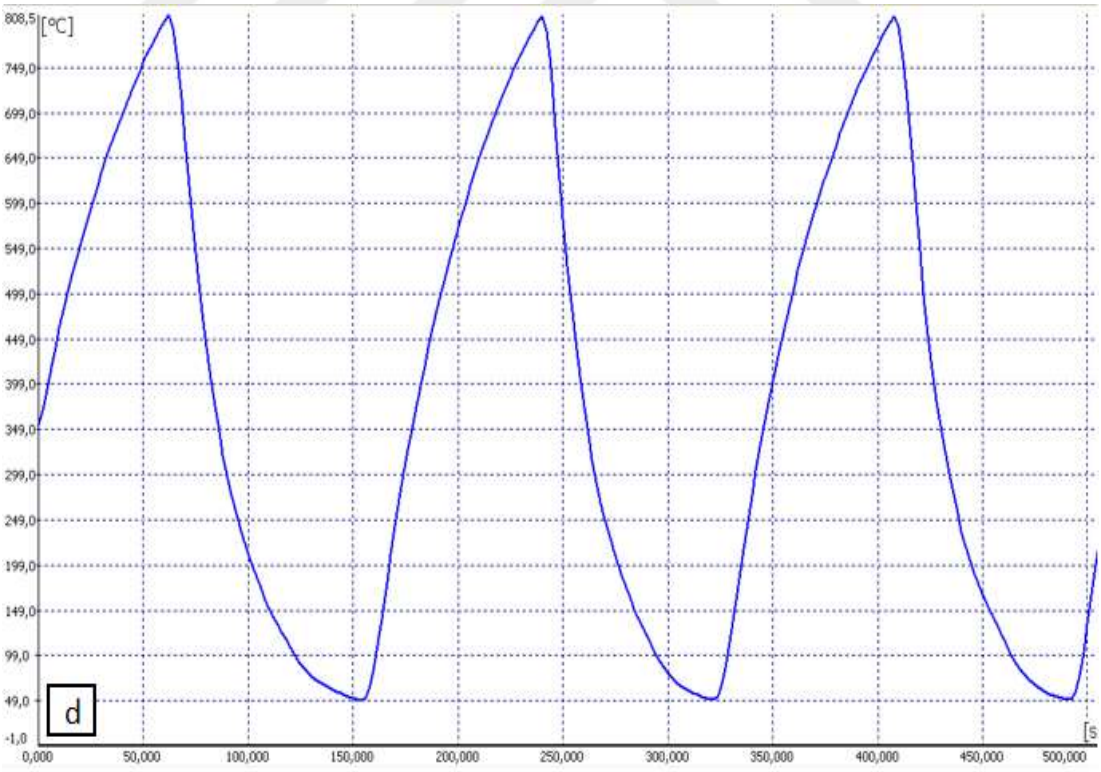


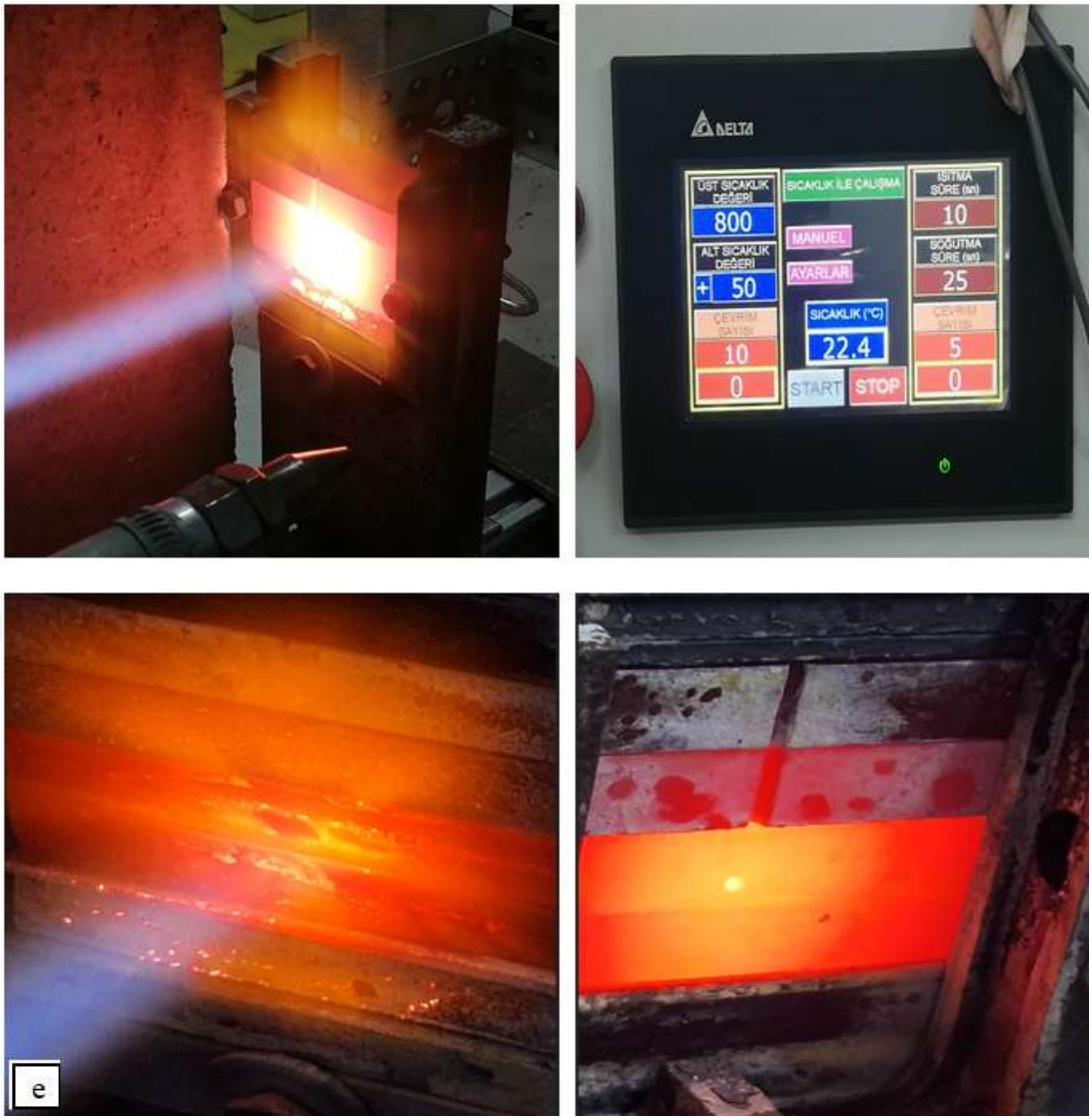





c


803,7 [°C]
749,0
699,0
649,0
599,0
549,0
499,0
449,0
399,0
349,0
299,0
249,0
199,0
149,0
99,0
49,0
-1,0
0,000
200,000
400,000
600,000
800,000
1000,000
1200,000
1400,000
1600,000
[s]


808,5 [°C]
749,0
699,0
649,0
599,0
549,0
499,0
449,0
399,0
349,0
299,0
249,0
199,0
149,0
99,0
49,0
-1,0
d
0,000
50,000
100,000
150,000
200,000
250,000
300,000
350,000
400,000
450,000
500,000



Şekil 12. a) Termal şok ünitesi prensip şeması, *b)* Termal şok ünitesinin çalışma sırasındaki görünümü, *c)* Termal şok ünitesinde numunelerin alev altındaki görünümü, *d)* Termal şok ünitesinin termal çevrim grafiği, *e)* Termal şok ünitesinde numunelerin ısıtılması ve kontrol panelinin görünümü

Şekil 12 d) de termal şok zaman sıcaklık değişim grafiği görülmektedir. Cihaz ayarladığımız alt sıcaklık ve üst sıcaklık arasında parçayı propan gazı ile ısıtıp hava su karışımı ile soğutmaktadır. Parça ortalama 180-200 sn arasında ısıtılıp soğutulmaktadır. Sıcaklık zaman grafikleri stabil görünmektedir.

3.2.4 Sertlik Ölçümü

Termal şok sonrasında numuneler yeniden yüzeyleri parlatılarak Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Ana Bilim Dalı Metalografi laboratuvarında sertlik ölçüm cihazında ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri 10x10x55mm ebatlarındaki numunelerin 60 KGF altında elmas uçla HRa ve HRc olarak ölçülmüştür. Şekil 13 de gösterilmiştir.



Şekil 13. Sertlik ölçümü

3.2.5 Darbe Testi

Darbe testi malzemenin çarpışma anında enerjiyi absorbe etme yeteneğini ifade eder. Ortaya çıkan enerji malzemenin tokluğunu, darbe dayanımını, kırılma ve darbe direncini belirlemek için kullanılabilir [79].

Darbe deneyleri yaygın olarak Charpy ve Izod darbe deneyleri olarak iki şekilde yapılır. Gerçekleştirmiş olduğumuz charpy darbe deneyinde, yatay ve basit kiriş durumundaki iki mesnedin arasına numune yerleştirilir. Numune tabanına, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılarak numune tabanında ortaya çıkan çok eksenli gerilmeler sonucunda numunenin kırılmasını sağlayan enerji ortaya çıkarılır. Bulduğumuz değer, malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) veya çentik darbe tokluğu dur. Vurma değerinin anma kesitine oranı çentik darbe tokluğudur. Şekil 14-a da darbe deneyi şematik gösterimi, şekil 14-b de ise darbe test cihazı ve numunelerin yerleştirilmesi gösterilmiştir. Deney sırasında sarkaç istediğimiz yüksekliğe çıkarıldıktan sonra numuneyi yerleştiririz. Değerlerin bulunduğu kadranın göstergesini sıfır durumuna getirip sarkacı serbest bırakılırız. Sonucu kadrandan okuruz.

Kırılma enerjisi = G (h - h 1) = G.L. (cosβ - cosα) dır.

G = Sarkacın ağırlığı (kg),

L = Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m),

h = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

hı= Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

α = Düşme açısı (derece),

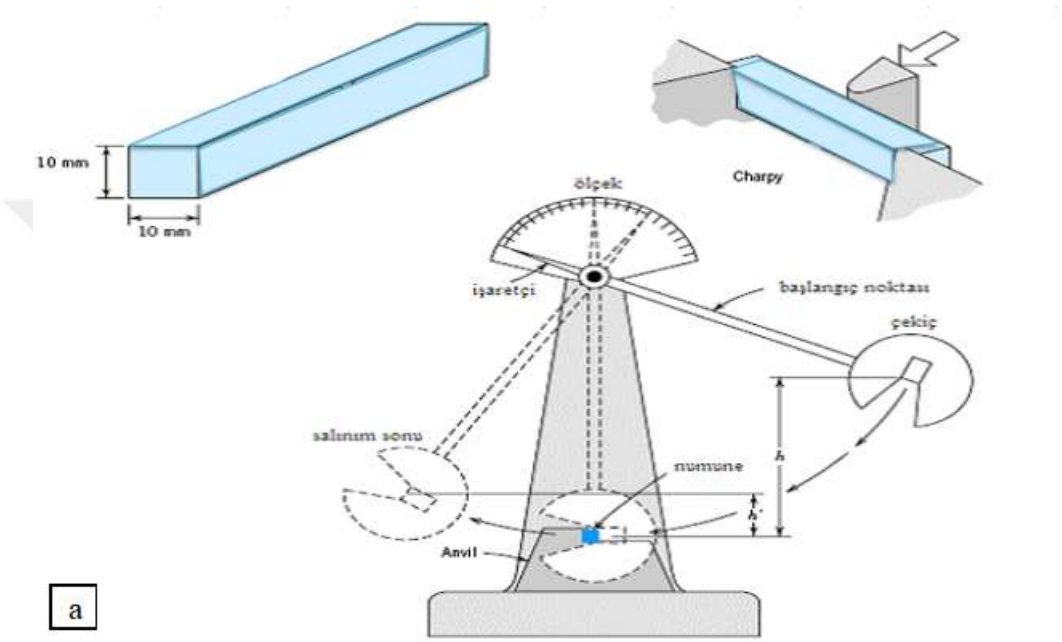
β = Yükseliş açısı (derece),

Darbe direnci (kg-m) veya (kg-m/cm 2) cinsinden ifade edilmektedir. Aynı zamanda;

Darbe direnci $\alpha_ç$ = F / A (kpm / mm2) dir.

Darbe deneyleri Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Ana Bilim Dalı Malzeme Laboratuvarında Alşa marka darbe test test cihazında gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyleri 10x10x55mm ebatlarındaki numunelere uygulanmıştır. Deneyler hata payının düşürülmesi için her gruptan 2 adet numuneye uygulanmış ve değerlerin ortalamaları alınmış, grafiklerde ortalama değerler

kullanılmıştır. Darbe deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Test kaynaklı yüzeyin tam tersi tarafından darbe kuvveti uygulanarak yapılmış ve sert dolgu kaynağı çekme kuvvetlerine maruz bırakılmıştır. Sertlikleri ölçülen numuneler darbe test düzeneğine yerleştirilip 30 kgf yük altında darbe testi ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 14-a da darbe testinin şematik gösterimi, şekil 14-b de ise darbe test cihazı ve numunelerin yerleştirilmesi gösterilmiştir.



a



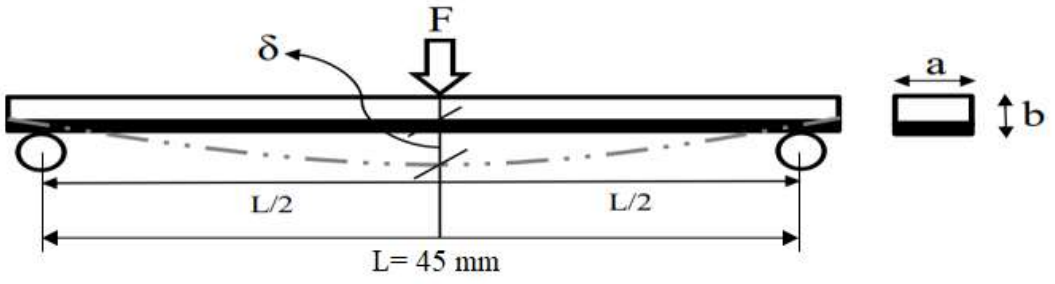




Şekil 14 a) Darbe deneyi şematik gösterimi *b)* Darbe test cihazı ve numunelerin yerleştirilmesi

3.2.6 Üç Nokta Eğme Testi

Yapılan eğilme testi parçanın sünekliğini, eğilme ve kırılma mukavemetini ve kırılmaya karşı direncini belirlememizi sağlar. Eğme deneyleri Erciyes Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarında Shımadzu marka test cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyler 10x10x55mm ebatlarındaki numunelere uygulanmıştır. Deneyler her gruptan 2 adet numuneye uygulanmış ortalama değerler alınmış ve grafiklerde ortalama değerler kullanılmıştır. Eğme deneyleri oda sıcaklığında sert dolgu kaynağı yapılan yüzeyin tersinden kuvvet uygulanılmasıyla yapılmıştır ve sert dolgu yüzeyi çekme kuvvetlerine maruz bırakılmıştır. Sonuçlar aşağıda gösterdiğimiz formüllere göre hesaplanmıştır. Eğme testinin şematik gösterimi Şekil 15 de, kullanmış olduğumuz eğme deney cihazı çekme- basma test ünitesi şekil 16-a da, üç nokta eğme düzeneği ve numunenin yerleştirilmiş konumu şekil 16-b de, eğmede kaplama üzerinde çatlak oluşum başlangıcı şekil 16-c de ve ikincil çatlakların oluşması şekil 16-d de gösterilmiştir.

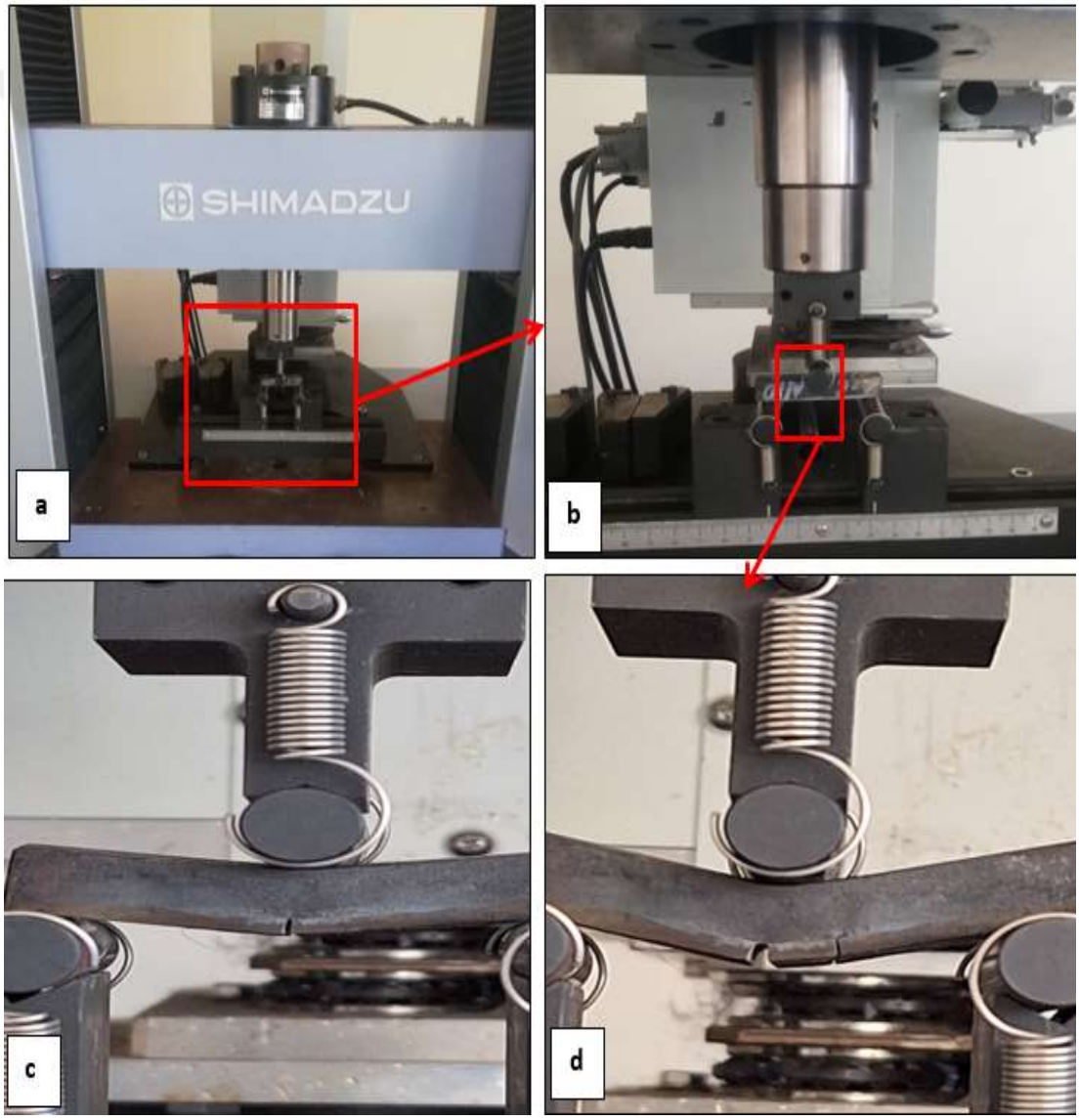


Şekil 15. Üç nokta eğme testi şematik gösterimi

δ, Sehim / F, Kuvvet / L, Mesnet Mesafesi / a, Numune Genişliği / b, Numune Yüksekliği

M, En Yüksek Eğme Momenti / I, Atalet Momenti / σ, Eğme Gerilmesi

$$M = \frac{FxL}{4}, I = \frac{a\,x\,b^3}{12}, \sigma = \frac{3\,x\,F\,x\,L}{2\,x\,a\,x\,b^2}$$



Şekil 16. a) Çekme – basma test ünitesi, b) Üç nokta eğme düzeneği ve numunenin yerleştirilmiş konumu, c) Eğmede kaplama üzerinde çatlak oluşum başlangıcı, d) İkincil çatlakların oluşması

3.2.7. Metalografik İnceleme

Numunelere metalografik inceleme yapılarak içyapılarına bakılmış, nüfuziyet, porozite, çatlak olası kaynak hataları gibi bulgulara bakılmıştır. Numuneler istenilen ölçülerde kesilmiş ve bakalite alınmıştır. Numuneler 600, 1000 ve 2000 mesh lik SiC su zımparası ile zımparalanmıştır. Sonrasında (0,01-1µm) alümina tozu (Al2O3) ile numune parlatılmıştır. Yüzeyi parlatılan numune yüzeyi dağlanmıştır. Numunelerin metalografik incelemeleri Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği metalografi laboratuvarında Euromex marka optik mikroskopta, 4X, 10X, 20X ve 40X'lik büyütülerek yapılmıştır. Metalografik inceleme laboratuvarı Şekil 17 de gösterilmiştir.



Şekil 17. Metalografik inceleme laboratuvarı

Deneylerde kullandığımız numune kodları, kodlara verdiğimiz isimler ve bu kodların açıklamaları tablo 16 de verilmiştir.

Tablo 16. Deney numune kod ve açıklamaları

Numune Kodu	**Numune Adı**	**Ana Malzeme**	**Kaplama Elektrotu Tipi**	**Termal Şok Tekrarı, N**	**Termal Şok Sıcaklığı, °C**
A1	316-0	AISI 316	-	-	-
A2	316-C6	AISI 316	C 6	-	-
A3	316-C12	AISI 316	C 12	-	-
A4	316-N10	AISI 316	-	10	1000 - 50
A5	316-C6-N10	AISI 316	C 6	10	1000 - 50
A6	316-C12-N10	AISI 316	C 12	10	1000 - 50
A7	316-C12-N20	AISI 316	C 12	20	1000 - 50
A8	316-C12-N30	AISI 316	C 12	30	1000 - 50
A9	316-C12-N60	AISI 316	C 12	60	1000 - 50
A10	316-C12-N10*	AISI 316	C 12	10	1200 - 50

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

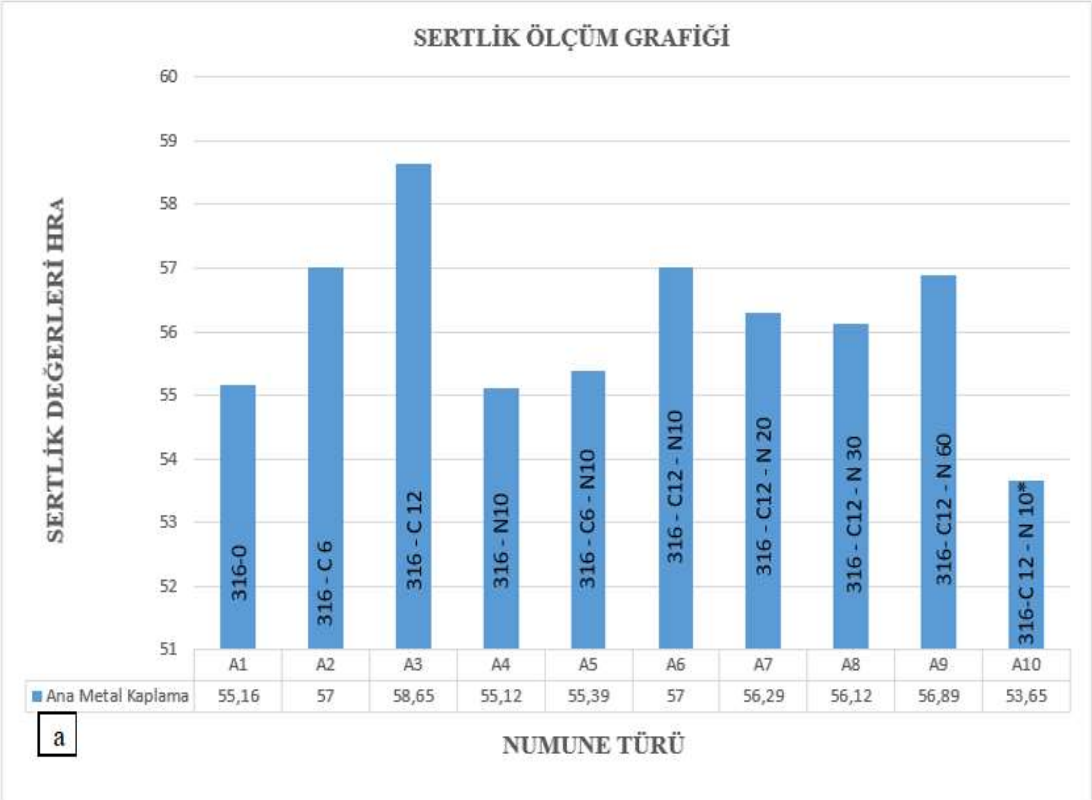
4.1. Sertlik Deneyi Sonuçları

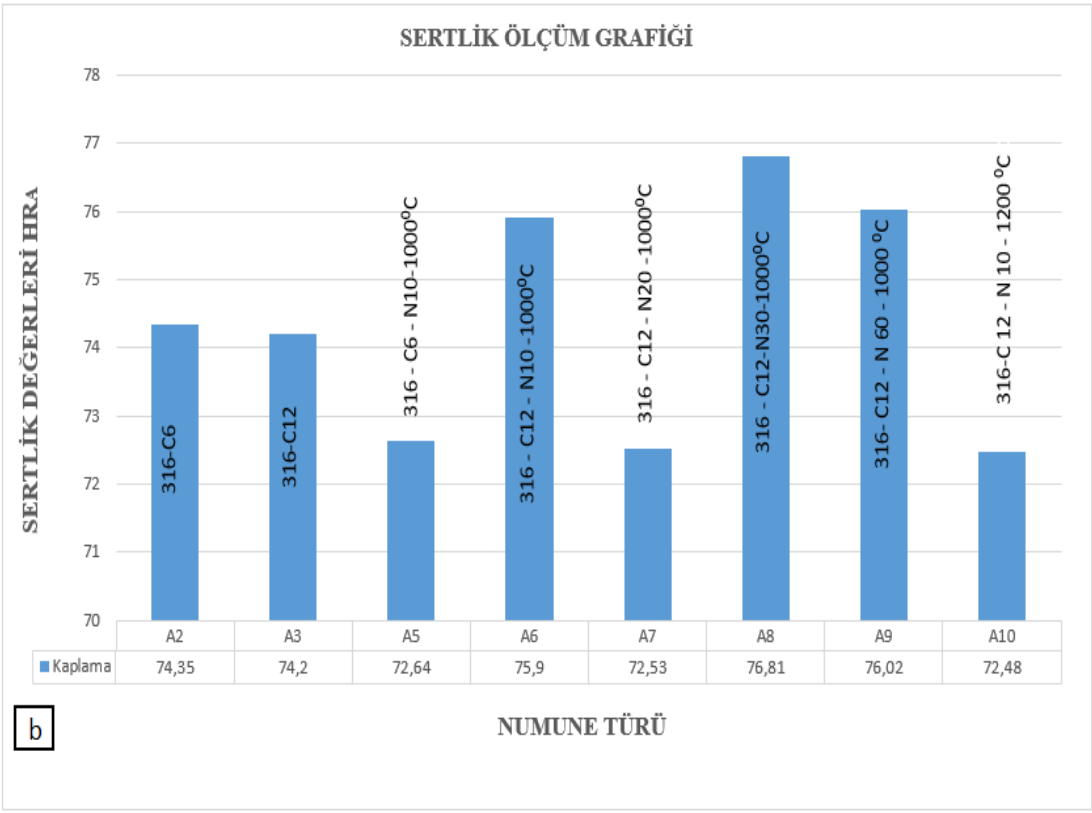
Sertlik testlerinde AISI 316 paslanmaz çelik ham malzemelerin, C6 ve C12 kobalt elektrotla sert dolgu kaynağı yapılan farklı çevrim sayılarında termal şok uygulanan ve termal şok uygulanmayan numunelerin sertlikleri HRA sertlik ölçüm skalasında malzemeden ve sert dolgu kaynağından ayrı ayrı ölçülmüştür. Tablo 17'de ana malzemede en yüksek sertlik değeri A3 numunesinde ve en düşük sertlik değeri ise A10 numunesinde olduğu görülmüştür. Yapılan sert dolgu yüzey kaplamalarının sertlikleri ölçüldüğünde en yüksek sertlik değerinin A8 numunesinde ve en düşük sertlik değerinin ise A10 numunesinde olduğu görülmüştür. Yapılan sert dolgu sonrasında malzemelerin sertleştikleri görülmüştür. Sertlik grafikleri şekil 18 a ve b de verilmiştir. Sert dolgu kaplama öncesi numunelerin sertlikleri ortalama olarak 56,13 gelmektedir. Sert dolgu kaplama sonrası numunelerin elektrot fark etmeksizin ortalama sertlikleri 74,37 gelmektedir. Yapılan kaplama sonrası sertlikte ortalama olarak % 32,5 artış olmuştur. Bu artışın nedeni kobalt elektrotun içindeki elementlerden kaynaklanmaktadır. Sert dolgu kaplama sonrası malzeme sertlik, mukavemet ve korozyon bakımından daha iyi noktalara taşımıştır. Elektrotların birbiri arasındaki farka baktığımızda ortalama olarak kobalt 6 elektrotla sert dolgu sonrası ortalama sertlik 73,49 dur. Kobalt 12 kullanıldığında sert dolgu sonrası sertlik 74,65 olarak ölçülmüştür. Kobalt 6 ve kobalt 12 ortalama sertliklerinin birbirine oranı 0,984 olarak çıkmıştır. Yukarıda tablo 13 de kobalt 6 ve kobalt 12 elektrotlarının kimyasal analizinde kaynak metalinde bulunan karbon oranlarının birbirine oranı 0,97

çıkmaktadır. Kaynak metalindeki karbon oranıyla ölçtüğümüz dertliklerin oranı kaplamada bulunan karbon oranlarıyla uyumludur. Karbon oranının değişimi ile sertlik değişiminin benzer şekilde değişeceği düşünülmektedir.

Tablo 17. Sertlik ölçüm tablosu

Numune Kodu	Numune Adı	Numune Açıklaması	Ana Metal	Kaplama
A1	316-0	AISI 316 Paslanmaz Çelik İşlem Görmemiş Numune	55,16	-
A2	316-C6	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 6 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış Numune	57	74,35
A3	316-C12	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış Numune	58,65	74,2
A4	316-N10	AISI 316 Paslanmaz Çelik İşlemsiz Ana Malzeme - 1000 ^{0}C de 10 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	55,12	-
A5	316-C6-N10	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 6 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1000 ^{0}C de 10 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	55,39	72,64
A6	316-C12-N10	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1000 ^{0}C de 10 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	57	75,9
A7	316-C12-N20	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1000 ^{0}C de 20 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	56,29	72,53
A8	316-C12-N30	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1000 ^{0}C de 30 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	56,12	76,81
A9	316-C12-N60	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1000 ^{0}C de 60 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	56,89	76,02
A10	316-C12-N10*	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1200 ^{0}C de 10 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	53,65	72,48





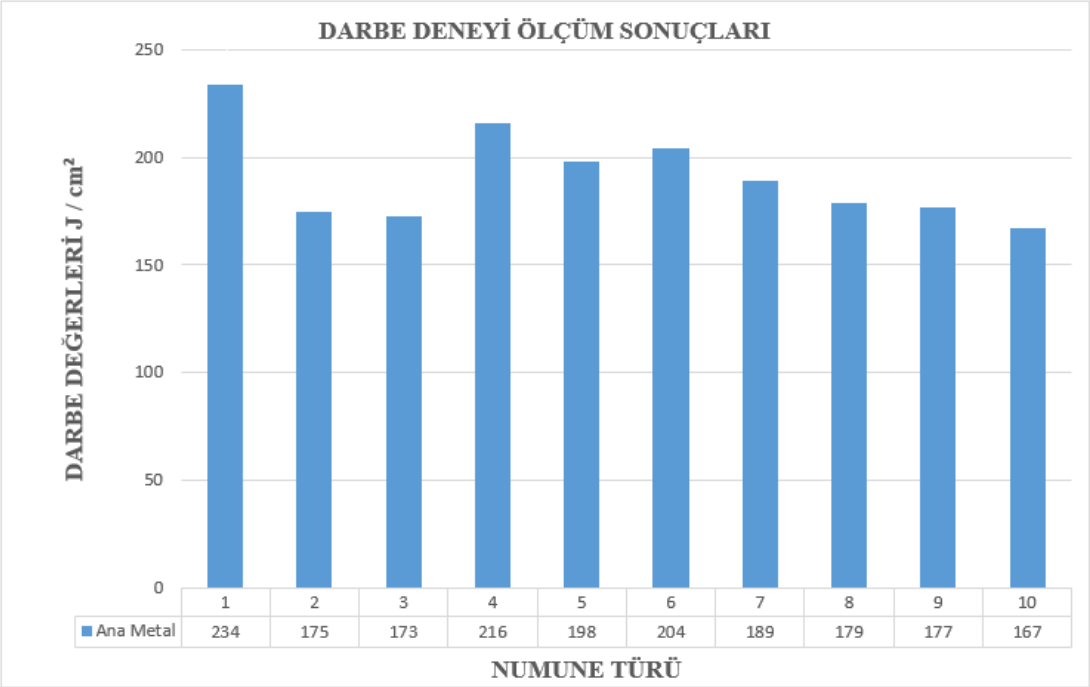
Şekil 18. Farklı işlem şartları için karşılaştırmalı sertlik değerleri; *a)* Ana malzeme üzerinden, *b)* Kaplama üzerinden

4.2. Darbe Deneyi Sonuçları

Darbe deneyinde AISI 316 paslanmaz çelik ham malzemelerle, C6 ve C12 kobalt elektrotla sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Farklı çevrim sayılarında termal şok uygulanmış ve termal şok uygulanmamış numunelerle darbe deneyi yapılmıştır. Tablo 18 de hazırlanan numunelerin darbe deneyi sonrası darbe tokluğu değerleri J/cm2 olarak verilmiştir. Şekil 19 da darbe deneyi sonuçları grafik olarak gösterilmektedir. En yüksek darbe değeri işlem görmeyen ana malzememizde A1 numunesinde ve en düşük darbe değeri ise A10 numunesinde olduğu görülmüştür. Termal şok sayısı arttıkça numunelerin darbe değerleri azalmaktadır. Termal şok sonuçlarını karşılaştırdığımızda en fazla örnekleme kobalt 12 de yapılmıştır. Kobalt 12 nin 10 termal çevrim sonrası darbe değeri 204 iken 60 termal çevrim sonrası darbe değeri 177 olmuştur. Darbe değeri % 13,2 oranında azalmıştır. Kobalt 12 elektrotunun 1000 ^{o}C de 10 termal çevrim sonrası darbe değeri 204 iken 1200 ^{o}C de 10 termal çevrim sonrası darbe değeri 167 olmuştur. Burada da darbe değerinde % 18,18 lük bir azalma görülmektedir. Yaptığımız çalışma sonrası gerek sıcaklığın artışı gerekse termal çevrim sayısının artışı darbe değerini düşürmektedir. Buda malzemenin tokluğunun düşmesiyle açıklanabilir.

Tablo 18. Darbe deneyi sonuçları

Numune Kodu	Numune Adı	Numune Açıklaması	Darbe Değeri J/cm2
A1	316-0	AISI 316 Paslanmaz Çelik İşlem Görmemiş Numune	234
A2	316 - C 6	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 6 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış Numune	175
A3	316-C 12	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış Numune	173
A4	316 - N 10	AISI 316 Paslanmaz Çelik İşlem Görmemiş - 1000 ^{o}C de 10 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	216
A5	316 - C 6 - N 10	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 6 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1000 ^{o}C de 10 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	198
A6	316 - C 12 - N 10	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1000 ^{o}C de 10 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	204
A7	316 - C 12 - N 20	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1000 ^{o}C de 20 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	189
A8	316 - C 12 - N 30	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1000 ^{o}C de 30 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	179
A9	316 - C 12 - N 60	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1000 ^{o}C de 60 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	177
A10	316 - C 12 - N 10*	AISI 316 Paslanmaz Çelik Üzerine C 12 Kobalt Elektrotla Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış - 1200 ^{o}C de 10 Çevrim Termal Şok Yapılmış Numune	167

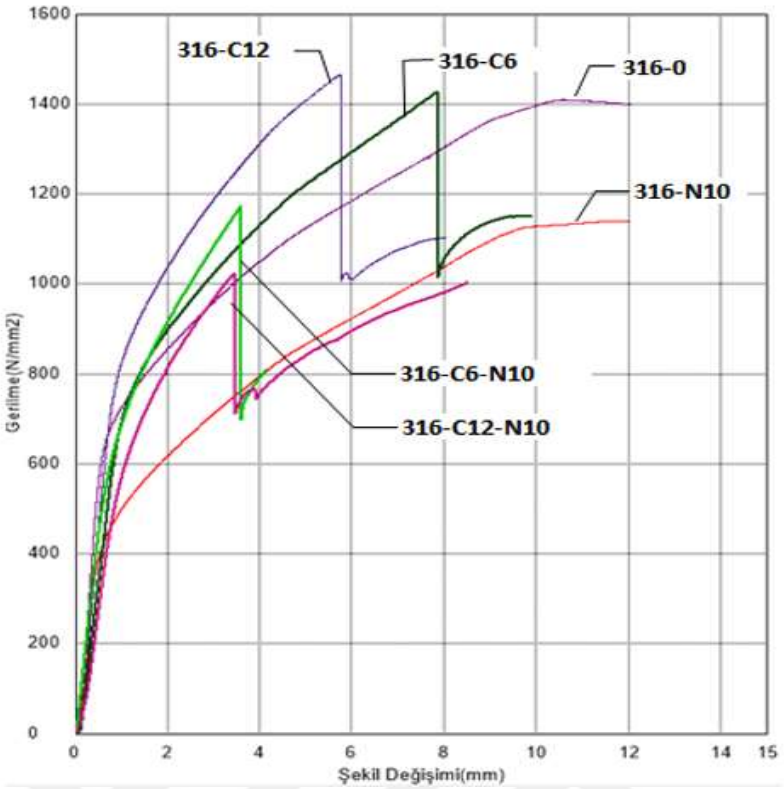


Şekil 19. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerin darbe deneyi sonuçları grafiği

4.3. Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları

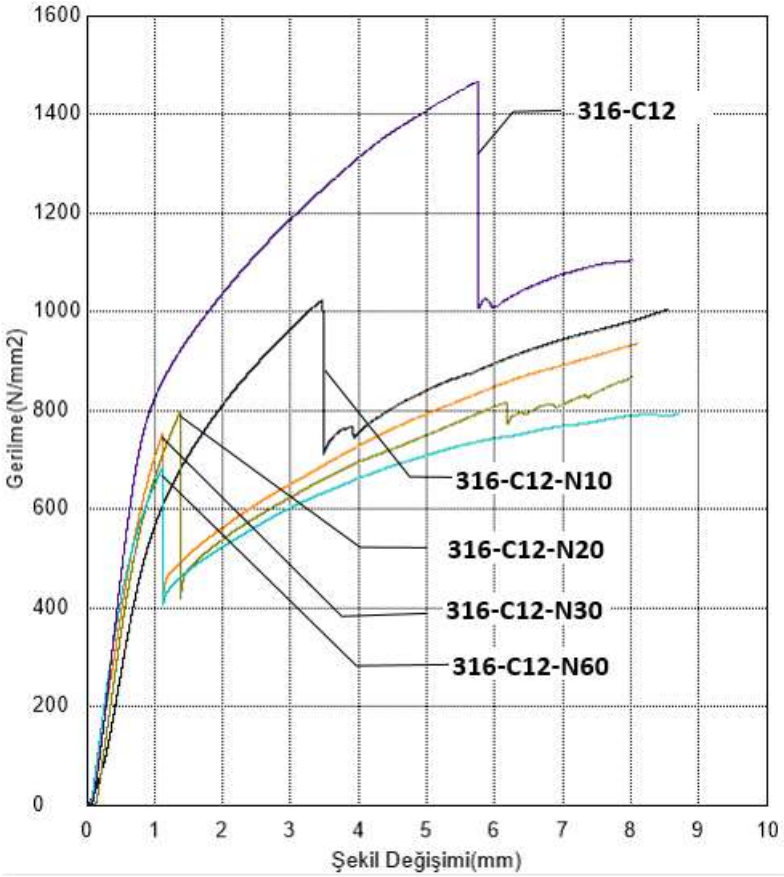
Üç nokta deneyinde AISI 316 paslanmaz çelik ham malzemelerle, C6 ve C12 kobalt elektrotla sert dolgu kaynağı yapılmış farklı çevrim sayılarında termal şok uygulanmış ve termal şok uygulanmamış numunelerle üç nokta eğme deneyi yapılmıştır. Numunelerinin eğme deneyi sonrası maksimum eğilme dayanımları N\cm2, şekil değişimi ise mm olarak verilmiştir. Şekil 20 de bu değerler ve grafikleri verilmiştir. Maksimum eğilme dayanımları kıyaslandığında termal şoka girmemiş numunelerin eğilme dayanım değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Numunelerin maksimum eğme dayanımları termal şok sonrasında belirgin olarak düşüş göstermektedir. Maksimum eğme dayanım değerleri 20 çevrime kadar ani düşerken 20 çevrim sonrasında düşüş eğilimi yavaşlamaktadır. En yüksek eğme dayanımının 316-C12 (A3) numunesinde ve en düşük eğme dayanımının ise 316-C12-N60 (A9) numunesinde olduğu görülmüştür. 316-C12 numunesinin eğme dayanımı 1465 ten 10 termal çevrim sonrası 1021 e düşerek % 30,31azalmıştır. 20 çevrim sonrası ise değer 797 ye düşerek % 45,59 azalmıştır. 60 çevrim sonrası eğme dayanımı % 53,58 oranında düşüş göstermiştir. Yaptığımız çalışma sonrası ortaya çıkan sonuçlar numunelerin eğme dayanımlarının termal şok sayısı ve sıcaklığa bağlı olarak düştüğünü göstermektedir.

Şekil değişimlerini kıyasladığımızda en yüksek değer A1 (316) numunesinde olmuştur. Numunenin şekil değişimi termal şok sonrasında düşmeye başlamıştır. Sert dolgu kaynaklı numuneler arasında A2 (316-C6) numunesinin değeri A3 (316-C12) den daya yüksektir (%26,6 oranında). Numunelerin termal şok sonrası şekil değişimi değerleri düşüş göstermektedir. A2 numunesinin şekil değişimi termal şok sonrasında % 55,7 oranında azalmıştır. A3 numunesinin şekil değişimi 10 çevrim sonrası termal şoksuz haline göre % 41,37 oranında düşmüştür. A3 numunesinin şekil değişimi 20 çevrim sonrası termal şoksuz haline göre %75,86 oranında düşüş göstermiştir. Gerek termal şok gerekse test sıcaklığının artırılması şekil değişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıcaklık ve termal şok malzemenin tokluğunu düşürmektedir.



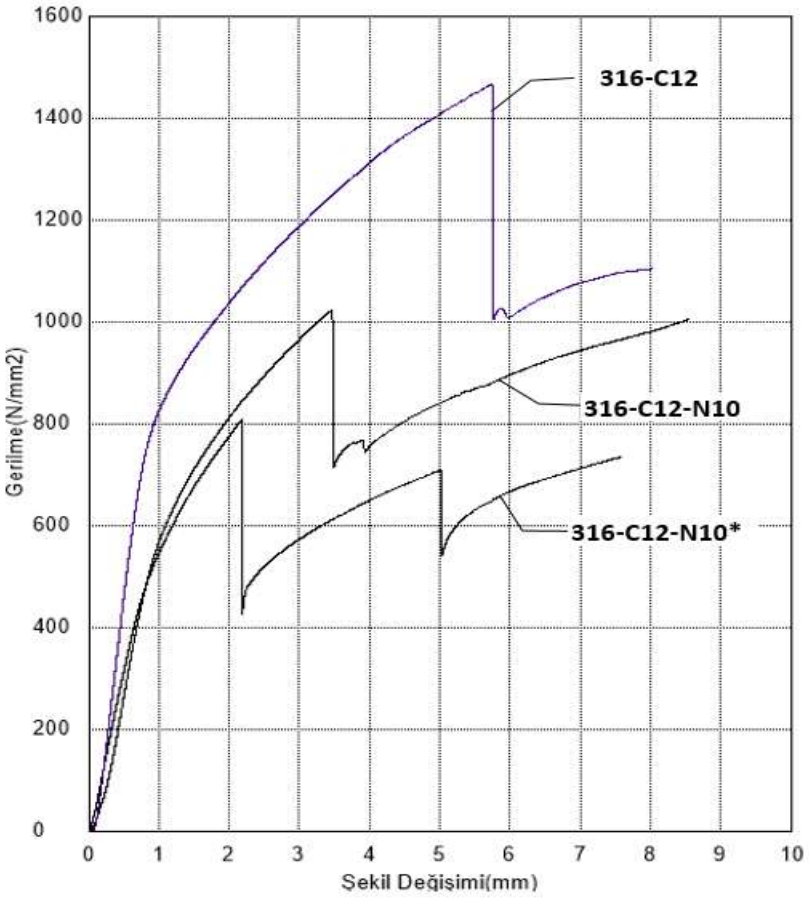
Numune	Sertlik, HR_A		Darbe Dayanımı (J/cm²)	Maks.Eğilme Dayanımı (N/mm2)	Şekil Değişimi, (mm)
	Ana metal	Kaplama			
316	55,6	-	234	1409	10,5
316-C6	57	74,35	175	1427	7,9
316-C12	58,65	74,2	173	1465	5,8
316-N10	55,39	-	216	1140	10
316-C6-N10	55,12	72,64	198	1174	3,5
316-C12-N10	57	74,90	204	1021	3,4

a



b

Numune	Sertlik, HRA		Darbe Dayanımı (J/cm²)	Maks.Eğilme Dayanımı (N/mm2)	Şekil Değişimi, (mm)
	Ana metal	Kaplama			
316-C12	58,65	74,2	173	1465	5,8
316-C12-N10	57	74,90	204	1021	3,4
316-C12-N20	56,29	72,53	189	797*	1,4
316-C12-N30	56,12	76,81	179	750	1,1
316-C12-N60	56,89	72,48	177	680	1,1



c

Numune	Sertlik, HRA		Darbe Dayanımı (J/cm²)	Maks.Eğilme Dayanımı (N/mm2)	Şekil Değişimi, (mm)
	Ana metal	Kaplama			
316-C12	58,65	74,20	173	1465	5,8
316-C12-N10	57	74,90	204	1021	3,4
316-C12-N10*	53,65	72,48	167	808	2,2

Şekil 20. a) Kaplama yapılmamış, farklı türde kaplama yapılmış, kaplama öncesi termal şok uygulanmış ve kaplama sonrası termal şok uygulanmış numunelerin eğilme-yer değiştirme grafikleri ve bu numunelerin karşılaştırmalı mekanik özellikleri *b)* Aynı türde kaplama yapılmış, kaplama sonrası termal şok uygulanmamış ve kaplama sonrası termal şok uygulanmış numunelerin eğilme-yer değiştirme grafikleri ve bu numunelerin karşılaştırmalı mekanik özellikleri *c)* Aynı türde kaplama yapılmış, kaplama sonrası termal şok uygulanmamış ve kaplama sonrası farklı sıcaklıklarda termal şok uygulanmış numunelerin eğilme-yer değiştirme grafikleri ve bu numunelerin karşılaştırmalı mekanik özellikleri

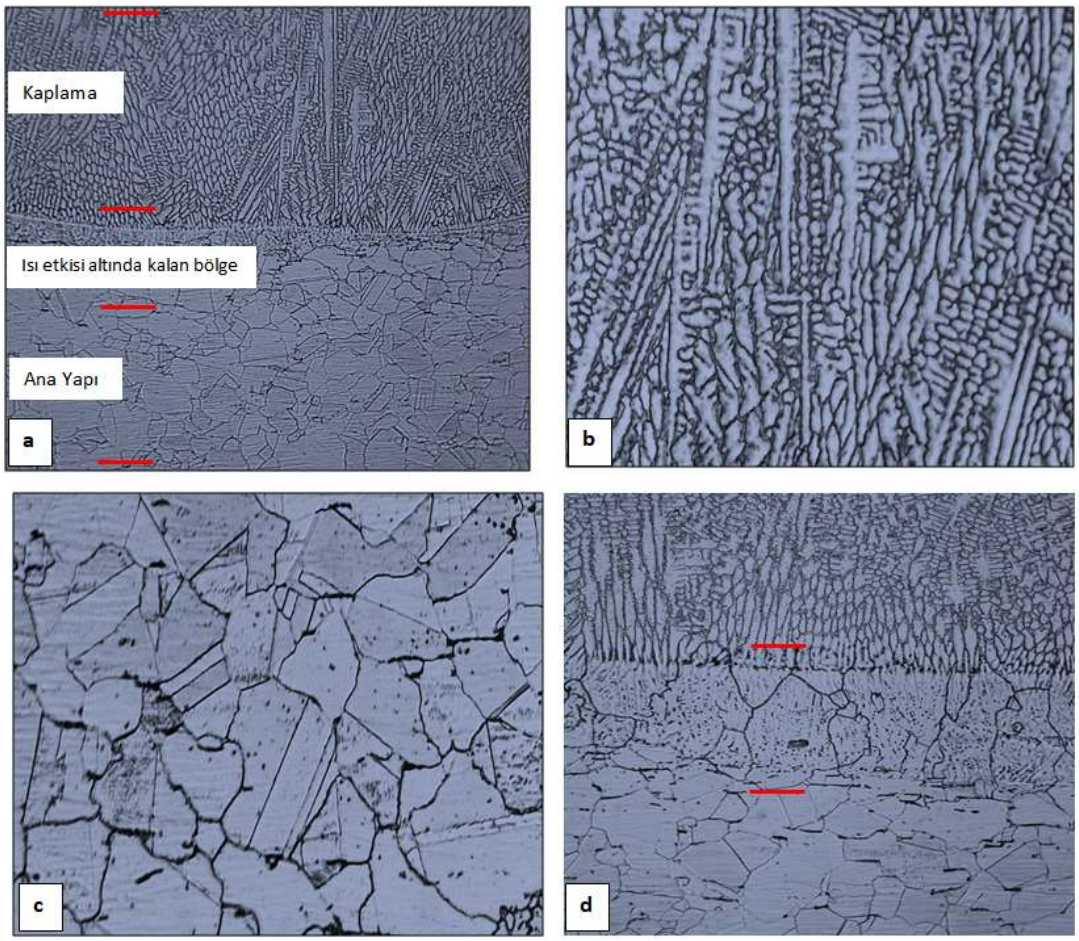
4.4. Metalurjik İnceleme Sonuçları

Yapmış olduğumuz mikro yapı analiz sonuçlarını incelediğimizde Şekil 21 de AISI 316 paslanmaz çelik üzerine sert krom kaplama yapılmış bir numunenin mikroyapısı görülmektedir. Ana malzeme östenitik paslanmaz çeliğin tipik mikroyapısını göstermektedir. Östenitik yapıda genelde ince taneli bir doku hakimdir. Bu yapı korozyon direnci ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesine olanak tanır. Östenitik paslanmaz çelikler krom, nikel ve molibden gibi elementler içerdiğinden dayanıklılık ve süneklik özellikleri açısından avantaj sağlar.

Kaplama bölgesinde belirgin bir dentritik katılaşma yapısı gözlemlenmektedir. Dentritik yapı hızlı katılaşma ve termal gradyanlar nedeniyle oluşur. Bu tür mikroyapılar genellikle sertlik ve aşınma direncini artırır ancak aynı zamanda kırılganlık yaratabilir. Dentritik yapıların incelenmesi kaplama prosesindeki soğuma hızını ve enerji girdisini anlamaya yardımcı olur.

Ana malzeme ile kaplama arasında bir geçiş bölgesi bulunmaktadır. Bu bölge termal etkiler ve malzeme difüzyonunun etkisiyle meydana gelir, ergitme kaynaklarında görülen ısıdan etkilenmiş bölgeye (ITAB) benzeyen bir yapıya sahiptir. Geçiş bölgesindeki yapı genellikle kaplamanın performansını belirleyen kritik bir alan olup bu alanda malzeme farklılıklarından kaynaklanan gerilmeler oluşabilir. Geçiş bölgesinin altında yüksek sıcaklık nedeniyle ana malzemede belirgin bir tane irileşmesi gözlenmektedir. İri tanelerin kırılganlığa ve darbe dayanımının azalmasına yol açabilmesinden dolayı tane irileşmesi genellikle malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler.

Kaplama işlemi sırasında kullanılan enerji miktarı ve soğuma hızı ortaya çıkan mikroyapıyı önemli ölçüde etkiler. Dentritik yapının boyutları ve geçiş bölgesinin kalınlığı kaplama işleminin kontrol parametrelerine bağlıdır. Bu tür mikroyapısal analizler, kaplama işleminin optimizasyonu ve kaplamanın ana malzeme ile uyumunun artırılması için kritik bilgiler sunar. Dentritik yapıdaki sert krom kaplama, aşınmaya ve korozyona karşı mükemmel direnç sağlar. Bununla birlikte kaplama sırasında meydana gelen gerilmeler ve geçiş bölgesindeki yapı farklılıkları, kaplamanın bütünlüğü ve uzun vadeli performansı için dikkat edilmesi gereken faktörlerdir. Tane irileşmesini kontrol altına almak için kaplama sonrası termal işlem (örneğin, tavlama) veya hızlı soğutma teknikleri uygulanabilir.



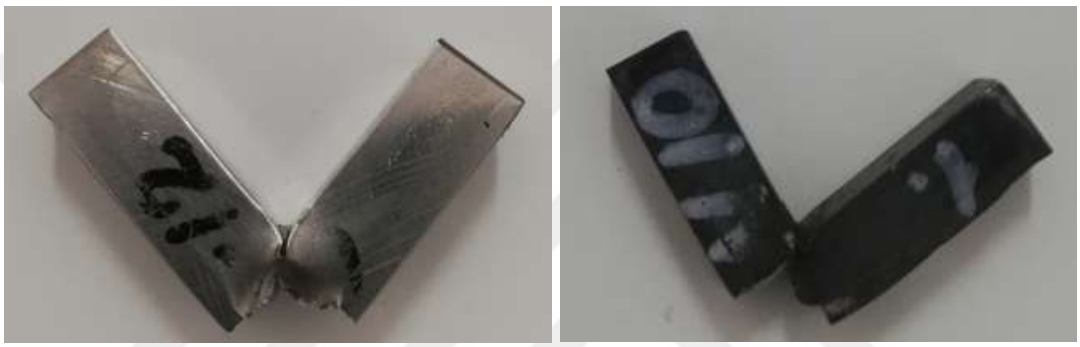
Şekil 21. a) Ana yapı sert yüzey kaplama bölgesi mikroyapı görüntüsü, b) Kaplama bölgesi detayı, c) Anayapı detayı, d) Isı etkisi altında kalan bölge detayı

4.5. Darbe ve Eğme Deneyleri Sonrası Numunelerin Değerlendirilmesi

Darbe ve eğme deneyleri sonrasında numunelerde görülen kırılma ve eğilme şekillerinde yapılan işleme göre benzerlikler görülmüştür. Ortak özellik gösteren numune şekilleri benzer gruplar altında toplanıp yorumlanmıştır. Şekil 22 de işlem görmemiş numunelerin 30 kpm darbe enerjisi altında sahip oldukları yüksek tokluk nedeni ile numunelerin kırılmadığı görülmüştür. Sert dolgu kaynağı sonrası sertleşen numuneler 30 kpm darbe enerjisi altında kırılmıştır. Şekil 23 de sert dolgu kaynağı sonrası numunelerin darbe testi sonrası kırılmaları, şekil 24 de ise eğme deneyi sonrası kırılmaları görülmektedir. Numunelerde sert dolgu kaynağı sonrası sertlik ve gevreklik artmakta akma sınırının düşmesi sonrasında kırılma meydana gelmektedir. Fakat ham malzemeler nispeten daha yumuşak ve akma sınırları daha yüksek olduğu için kırılmamıştır.

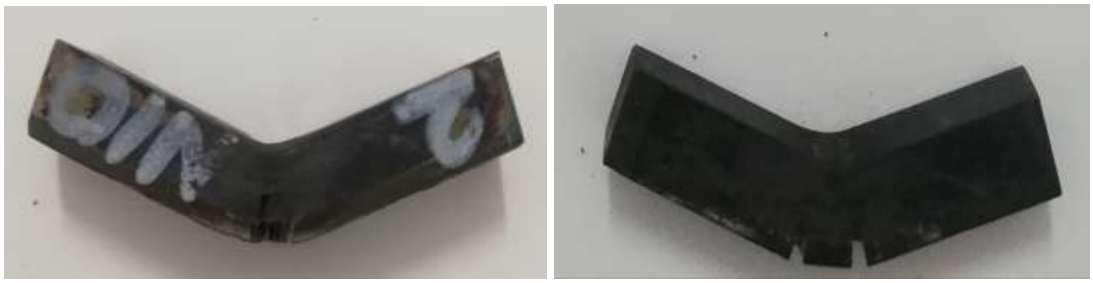


Şekil 22. AISI 316 paslanmaz çelik işlem görmemiş **n**umunelerin darbe deneyi sonrası görünümü



a) C 12 b) C 6

Şekil 23. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerin sert dolgu kaynağı sonrasında darbe deneyi ardından görünümü



Şekil 24. AISI 316 paslanmaz çelik numunelerin sert dolgu kaynağı sonrasında eğme deneyi ardından görünümü

Darbe ve eğme deneyleri yaptığımız numuneler benzer özellik göstermiştir. Aynı özelikteki numuneler tek noktadan kırıldı ise iki deneyde de genellikle tek noktadan kırılmış, iki noktadan kırıldı ise genellikle benzer şekilde iki noktadan kırılmıştır. Şekil

25 te kobalt 12 elektrotla sert dolgu kaynağı yapılmış 1200ºC de 10 çevrim termal şok uygulanmış numuneler hem darbe hem eğme deneyi sonrasında iki noktadan benzer şekilde kırılma göstermiştir. Numuneler eğme ve darbe enerjisi altında genel olarak orta noktadan kırılmakta sonrasında ise kaynak bölgesinde biriken gerilmelerin devam etmesi neticesinde ikinci noktadan tekrar kırılmaktadır. Termal şok uygulanmış numunelerde çoğunlukla ikili kırıklar oluşmaktadır. Ağırlık olarak çiftli kırık olsa da şekil 26 da görüldüğü gibi tekli kırıklara da rastlanmaktadır.



Şekil 25. AISI 316 C-12* 10 çevrim uygulanmış paslanmaz çelik numunelerin sert dolgu kaynağı sonrasında darbe ve eğme deneyi ardından görünümü



Şekil. 26 AISI 316 C-12 10 çevrim uygulanmış paslanmaz çelik numunelerin sert dolgu kaynağı sonrasında darbe ve eğme deneyi ardından görünümü

5. BÖLÜM

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Genel Sonuçlar

1. Ana malzemenin (316-0) ortalama sertliği 55,6 HRA, C12 ve C6 tip elektrotlarla sert yüzey kaplama sonrası kaplama sertliği ortalama 74 HRA olarak ölçülmüş olup kaplama elektrotu tipine bağlı olarak sertlikte önemli bir değişim görülmemiştir.
2. Ana malzemenin sertliği, sert yüzey kaplama işleminden sonra her iki kaplama elektrotu tipi içinde önemli ölçüde değişim göstermemiştir.
3. Kaplanmamış ve de farklı tip elektrotlarla kaplanarak tekrarlı termal şoka maruz bırakılan numunelerde termal şok sonrası ana malzeme ve kaplama sertliklerinde hatırı sayılır bir değişim meydana gelmemiştir.
4. Termal şok öncesi, kaplanmamış numunenin (316-0) ortalama darbe dayanımı 230 J/cm2 olarak ölçülmüş olup kaplama sonrası her iki tip (C6, C12) elektrot için darbe dayanımının düştüğü (175 J/cm2) görülmüştür.
5. Termal şok sonrası (N10) kaplanmamış numunenin (316-0) darbe dayanımı düşerken (230 J/cm2 ‘den 212 J/cm2 ‘ye) C12 ve C6 elektrotlarla kaplanmış numunelerin darbe dayanımlarında termal şok öncesi duruma göre bir miktar artış gözlenmiştir (≅ 200 J/cm2). Ayrıca farklı elektrot tipleri için yakın değerler elde edilmiştir.
6. Termal şok tekrar sayısının (N10-N60) darbe dayanımına etkisi incelendiğinde (316-C12 numuneler için) termal şok tekrar sayısındaki artışa bağlı olarak (N10, N20, N30, N60) darbe dayanımımın düştüğü ve bu düşüşün N20 tekrardan sonra azaldığı gözlemlenmiştir.
7. Termal şok sıcaklık aralığının (ΔT) darbe dayanımına etkisi incelendiğinde, (ΔT=1000-50 ve ΔT=1200-50) ΔT, artışına bağlı olarak darbe dayanımının önemli

ölçüde düştüğü (204 J/cm2 den 167 J/cm2 ye) gözlemlenmiştir. Benzer şekilde ΔT artışına bağlı olarak numunelerin eğilme dayanımı düşmektedir.

8. Sert yüzey kaplanmış (316-C6, 316-C12) numunelerin, termal şok öncesi kaplanmamış numunelere (316-0) göre eğilme dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Termal şok sonrası ise (N10) kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin eğilme dayanımlarının düştüğü, bunun yanında kaplanmış numunelerde ilk kırılmanın meydana geldiği sehim değerinin de düştüğü gözlemlenmiştir.

9. Kaplanmış numunenin (316-C12), termal şok tekrar sayısına bağlı olarak (N10, N20, N30, N60) eğilme dayanımındaki değişime bakıldığında, sırasıyla N10 tekrar sayısında eğilme dayanımı % 30 düşerken, N20 tekrar sayılarında eğilme dayanımı % 45, N30 tekrar sayısında % 48 ve N60 tekrar sayısında %53 oranında düşmüştür. Tekrar sayısındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımı oransal olarak artmamaktadır. N10 ve N20 tekrar sayılarında eğilme dayanımı önemli oranda düşmüş N20, N30 ve N60 tekrar sayılarında eğilme dayanımında yakın değerler elde edilmiştir. Yani N20 tekrar değerinde numune en düşük dayanım değerine ulaşmıştır.

10. Termal şok tekrar sayısına bağlı olarak eğilme dayanımı düşerken, ilk kırılmanın meydana geldiği sehim değeri de düşmektedir. Yani kaplamanın tokluğu düşmektedir.

11. Kaplama sonrası numune mikroyapısı incelendiğinde kaplama tabakasının dentritik karakterde katılaştığı kaplama tabakasının hemen altında geçiş bölgesinde, ana malzemede tane irileşmesinin gerçekleştiği, bu geçiş bölgesinin altında ise işlem şartlarından etkilenmemiş eş eksenli ince taneli orijinal AISI 316 paslanmaz çelik mikroyapısı gözlemlenmiştir.

5.2 Öneriler

1. Sert yüzey kaplamalarda, kaplama ile ana malzeme arasındaki ara yüzey bağını güçlendirmek amacıyla bir tampon geçiş tabakası uygulanabilir ve bu yöntemin kaplamanın termal ve mekanik dayanımı üzerindeki etkisi incelenebilir.

2. Kaynakla gerçekleştirilen sert yüzey kaplama işlemi sonrasında, kaplanmış malzemelere farklı ısıl işlemler uygulanarak, bu işlemlerin kaplamanın termal şok sonrası mekanik özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilebilir.

3. Sert yüzey kaplamalarda, kaplama kalınlığının malzemenin termal şok davranışı üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenebilir

4. Kaplama kalınlığı ile ısıl genleşme katsayısı arasındaki ilişki değerlendirilerek

termal uyumluluk optimizasyonu sağlanabilir.

5. Termal şok sonrası ortaya çıkan artık gerilmelerin kaplama çatlama direncine olan etkisi incelenebilir.

6. Sürtünme ve aşınma koşullarının kaplama performansına etkileri farklı ortam koşullarında test edilerek değerlendirilmelidir. Termal şok öncesi ve termal şok sonrası tribolojik davranışlar test edilebilir.

KAYNAKÇA

1. Kaluç, C. (2004). ‘’Paslanmaz Çelikler”, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri”, Askaynak-İstanbul,
2. Altuncu, E. (2011).YSZ VE CSZ Esaslı Termal Bariyer Kaplamaların Üretimi, Karakterizasyonu ve Termal çevrim Performanslarının Karşılaştırılması. Sakarya Üniversitesi, Doktora Tezi, Sakarya.
3. Anık, S. , Tülbentçi, K.ve Kaluç, E. (1991). Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul
4. Aran, A. , Temel, M.A.(2004). "Paslanmaz Çelik", Acar Matbaacılık A.Ş. , İstanbul,
5. Gürkan, M. (2007). Ostenitik ve Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışları. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon.
6. Tehçi, T. (2011). AISI 316 Serisi Ostenitik Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Parametrelerinin Nufuziyete ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
7. Türkan, M. (2013). Kaynaklı Ve Kaynaksız Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Korozif Ortamlardaki Çekme Davranışları. Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
8. Özbek, N. (2013). Aısı 316 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Takım Ömrüne Etkilerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Ankara.
9. Kükürtçü, G. (2014). Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
10. Akın, B. (2014). Aısı 316 L Paslanmaz Çeliklerin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
11. Aslan, O. (2015). Plazma Sprey Kaplama Yöntemiyle Tek Ve Çift Katmanlı Kaplanan AISI 316 L Paslanmaz Çeliğinin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon.

12. Ghiami, A.(2015). Toz Metalurjik 316L Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Aşınma Mekanizmalarının Akustik Emisiyon Tekniği Kullanarak Saptanması. Ege Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
13. Aydeniz, Z. (2019). Termal Sprey Kaplama Yöntemi ile Seramik Kaplanan Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
14. Öcal, M. (2020). Aısı 316L Östenitik Paslanmaz Çeliğin Korozyonlu Yorulma, Termal Çevrim Ve Darbeli Aşınma Davranışlarına Farklı Kaplamaların Etkisi. Atatürk Üniversitesi, Doktora Tezi, Erzurum.
15. Ahmadli, U. (2023). Kaynaklanmış Aısı 2205(En 1.4462) Dubleks Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Ve Gerilmeli Korozyon Davranışının İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.
16. İçli, E. (2023). Farklı Paslanmaz Çeliklerin Tıg Kaynağında Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
17. Yaz, M. (2005). Düşük Karbonlu Yumuşak Çeliklerin Co Esaslı Süper Alaşım Elektrotları ile Kaplanabilirliğinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi, Elazığ.
18. Kisecik, İ. (2010). Sertleştirilmiş Ve Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış Aısı1050 Çeliğinin Aşınma Direncinin Araştırılması. Cumhuriyet Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
19. Ozan, S. (2010). Sert Dolgu Kaynağında Dolgu Alaşım Elementlerinin Aşınma Direnci, Mikroyapı Ve Seyrelme Miktarları Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
20. Yılmaz, A. (2015). Lokal Sert Dolgu Kaynağı Yöntemiyle Sıcak Çelik Gövde Takımlarının Ömrünün Uzatılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
21. Yılmaz, S.(2018). Sert Dolgu Kaynağında Elektrot Kimyasal Bileşiminin ve Kaynak Yönteminin Sertleşme Kabiliyetine Etkisi. Celal Bayar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.
22. Özbey, İ. (2018). Sert Dolgu Kaynağı Uygulanan Aısı H13 Kesme Bıçağının Mekanik Özelliklerinin Ve İşlenebilirliğinin Araştırılması. Karabük Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.

23. Yavuz, Y. (2018). Fe-Cr-W-B-C Esaslı Sert Dolgu Örtülü Elektrot Üretimi Ve Karakterizasyonu. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
24. Çetin, M. (2020). Alüminyum Kılıflı Al/B4C Özlü Kompozit Sert Dolgu Çubuğu Üretimi ve TIG Kaynak Yöntemiyle Oluşturulan Yüzey Kaplamanın Karakterizasyonu. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
25. Çelik, M. (2021). Fe Kılıflı Fe/B4C Özlü Sert Dolgu Kaynak Elektrodu Üretimi Ve Dolgu Karakterizasyonu. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
26. Mammadov, E. (2022). Sert Dolgu Kaynaklarında Karbür Oluşumu Mekanizmalarının İncelenmesi. Gedik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
27. Asgarov, B. (2022). Sert Dolgu Kaynaklarının Katılaşması Sırasında Oluşan Farklı Boyutlu Karbürlerin Aşınma Ve Sertlik Özelliklerine Etkisi. Gedik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
28. Karaali, E. (2008). TBK Kaplamaların Termal Şok Özelliklerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
29. Altuncu, E. (2011).YSZ VE CSZ Esaslı Termal Bariyer Kaplamaların Üretimi, Karakterizasyonu ve Termal çevrim Performanslarının Karşılaştırılması. Sakarya Üniversitesi, Doktora Tezi, Sakarya.
30. Yılmaz, E. (2014). İn Vitro Ortamda Termal Çevrimin Üç Farklı Diş Dolgu Malzemesinin Üzerindeki etkileri. Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
31. Koçarslan, A. (2016). 16MnCr5 Çeliğinin Borlama ve Termal Çevrimli Borlama Özelliklerinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
32. Kaplan M. (2017). Termal Bariyer Kaplamaların (TBC) Katı Partikül Erozyonu. Selçuk Üniversitesi, Doktora Tezi, Konya.
33. Kanar B. (2018). Nano Yapı Katkılı Yapıştırıcıların Ortam Sıcaklığı ve Termal Çevrim Altında Kırılma Davranışlarının İncelenmesi. Erzurum Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
34. Dölekler K. (2018). YSZ, Gd2Zr2O7 VE YSZ/ Gd2Zr2O7 İçerikli Termal Bariyer Kaplama Sistemlerinin İzotermal Oksidasyon ve Termal Çevrim Davranışlarının İncelenmesi. Karabük Üniversitesi, Doktora Tezi, Karabük.

35. Fidan H. (2018). Termal Çevrime Maruz Bırakılmış 4/3 Dizilimli Fiber Metal Tabakalı Kompozitlerin Eğilme Özelliklerinin ve Oluşan Hasar Mekanizmalarının Belirlenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
36. Yazıcı H. (2019). Vollastonit Dolgulu Poliamitin Krom Kaplama Sürecinin İyileştirilmesi ve Termal Çevrim Dayanımının Değerlendirilmesi. Kocaeli Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
37. Akgül E. (2019). Influence Of Thermal Damage on Physico-Mechanical Properties Of Carbonate Rocks: Porosity, Hardness, Ucs and Ultrasonic Wave Evolutions. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla.
38. Öcal M. (2020). AISI 316L Östenitik Paslanmaz Çeliğin Korozyonlu Yorulma, Termal Çevrim ve Darbeli Aşınma Davranışlarına Farklı Kaplamaların Etkisi. Atatürk Üniversitesi, Doktora Tezi, Erzurum.
39. Ayaş, H. (2020). Doğal Ortamın, UV Işınının, Termal Çevrimlerin Ve Suyun Bileşik Etkisi Altında Akrinonitril Bütadien Stiren Polimerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Gebze Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze.
40. Kurt E. (2021). Farklı Termal Çevrimlere Maruz Bırakılmış Alüminyum/Alüminyum Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Eğilme Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Olarak Çalışmalar. Kocaeli Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
41. Gökkaya, A. (2022). Kordiyeritin Termal Şok Dayanımını Etkileyen Parametreler Ve Kalite Kontrolü. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
42. Erdoğan, N. (2023). İnconel 601 Süper Alaşımının %8 YSZ tozu ile Termal Bariyer Kaplama Sonrası Korozyon ve Termal Şok Dayanımlarının İncelenmesi. Kırıkkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale.
43. Asm Metals Referance Book, Asm Publusher, (1984).
44. Asm Handbook. (1992).
45. Kaluç, E. , Tübentçi, K,(1998). "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi, Eğitim Ve Uygulama Merkezi, Kocaeli
46. Gürleyik, M.Y. (1988). Malzeme Bilgisi Ve Malzeme Muayenesi
47. Crook, P. and Farmer, H.N. (1992). Friction and wear of hardfacing alloys, Friction, Lubrication, and Wear Technology, Vol. 18

48. Erdoğan, M. (2000). Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Cilt I, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 169 s.
49. Çiftçi, İ. (2005). "Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının Ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
50. Çelik, S. (2012). Paslanmaz Çeliklerin İç Yapı ve Türleri. Sarıtaş Çelik, İstanbul
51. Davis, J. R. (1994). Stainless steels. ASM international.
52. Asm Specialty Handbook, (1999).
53. Kanbollu, S. (1996). Ostenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
54. Soncu, M. (2008). G-X 10CrNiMoNb 18-10 Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Asidik Çözeltilerdeki Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
55. Kılıç, M.(2008). Aısı 304 Paslanmaz Çeliği ve 1040 Çelik Çifti'nin Plazma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
56. Pollard, B. (1993). "Selection of Wrought Precipitation-Hardening Stainless Steels", ASM Metals Handbook, V.6, 482-493
57. Abuç, S. (2006). Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi İle Kaynağında Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
58. Kaluç, E. , and Taban, E. (2007) Paslanmaz Çelikler Geliştirilen Yeni Türleri ve Kaynak Edilebilirlikleri, Yayın No: 2007/461, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara
59. Kaluç, E.(1996) " Östenitik Krom – Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Gedik Kaynak Dünyası, Sayı 2, 18–21
60. Kaluç, E. , Tülbentçi, K.(1995) "Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği" Seminer Notları, Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli, 7-178
61. Dikicioğlu, A. ve Vural, M. (1993). Sert Dolgu Kaynağı İle Tamir Bakım, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul.
62. Çelik, H. , Osman, A. , Çimenoğlu, H. , Kayalı, E.S. (1995) ''Stellite 6 Alaşımının Yüksek Sıcaklıktaki Aşınma Davranışına Silisyumun Etkisi'', TMMOB

Metalurji Müh. Odası 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul,286-291.

63. M, Mashinostroenie. (1979). Makine Mühendisliğinde Kaynak: Bir El Kitabı. 4 ciltte / Ed. Col. G.A. Nikolaeva (önceki) ve diğerleri -, (Rus kaynak)
64. Jeffus, L.F. (1997). Welding Principles And Applications, Thomson Delmar Learning,
65. Truschenko E.A. (2008). Ark Kaynağı Modlarının Hesaplanması. Kurs Ve Diploma Tasarımı İçin Yönergeler. Tomsk Politeknik Üniversitesi Yayınevi
66. Altınkök, N. (1997). Sert Dolgu Kaynağı Ve Plazma Kaplamaların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
67. Varol, F.(2006). Trenlerde Kayma Plakalarına Uygulanan Dolgu Kaynağı Uygulamalarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
68. Özsaraç, U. (2005). Raylı Taşıtlarda Teker Bandajı-Ray Sisteminde Dolgu Kaynağı Ve Sabo Parçaların Aşınma Ve Yorulma Davranışlarının İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Doktora Tezi, Sakarya
69. Jha, A.K., Gachake, A., Prasad, B.K., Dasgupta, R., Singh, M., Yegneswaran, A.H. (2002). High Stress Abrasive Wear Behavior of Some Hardfaced Surfaces Produced by Thermal Spraying, Journal of Materials Engineering and Performance, 11(1): 37-45
70. Davis, J.R.(2003).Surface Hardening Of Steels: Understanding The Basics, ASM International,
71. Cavcar, M. M. (1998). Hızlı Sert Dolgu Kaynak Yöntemleri, Oerlikon Yayınları, İstanbul, 33s.
72. Sağbaş, B. (2007). Bakım ve Onarım Amaçlı Dolgu Kaynağının Plastik Enjeksiyon ve Seramik Kalıpçılığındaki Uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 166s.
73. TS 9470/Eylül (1991)
74. Yılmaz, M. (1997). Seramik Kaplamalarda Ara Malzeme Ve Porozitenin Termal Şok Üzerine Etkisi, Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
75. Çelebi, A. (1996). Seramik Kaplamalarda Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Termal Şok Analizi. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

76. Çengel, Y.A., Turner R. H,(2001). Fundamentals of Thermal Fluid Sciences.Newyork
77. Gedik kaynak Cobalt 6 ve Cobalt 12 EKaynak Metalinin Kimyasal Analizi ve Mekanik Değerleri Raporu
78. https://gedik.com.tr/kaynak/kaynak-elektrotlari-telleri-ve-tozlari/sert-dolgu/sert-dolgu-elektrotlari/cobalt-6
79. Pürçek, G. (2014). Metalik Malzemelere Uygulanan Mekanik Deneyler (Ders Notları). Gençağa Pürçek Trabzon,
80. https://batman.edu.tr/images/files/Kaynak_Deney_Foyu_(1).pdf

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı:	Mükremin ÇİMEN
Uyruğu:	Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	**Kurum**	**Mezuniyet Tarihi**
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2025
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2003
Lise	Fevzi Çakmak Lisesi	1994

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2014-Halen	Kayseri Büyükşehir Belediyesi	Yapı İşleri Şefi
2009-2014	Okandan Cam San. Tic. A.Ş.	Üretim ve Satış Müdürü
2007-2009	Sebat Alüminyum San. Tic. A.Ş.	Üretim ve Satış Müdürü

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1.Çimen, M. (2024), Aısı 316 Paslanmaz Çeliği Üzerinde Kaynakla Oluşturulmuş Sert Yüzey Kaplamanın Darbe Ve Termal Şok Davranışının İncelenmesi, **6. International Cappadocia Scientific Research Congress, The Proceedings Book**: 84-92.