

T.C
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
LİSANS ÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇELİK MALZEME YÜZEYİNE TEL ARK PÜSKÜRTME
TEKNİĞİ İLE KAPLANAN PASLANMAZ ÇELİK
TABAKALARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ESEN BARIŞ ADSIZ

DANIŞMAN
PROF.DR. SERKAN ÖZEL

OCAK 2023
BİTLİS

T.C
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
LİSANS ÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇELİK MALZEME YÜZEYİNE TEL ARK PÜSKÜRTME
TEKNİĞİ İLE KAPLANAN PASLANMAZ ÇELİK
TABAKALARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ESEN BARIŞ ADSIZ
ORCID:0000-0002-7289-7705

DANIŞMAN
PROF.DR. SERKAN ÖZEL

OCAK 2023
BİTLİS

T.C.
BİTLİS EREN VE ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
LİSANS ÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez yazım kılavüzuna uygun hazırladığım “Çelik Malzeme Yüzeyine Tel Ark Püskürtme Tekniğı ile Kaplanan Paslanmaz Çelik Tabakaların İncelenmesi” tezimi yazarken tamamen özgün bir çalışma olduğu ve tez hazırlanırken bütün aşamalarında bilimselik etik ilkelerinin tamamına uygun davranarak, tez hazırlama aşamasında sunduğum tüm verilerin bilimselik etik ilkelerinin tamamına uygun olarak elde ettiğimi, tez yazarken bilgisine başvurduğum tüm eserlere atıfda bulunduğumu ve kaynaklar kısmında bu eserleri belirttiğimi beyan ederim.

.../.../2023

Esen Barış ADSIZ

imza

T.C.
BİTLİS EREN VE ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZ YAZIM KILAVUZU UYGUNLUK BEYANI

“Çelik Malzeme Yüzeyine Tel Ark Püskürtme Tekniği ile Kaplanan Paslanmaz Çelik Tabakaların İncelenmesi” başlığı ile yazdığım yüksek lisans tezini Bitlis Eren Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü Tezim Yazım Kılavuzundaki kurallara uygunluk bakımından tam hazırlanmıştır...../...../2023

Tezi Hazırlayan

İmza

Esen Barış ADSIZ

Danışman

İmza

Prof. Dr. Serkan ÖZEL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

İmza

Prof. Dr. Serkan ÖZEL

T.C.
BİTLİS EREN VE ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
LİSANS ÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY SAYFASI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalını öğrencilerinden Esen Barış ADSIZ tarafın dan hazırlanmış''Çelik Malzeme Yüzeyine Tel Ark Püskürtme Tekniği ile Kaplanan Paslanmaz Çelik Tabakaların İncelenmesi''isimli Yüksek Lisans Tezi ile ilgili tezin savunulması sınavı...../...../2023 tarihinde yapılmıştır ve tez oy birliği/oy çokluğu ile kabul/red edilmesi konusunda karar alınmıştır.

JÜRİ:

Danışman: Prof.Dr.Serkan ÖZEL

Bitlis Eren Ün.

İMZA

.....

Üye:Doc.Dr. Musa KILIÇ

Batman Ün.OSB Meslek Yüksek Okulu

.....

Üye:Dr.Öğrt. Üyesi. Yunus SAYAN

Bitlis Eren Ün.

.....

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü YönetimKurulunun.....

Tarih ve..... sayılı kararı ile jüriler tarafın dan kabul görmüş bu çalışmanın yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

..../..../2023

.....

Doc.Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL
Enstitü Müdürü

T.C.

Bitlis Eren ve Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**ÇELİK MALZEME YÜZEYİNE TEL ARK PÜSKÜRTME
TEKNİĞİ İLE KAPLANAN PASLANMAZ ÇELİK
TABAKALARININ İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Esen Barış ADSIZ

Prof. Dr. Serkan ÖZEL

OCAK 2023

ÖZET

Bu çalışmadaki amaç, düşük karbonlu çelik malzeme yüzeyine AISI 308 ve AISI 420 paslanmaz çelik bir kaplama malzemesi ile termal spreycaplama yöntemlerinden biri olan ark püskürtme kaplama yöntemiyle kaplanarak alt malzeme olarak kullanılan düşük karbonlu çeliğin yüzey özelliklerini iyileştirmektir. AISI 308 ve AISI 420 paslanmaz çelik teller farklı akımlar (150 A, 200 A, 250 A) ile kaplama yapılmıştır. Kaplama tabakalarının mikroyapı, mikrosertlik ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Mikroyapı incelemesinde optik mikroskop, elektron mikroskobu (SEM), elementel analiz (EDS) ve x-ışını kırınımı (XRD) kullanılmıştır. Numunelerin kaplama tabakasına, %3.5 NaCl çözeltisinde korozyon deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarında akım şiddetinin artmasıyla mikrosertlik değerinin arttığı, farklı sürelerde gerçekleştirilen korozyon deneylerinde ise 150 ve 200 A akım şiddeti ile AISI 308 paslanmaz çelik kaplanan numunelerde daha fazla ağırlık kaybı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tel ark spreycaplama, kaplama, paslanmaz çelik, mikroyapı, mikrosertlik, korozyon

Republic of Türkiye
Bitlis Eren and Erciyes University Graduate School
Department of mechanical engineer major
INVESTIGATION OF STAINLESS STEEL LAYERS COATED WITH WIRE
ARC SPRAY TECHNIQUE ON STEEL MATERIAL SURFACE
Master's Thesis

Esen Barış ADSIZ

Supervisor: Prof. Dr. Serkan ÖZEL

January 2023

ABSTRACT

The aim of this study is to improve the surface properties of low carbon steel used as substrate by coating the surface of low carbon steel material with a coating material of AISI 308 and AISI 420 stainless steel by arc spray coating method, which is one of the thermal spray coating methods. AISI 308 and AISI 420 stainless steel wires were coated with different currents (150 A, 200 A, 250 A). Microstructure, microhardness and corrosion properties of the coating layers were investigated. Optical microscopy, electron microscopy (SEM), elemental analysis (EDS) and x-ray diffraction (XRD) were used for microstructure examination. Corrosion tests were performed on the coating layer of the samples in 3.5% NaCl solution. The results of the experiments showed that the microhardness value increased with increasing current intensity, and more weight loss was detected in the samples coated with AISI 308 stainless steel with 150 and 200 A current intensity in corrosion experiments performed at different times.

Keywords: Wire arc spray, coating, stainless steel, microstructure, microhardness, corrosion

TEŞEKKÜR

Tezin yazım aşamasında, tez konusunun belirlenmesin de gerekse çalışmanın tamamlanmasın da bütün ihtiyaç duyduğum konularda bana yardımını esirgemeyen değerli katkılarıyla çalışmama yön vermiş sayın hocam Prof. Dr. Serkan ÖZEL'e, Senkron Şirketine, Bitlis Eren Üniversitesi Rektörlüğüne, Yüksek Lisans Eğitimimde desteklerini eksik etmeyen eşim Rabia YAĞMUR ADSIZ ve çocuklarım Ariya Meva ADSIZ, Aram Ahlas ADSIZ'a teşekkür ederim, şükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
ŞEKİLLER DİZİNİ	6
ÇİZELGELER DİZİNİ	8
KISALTMALAR	9
1. GİRİŞ	10
1.1. Literatür Bilgisi	11
1.2. PASLANMAZ ÇELİKLER VE ÇEŞİTLERİ NELERDİR.....	13
1.2.1 Östenitik Paslanmaz Çelik:.....	9
1.2.2. Ferritik Paslanmaz Çelik:.....	10
1.2.3. Duplex Paslanmaz Çelik:	11
1.2.4. Martensitik Paslanmaz Çelik.....	13
1.2.5. Çökelmeyle Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelik (PH)	14
1.3. KAPLAMA YÖNTEMLERİ	4
1.3.1.Kimyasal Buhar Yoğuşturma(CVD).....	5
1.3.2. Fiziksel Buhar Yoğuşturma(PVD)	5
1.3.3. Termal Sprey Yöntemleri	6
1.3.3.1. Alev Sprey.....	6
1.3.3.2. Plazma Ark Sprey	7
1.3.3.3. HVOF	8
1.3.3.4. ElektrikArk Sprey.....	30
1.4. KOROZYON ÇEŞİTLERİ	30
1.4.1. Üniform Korozyon (Genel Korozyon).....	31
1.4.2. Çukur Korozyonu	31
1.4.3. Seçimli Korozyon	23
1.4.4. Galvanik Korozyon.....	24
1.4.5. Tane Sınırları Korozyonu	24
1.4.6. Erozyon Korozyonu.....	24
1.4.7. Aralık Korozyonu	25
1.4.8. Gerilmeli Korozyon Çatlaması	25

2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	38
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	61



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. CVD sisteminin şematik gösterilişi	10
Şekil 1.2. PVD'nin çalışma ilkesinin şematik gösterilişi.....	11
Şekil 1.3. Termal Sprey Kaplama Yönteminin Endüstride Kullandığımız Sektörler...	12
Şekil 1.4. Termal sprej teknolojilerinin sınıflandırılması	13
Şekil 1.5. Toz malzeme kaplama için alevli sprej kaplama şeması	14
Şekil 1.6. Plazma Ark Sprej Sistemi	15
Şekil 1.7. HVOF termal sprej sistemi	16
Şekil 1.8. Elektrik ark termal sprej sistemi	17
Şekil 1.9. Elektrik ark termal sprej sistemi	19
Şekil 1.10. Elektrik ark termal sprej sistemi	20
Şekil 1.11. Korozyon Çeşitleri.....	23
Şekil 1.12. Korozyon Türleri.....	27
Şekil 2.1. Tel Ark sprej kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.2. Yüzey kaplandıktan sonraki numunenin görünüşleri verilmiştir.....	29
Şekil 3.1. A1 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakası ve arayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası.....	32
Şekil 3.2. A1 numunesindeki ara tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü, b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı.....	33,34
Şekil 3.3. A1 numunesindeki kaplama tabakasından alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi ve c) 2 nolu EDS analizi. d) 3 nolu EDS analizi.....	35,36
Şekil 3.4. A2 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakası ve arayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası.....	37
Şekil 3.5. A2 numunesinin kaplama tabakasından alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi ve c) 2 nolu EDS analizi. d) 3 nolu EDS analizi.....	38,39
Şekil 3.6. A3 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakası ve arayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası.....	40
Şekil 3.7. A3 numunesinin kaplama tabakasından alınan a) SEM fotoğrafı, b) 1 nolu EDS analizi ve c) 2 nolu EDS analizi. d) 3 nolu EDS analizi.....	41,42
Şekil 3.8. B1 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakası ve arayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası.....	43
Şekil 3.9. B1 numunesindeki kaplanmış tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü, b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı. d) 3 nolu EDS analiz yapısı	44,45

Şekil 3.10. B2 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakası vearayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası.....	46,47
Şekil 3.11. B2 numunesindeki kaplanmış tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü, b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı. d) 3 nolu EDS analiz yapısı	47,48
Şekil 3.12. B3 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakası vearayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası.....	50
Şekil 3.13. B3 numunesindeki kaplanmış tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü, b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı. d) 3 nolu EDS analiz yapısı.....	51
Şekil 3.14. Numunelerin kaplama tabakalarına ait mikrosertlik değerleri	52
Şekil 3.15. Numunelerin kaplama tabakalarından alınan XRD analizleri, a) A1 numunesi, b) B1 numuesi.....	53
Şekil 3.16. Farklı akım değerleri ile kaplanan numunelerin ağırlık kaybını gösteren korozyon grafiği.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Farklı kaplamaların prosesleri vede genel yapıları.....	11
Çizelge 2.1. Altlıkda kullandığımız malzemenin; Ç 1020 çeliğin kimyasal yapısı (%ağırlığı).....	28
Çizelge 2.2. Yüzeyin alaşımlanmasında kullandığımız tellerin kimyasal içeriği(% ağırlık).....	28
Çizelge 2.3. Numunelervekaplamaparemetreleriverilmiştir[26].....	30



KISALTMALAR

CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
HVOF	: Yüksek hızlı oksijen yakıt yanması püskürtme
SEM	: Elektron Mikroskobu
TWAS	: Çift Telli Ark Püskürtme Kaynak
TEM	: Transmisyon Elektron Mikroskopları
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetreler
XRD	: X-ışını Kırınimleri



1. GİRİŞ

Teknolojilerin her geçen gün gelişmesinden dolayı insanoğlu özelik bakımından zengi malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Toplumlar eski zamanlar bu yana kullandıkları malzemelerin özellikleri bakımından zenginleştirip, kullanıma uygun hale getirmişlerdir. Gelişen teknolojiyle beraber insanların malzeme işlevlerinin daha fazla olmasını ve kullanım amaçlarını daha fazla olmasını beklemektedirler. Bu amaçla geliştirilen malzemelerin ekonomikliği özellikleri kadar önemlidir. Kullanıma hazır malzemelerin biçimsel özellikleri yerine yüzey kalitesinin farklılaştırılması, teknoloji yönünden tasarruflu olan kaplama teknolojilerinin gelişmesinde önemli bir rol almaktadır. Kullanılan malzemelerin, fiziki ve mekaniksel özellikler yönünden geliştirmek, yenilemek, korozyona dayanmayı arttırarak, estetik ve güzel bir görünüm kazandırmak amacı için metalik veya seramik kaplamalar yapılır.[1]

Günümüz Endüstrisi uygulama alanında çok çeşitte istenilmeyen etkiye maruz tutulan malzeme yüzeyinin bu etkilenmeyi önlemek için uygulanan difüzyon olmaksızın kaplama yöntemlerine termal (ısı) püskürtme metodları denir. Bu teknikler teli, çubuklu veya toz biçimindeki kaplanacak malzemeler bir püskürtme tabancasındaki yanıcı gaz, yakıcı gaz ve taşıyıcı gazlar yardımıyla püskürtme işlemi ile malzeme yüzeyine bir kaplama katı (yüzeyi) oluşturur. [2]

Bu kaplama yönteminde kullanılacak kaplama malzemeler tel, çubuk veya toz şeklindeki metalden oluşan malzemeler veya metal olmayan malzeme veya seramikler malzemelerden oluşmaktadır . Bu yöntem ile kullanılan altlık malzemenin özelliklerinde değişiklik olmazken, kaplanan yüzey sayesinde altlık malzemenin aşınma, korozyon ve ısı direnci artar. Termal püskürtme kaynak tekniğiyle tokluk, sertlik, sürtünme katsayısı ve bunun gibi çeşitli birden fazla özelliği olan 2000'nin üzerinde malzemeler kaplanabilir. Bu malzemelere örnek verecek olursak safi metaller, metalik alaşımlar, sermetler, seramikleri, karbitleri, polimerleri ve özel kompozitleri verebiliriz[3]

Tel Ark Püskürtme Yöntemi, termal sprej kaynak teknolojisinin bir çeşidi olarak , bu kaplama yöntemi, termal sprej kaynak yönteminin ekonomiklik açısından en uygun olanıdır. Elektrik ark sprej kaynak teknolojisi , altlık malzemenin yüzeyini aşınma ve korozyon bakımından direnci yüksek bir yapıda , metal içerikli kaplama üretebilmek için kullanılan bir yapıdır. Tel ark püskürtme yöntemi, kaplama maliyetlerinin düşük olmasından , birçok üründe kaplama üretebilmeye olanak tanımasından dolayı oldukça cazip bir yöntemdir. Yapılan

kaplama çeşitleri, her zaman kullanılan çinkoyla kaplama yöntemine alternatif korozyonu amaçlayan uygulamalar, aşınmış parçaların tekrar tekrar kullanılabilir hale getirilmesinden dolayı birçok farklı uygulama çeşitlerinde kullanılabilme keder.

Tel ark püskürtme yöntemi, kaplanacak malzeme olarak birtak elektrik iletme beceriş olan ve tel yapısında üretilebilen malzeme çeşitlerinin kullanılmakta olan kaplama tekniğidir. Kaynaklarda kullanılacak tel yapısı daha çok saf veya alaşımlı metallere oluşun malzemenin veya seramik yapılu içinde partiküller içeren özlü tel yapılarıdır. Elektrik ark püskürtme yöntemi , diğer termal spreyle yapılan kaynak yöntemlerine nazaran bir çok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajları böyle belirtebiliriz; yüksek hızda püskürtebilme yeteneği ve verimliliği bakımından yüksek olması, parametre kontrollerinin oldukça az olmasından dolayı kullanımda kolaylık sağlanması , düşük bütçe ile üretim maliyetinde düşük olması, kaynak yapılırken altlık malzemenin zarara uğramaması , elektrotların soğutulması için suya ihtiyaç olmaması, boyut yapısı bakımından kullanımda kolaylık sağlanması ve kalite bakımından yüksek kalitede kaplamaların üretilmesine olanak sağlanmasıdır [4].

1.1. Literatür Bilgisi

Bulduğumuz bu dönem içersinde materyallerin araştırılmasında önemli bir uygulama, ürünlerin daha işlevselik kazandırmak ve güçlü ve güvenli bir yapı haline getirmek. Başka bir düşündüren durum ise maddi kaynaklardan minimum faydalanmak ve bununla çevrenin üzerinde yaratacağı etkidir. Değişik yapılu elementlerin birleşmesini gerektiren endüstrideki uygulamalar da farklı olaylar ortayada çıkabilmektedir. Kullandığımız ürünler, her malzemenin değişkenlik gösterdiği yapısına bağlı olarak yeni elde edeceğimiz malzemelere yeni bir özellik katmaktadır. Buda ekonomiklik ve kullanışlılık açısından çok büyük bir öneme sahip olmaktadır.[5]

Modernleşmiş teknolojilerde malzemelerdeki fiziksel özellikler, dış faktörler ve korozyonik etkiler için Yüksek dayanıklı, aşınmalara karşıda yüzeylerinin özellikleri bakımından incelenmeleri, her kaplama, uygulamaları için büyükçe öneme sahiptir. Malzemelere yüzey kalitesini artırmak için kazandırmak amacıyla malzeme dış yüzeyine çeşitli yüzey kaplama işlemleri uygulanır (Tusek, 2003). Yüzeydeki bu işlemler içersin de kendine yer bulan tel ark spre y yüzeylerdeki aşınmayı ve korozyonu önlemek amacı ile endüstrilerde yüzey kaplanması amacı ile genişçe bir kullanım alanına sahip ol n bir yöntemdir.[6]

Haihua Yao ve ekibi araçların motorlarında termal bariyer uygulama amacı ile, tel ark

püskürtme ile amorf kaplamalar üretmek için özel bir FeCrNbBSiC özlü tel üretmişler. Biriktirilen kaplamaların mikro yapıları ve termal iletkenlikleri ayrıntı verilerek karakterize edilmiş. Sonuç olarak, FeCrNbBSiC kaplamasının (FB kaplama), uygun bileşim oranı ve tel ark püskürtmenin hızlı bir şekilde uygulanması sayesinde, öncelikle amorf fazdan oluştuğu gösterilmektedir. Bununla beraber, kısmi olarak tamamlanmamış alaşımlarda ve sürekli tavlanmanın etkilerinden dolayı, kristal fazın bir kısmı amorf matrisler ile bir arada bulunurlar. Beklediğimiz amorf yapıya bağlı olarak, geliştirilebilen FB kaplamaların termal iletkenlikleri oda sıcaklığında 2,15 W/mK kadar düşük olup, referans aldığımız 316L paslanmaz çelik kaplamasının (SS kaplama, 4,20 W/mK) hemen hemen yarısı kadar ve nispeten yavaş ve 500°C'ye kadarda yükseltilebilmiş sıcaklıklar ile sınırlanmış artışlar belirtilmektedir. Sıcaklıkların dağılımının analizleri yoluyla, FB kaplamalarından kaplanmış piston üst yüzeyinde açıkça daha yüksek bir sıcaklık bulunmaktadır, bu da ısı enerjisinin dönüşümünün artırılmasından dolayı bir yarar sağlamaktadır. Aynı zamanda, Al alaşımlı substratın sıcaklığının, ısı yalıtımındaki rolü de, örtülü kaplamalar ile azaltılmaktadır. Bu nedenden dolayı, mükemmel bir termal bariyer performansı ve ekonomik avantajları ve bura da geliştirilmiş tel ark püskürtmeli FeCrNbBSiC amorf kaplamasının, araçların motorlarında uygulanabilen metalik bazlı termal bariyer kaplamalar için umut verebilecek bir yenilge ve aday gösterilebilir.[7]

Ran Li ve ekibi; tel ark püskürtmeyle yüksek sıcaklıklardan oluşan ortamlarda kullanılabilen bileşikler için koruyucu kaplama üretebilmek üzere bir dizi Fe-xCr özlü tel (ağırlık olarak x = 15, 20, 25, 30, 35 ve 40%) kullandık. Fe-xCr kaplamalarının mikro yapıları, morfolojileri ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyon davranışları incelenmiş. Fe-xCr kaplama, ince oksit tabakaları ve düşük gözeneklilik ile homojenimsi bir yapı göstermiştir. Kaplamalardaki yüksek sıcaklıklarda oksidasyon davranışlarını değerlendirebilmek için döngüsel oksidasyon koşullarında 650 °C sıcaklıkta termogravimetrik analizler kullanılmıştır. Sonuçta, tüm Fe-xCr kaplamalarının, kaplama yapılmamış substrattan yüksek bir orandan daha düşük bir ağırlıklarında artış sergilediği görülmektedir. Kaplamalarda Cr içerikleri artırıldıkça oksit pullarındaki kalınlıkta azalmış ve oksidasyona olan direnç artırılmıştır.[8]

Jinran Lin ve ekibi; FeNiCrBSiNbW kaplamasını, çift telli ark püskürtme kaynağı (TWAS) yöntemi ile hazırlanmıştır. Mikro yapısı ve fazların, taraması elektron mikroskobu ile (SEM), Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM), X-ışını Kırınımı (XRD) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ile karakterizeleri yapıldı. Karmaşık yapıya sahip ve az oksit bulunduran FeNiCrBSiNbW kaplamaların, amorf fazları ve bir miktarda α -(Fe,

Cr) nanokristal fazlardan oluşmaktadır. 51 °C'lık yüksek bir aşırı soğutma sıvı bölgesin den sonra kristalleşmelerinin sıcaklıkları 545 °C dir. FeNiCrBSiNbW kaplamasının , 316 L kaplamasınınkin den (239 ± 19 Hv0.1) daha yüksek olan 919 ± 49 Hv0.1 sertlik değerlerinede sahiptirler. FeNiCrBSiNbW kaplamaları ve 316 L kaplamaları kavitasyon erozyonl davranışlarıda damıtlan suda incelenmiş. FeNiCrBSiNbW kaplamasının, amorf/nanokristal yapısı, daha az oksitli vede daha yükseklikte sertlikleri nedeni ile 316 L kaplamasından daha yüksek kavitasyon erozyonları dirençleri sergilemiştir. FeNiCrBSiNbW kaplamasının esas olarak tabaka ayrışması şeillerinde tahripasyon yaşaması vede gözeneklerinin kenarların da ve erimemiş parçacıklar etrafında ki arayüzey alanlarında başlayan kavitasyon erozyonu çatlaklarının da ortaya çıkarmıştır.[9]

A. Abedini ve ekibi ; darbelerin hızlarını ve altlıkların sıcaklıklarının, tel ark püskürtme sistemleriyle bırakılan tek tek sıçratı ve kaplamalardaki özelliklerin üzerinde ki etkileri incelenebilmesi için deneyler yapılmıştır. Al, 25°C ila 450°C arasındaki değişebilen sıcaklıklar da tutularak parlatılmış AISI304L kuponlar üzerlerine püskürtülmüştür. Sıçrama esnasında parçacıkların parametreleri (çap, hız, sıcaklık) bir DPV2000 sistemleri kullanılarak ölçülmüşlerdir. Substrat üzerin de biriken hatalar fotoğraflanmıştır. Düşük yüzeylerdeki sıcaklıklarda damlacıkların sıçraması sonucunda düzensiz lekeler meydana gelmiştir; dahada yüksek sıcaklıklar da sıçramalar olmamıştır. Geçişlerin oluştuğu sıcaklık, artmış darbelerin hızlarıyla beraber azalmıştır. Substrat sıcaklıklarındaki yükselme, hem biriktirmelerin etkinliklerini hem de yapışmalarının güçlerini artırmıştır.

Sıçrantı çaplarını ve geçişlerin sıcaklıklarını hesaplamaları için analitik modeller den elde edilebilecek tahminleri, deneysel ölçümler ile karşılaştırılmış ve fazlasıyla uygun bulunmuştur.[10]

1.2. Paslanmaz Çelikler Ve Çeşitleri Nelerdir

a) Östenitik Paslanmaz Çelikler

Alaşım yapısında en az % 10.50 Cr ve karışımında da değişik oranda Ni bulunduran yüksek miktarda ısı verilerek kimyasal aşınmalara dayanıklı olmaktadır.

b) Ferritik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin bu türleri normal şartlarda ve yüksek ısılarda aynı Fe elementin de olduğu gibi yapısı bakımından , kübik kristalik yapıya sahiptir.

c) Duplex Paslanmaz Çelikler

Dubleks yapılı paslanmaz çelikler veya 1.4462 paslanmaz çelikler olarak adlandırılan çelikler, korozyon direncine karşı oldukça mukavemetli bir çelik çeşididir.

d) Martensitik Paslanmaz Çelikler

Genelde korozyon dayanımı yüksek çeşitli sertliklere ve mukavemet değerlerine ısı işlemler sonucu ulaşabilen içinde Ni barındırmayan Cr çelikleridirler.

e) Çökelmeyle Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler (PH) [11]

Çökelmeyle sertleştirilmiş, partikül ile sertleştirilmiş veya yaşlanma ile sertleştirilmiş olarak adlandırılabilir. Dövülebilir malzemelerde verimin kalitesinde yükseklik elde edebilmek için kullanılabilen bir ısı işlem tekniğidir.

1.2.1 Östenitik Paslanmaz Çelik

Östenit yapıda paslanmaz çelikler veya 300 sayısı ile ifade edilen paslanmaz çelik dünyada bulunan paslanmaz çelik üretiminde ortalama %60 'a tekavül etmektedir. İçerisinde en fazla %0,15 karbon, en azda %16 Cr içeren ve östenit yapısı oldukça küçük sıcaklıklar dan ergime ısısına kadar yükselterek kararlı bir yapıya sahip olması için gerekli oranda Ni veya Mn içermesi gereklidir.

Östenitin en fazla bilindik türü 304 paslanmaz çelik türü olarak bilinen ve içerisinde %8 oranında Ni ve %18 Cr, bulunduran çelik yapılardır. "süperöstenit" AL-6XN ve 254SMO gibi östenitik paslanmaz çelik olarak da bilinen çeliklere ilave edilen Mo (>%6) ve N, ve içerisinde bulunabilen yüksek Ni gösterebildiği çok stres ve korozyon direncinden çok etkin bir şekilde klorit çekirdeklenmeye ve çatlama korozyonunun direncine sahip olmaktadır.

Süperöstenitler içerisinde bulunmakta olan yüksek alaşımlardan dolayı maliyetlerin de fazla miktarda artmasına yol açmaktadır. Bundan dolayı yapısı birebir aynı olan özelliğ bakımından benzer olan, maliyet bakımından düşük ferritik veya duplex paslanmaz çeliklerdende üretilebileceği göz ardı edilmemelidir. En çok kullanılan östenitik çelik yapıları 304, 316 'dır. [11,12,13]

1.2.2 Ferritik Paslanmaz Çelik

Çelik guruplarından Ferritik paslanmaz çelik gurubu genel olarak için hiç Ni içermeyen çok miktarda Cr bulunduran (genelde %10,5 ve %30 arası), Mo, Ti, V türü karbür yapan elementler ve ferritik yapıya istikrar katan, yapısında alaşım elementi bulunduran bir paslanmaz çelikler guruplarındandır.

İç yapılarında bulunan yüksek miktarda Cr dan dolayı , ferritik malzemelere fazla yükseklikte bir korozyona karşı dayanım gerçekleştirir. Akıba diye bileceğimiz karbonlu çeliklerin özellikleri , birbirine benzer mekaniksel ve fiziki özellikleri göstermiş olan ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çeliklerin zıttına manyetik bir yapıya sahiptirler. Düşük karbon içerdiklerinden dolayı ısıtım işlemi göremezler ve haddelenmeleri çok kolay olur. Yapısı bu şekilde olan çelikler için uygulanabilir ısıtım işlemi cinsi tavlama işlemi olarak beirtilebilir.

Şimdiki dönemde alaşımlı elementler, genel olarak Ni elementinin yükselen fiyat değişikliğinden dolayı , ferritik malzemelerin geliştirilmesine hız verilmiştir. Östenitik malzemeler gibi korozyon dayanımı yüksek ve çok fazla bir kullanım imkanına sahip ve maliyetide daha fazla düşük olan ferritik malzemeleri geliştirilmeye başlanmıştır. [11,14,15]

1.2.3 Duplex Paslanmaz Çelik

İç yapıları bakımından genellikle eşit oranda ferritik ve östenitik yapı bulunduran bu paslanmazların korozyon direncine karşı gösterdikleri mukavemet değeri içindeki alaşım miktarı oranına göre farklı olmaktadır.

Duplex yapılu çelik östenitik çeliklere nazaran daha yüksek mukavemet özeliğ bulunmaktadır. Bundan dolayı bölgesel yapılu korozyonlara karşı özellikle çekirdeklenen, çatlaklar oluşumuna ve stresli yapıda korozyona karşı östenitik yapıda çeliklere nazaran daha güzel dayanımlara sahip olabilirler. Duplex paslanmaz çeliklerde içinde %19 – %28 olan çok Cr oranı , %5 ‘e kadar yer alan Mo ve östenitik yapılara göre daha az oranlara sahip olan Ni sayesinde mukavemet özellikleri çok yüksektir.

Duplex paslanmazların büyük dez avantajı diyebileceğimiz yüksek olan sıcaklıklarda ve düşük olan sıcaklıklar altında kırılma özeliğ sergilemeleridir. Genellikle 300 °C ‘nin üzerindeki ve -50 °C ‘nin altındaki sıcaklıklarda kısa zaman bile çalışmış olmaları, paslanmaz çelikler kırılmaştırır, tavlama gereksinim duyar. Çok kullanılan ve bilinilmekte olan çelik çeşidi 2205 dir [11,16,17].

1.2.4 Martensitik Paslanmaz Çelik

İç yapısında bulunan alaşım elementlerinden temel olanlar: %12 ile %15 Cr, %0,2 ile %1,0 Mo ve %0,1 ile %1,2 arasındaki karbon oranıdır. Bir iki martensit yapı dışında içeriğinde Ni bulundurmaz. Malzeme yapısına ilave edilen fazlardan karbondan dolayı , karbonlu çelikler olduğu durumda ısıtım işlemi uygulanarak sertleştirilerek, mukavemetinin artırılması sağlanır.

Bazı mikro yapı örneklerinde ki martensitik olan paslanmaz çelik yapı bakımından manyetiktir. C oranlarının artması ile ilişkilendirilerek, sertleşme kabiliyeti ve mukavemeti artarken, tokluğu ve sünekliği azalacaktır. Mikro yapı içindeki C oranının yüksekliğine ve diğer alaşımın içindeki elementlerin oranını ile ilişkilendirilerek , 60 HRC 'ye miktarına kadar ısıtılma işlemleriyle sertleştirilmeleri mümkün olmaktadır. Menevişleme veya temperleme adı ile anılan ısıtılma işlemi sonrasında stres giderme işlemi yapılır, bu uygulamanın ardından en ulaşılabilir korozyon dayanımı elde edilmiş olur.

Martensitik yapıların , ferritik ve östenitik yapılar ile kıyaslandığında korozyon dayanımının biraz daha düşük olduğu görülmektedir. İşlenebilirliği ve şekil verilebilme özellikleri bakımından oldukça iyidir. İçindeki alaşım elementleri ve oranlarından dolayı yapılarında kalmış biraz miktarlarda östenitik yapı olabilir.

Martensit yapıları paslanmaz çelikler, özellikleri bakımından mukavemetli , mekanik aşınmalara ve korozyona karşı dayanımı oldukça yüksek olduğundan , yüksek direnç istenildiği ortamlarda rahatlıkla kullanılabilir. Takım çelikleri olarak kullanımı mümkündür. Kullanım alanları çok yaygındır. Yapısal bakımdan BCT 'dir. [11,17,18]

1.2.5. Çökelme ile Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler (PH)

“Yaşlandırma yöntemi ile sertleştirilebilen paslanmaz çelik” olarak da belirtilen çökelme yöntemi ile sertleştirilen paslanmaz çeliklerde, temel olarak yapılarında Cr ve Ni elementlerinden bulundurup, martensit ve östenit yapıları arasındaki, iki malzemenin yapı özellikleri bakımından uygun olan bir şekilde kendi içerisinde birleştirilen paslanmaz çelik türündendir.

Martensit yapıdaki paslanmaz çeliklerde olduğu şekilde ısıtılma işlemi uygulanarak çokça mukavemet kazandırılabilirler ve, östenitik malzemeler de olduğu gibi korozyon dayanımı yüksektir. Sertleştirmeler yapılabilmesi için yapılarına: Cu, Al, Ti, Nb ve Mo'den bu tür alaşım elementlerinden birisi veya bir kaçından ilave edilerek elde edilir . En çok bildiğimiz çeşidi 17-4 PH 'dır. Bu çeşit ayrıca 630 olarak adlandırılır. İsmi %17Cr ve %4 Ni bileşiminden almıştır. Aynı zamanda içinde %4 bakır ve %0,3 niobium da bulundurur.

Çökelme yöntemi ile sertleştirilen paslanmaz çeliklerin önemli bir artışı da, bu malzeme türlerinin mekaniksel olarak çalışmalara müsaittir . İşleme işlemine hazır hale getirilmiş şekilde, “işlemler görmüş çözeltiler” şeklinde de temini kolaydır. Mekaniksel işlemler veya üretimden sonrası, düşük bir sıcaklıkta ısıtılma işlemi uygulanarak çeliğinde mukavemetinde artış sağlanır. Yapılan bu işlemler düşük sıcaklıklarda uygulandığından

ötürü, üretilmiş vede uygulanılmış malzemelerde sıcaklık etkenine bağlı olarak bozulma veya çarpıklık oluşması mümkün olmaz. Çökelme yöntemi ile sertleştirilmiş paslanmaz çeliklerde kendi içinde üç'e ayrılmaktadır: Martensitik PH, yarı östenitik PH ve östenitik PH. [11,19,20,21]

1.3. Kaplama Yöntemleri

Yüzey kaplama işlemlerinde yüzeyin kalitesini artırmak için başka bir malzem ile birleştirilerek elde edilen kaplama; yüzey kaplama alanında önemli bir yere sahiptir. Yüzeykere boya yapmak yada yüzeylere çeşitli elemenet ve madde ilave ederek yüzeylerde kaplama sağlanır. Teflon kaplama, metal içerikli malzemelerde yüzeylerin kaplanmasına da örnek olduğu söylenebilir.

Yüzey kaplanmasında çeşitli teknik ve yöntemler mevcuttur; bunların en önemlileri kimyasal ve elektrokimyasal yöntemler ile malzemelerin kaplanmasıdır. Kullanılan bu çeşit yöntemler ile malzemeler kaplanarak korozyon dan korunumu , dekoratif , estetik görünüm kazandırmada amacı güdülmüştür. Aşınmada dirençli malzemelerde ise sertliği yüksek elementlerin ,alaşımların vb. malzemelerin yüzeyde artırılması gereklidir. Bu kaplamaların elektrokimyasal tekniklerle üretimi imkansızdır.[22]

Malzemelerde yüzeylerdeki özellikler çeşitlendirerek yenilenmiş sıtratejik özellikleri kazandırarak, estetik bakımda güzelleştirmek insanların geçmiş zamanlardan beri amaçladıkları bir hedeftir . İçinde bulunduğumuz zaman diliminde, malzeme yüzeylerinin geliştirilmesine yönelik işlemler, “taban ve yüzey malzemelerinin dizaynını beraber inceleyen ve iki yapısında tek başına veremeyeceği özellikleri ekonomik açıdan verebilen” işlemlerin bütünü şeklinde tanımlayabiliriz. 1990 ‘lı yıllardan sonra yüzey kaplama teknolojileri ve yüzey mühendisliği gelişerek günümüzdeki yerini almıştır. Günümüzde modern ve klasik teknolojilerden ilham alan yüzeylerin kaplanma işlemlerinde ki önem artarak devamlılık sağlamaktadır. Yüzeyin kaplanma işlemi, taban malzemenin yapısal bakımdan sahip olamadığı özellikleri kazandırmaktadır, daha kolay ve daha ucuz üretilen bir malzemedeki yalnızca yüzeyinde yapılan değişikliklerle istediğimiz amaca ve özeliğe ulaşılabilmesi sağlamaktadır.

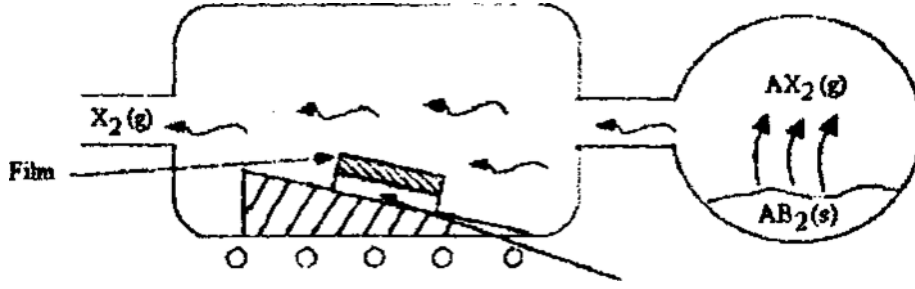
Yüzey kaplama teknolojileri ince bir tabaka veya kalın bir tabakanın yüzeyin üstüne kaplanması olarak iki çeşide ayrılabiliriz. 20 µm’nin altında yapılan incecik kaplamalar yüzey özellikleri bakımından uygun şartlar ve uygun birleşim özellikleri

sağlanabilirse yüksek düzeyde iyileştirme sağlanabilir. Kimyasal buhar biriktirme ^{^^CVD^^} veya fiziksel buhar biriktirme ^{^^PVD^^} teknikleriyle uygun şartlar ve uygun malzeme özellikleri sağlanabilirse iyi düzeyde sert ve korozyona dayanıklı kaplamalardan oluşturulabilir. Fakat ince yüzey kaplama teknolojilerinden bir çoğu basınç miktarı bakımından düşük ve kontrollü ortama ihtiyaç duyduğu için maliyet bakımından yüksektir. Bir de ince yüzey kaplamalarda alta kullanılan malzemenin boyutu ve şeklinin belirli sınırlar arasında olması gerekir.[23]

1.3.1. Kimyasal Buhar Yoğuşturma(CVD):

Kimyasal buhar yoğuşturma metodu , gaz haldeki kimyasal bileşiğin, katı halde reaksiyonun sonucu olarak çökertilmesi veya başka bir madenin üstünde ayrıştırılma olayıdır . İki çeşit kimyasal buhar depolama (CVD) kaplama metodu bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, kimyasal reaksiyonlarla ısı enerjisi elde eden geleneksel CVD metodu, ikincisi ise kimyasal reaksiyonları plazma ışını ile harekete geçiren plazma CVD yöntemleridir. Şekil 3 1" de CVD kaplama yöntemine ait sistem görülmektedir.

CVD kaplama yöntemi, kesici takımların yüzey sertliğini ve yüzey mukavemetini yükseltmede kullanılmaktadır. Bu yöntem, takım çeliklerine genel olarak 700 C den daha yüksek sıcaklık ortamında uygulanmaktadır. Plazma CVD yöntemi, elmas CVD kaplamadan daha düşük sıcaklıklarda yapılabilmektedir. Bu CVD yöntemi yarı iletken ve plastik film tabakası üzerine silisyum karbür kaplama veya elmas kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır. Normal CVD ve plazma CVD arasındaki farklılık, normal CVD yönteminin 1000-1100 °C çalışma sıcaklığı gerektirirken, plazma CVD 500 °C gibi oldukça düşük sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Bu sıcaklıktaki farklılık normal CVD yöntemindeki malzeme tahribi gibi bazı olumsuz öğeleri ortadan kaldırmaktadır. CVD kaplama ile boyut ölçüleri değişkenlik gösteren ve şekil bakımındanda değişik malzemelerin kaplamasındada yararlanılabilir (Ristic ve diğ., 2003; Bach ve Duda, 2000). CVD kaplamayla; kalın, yoğun, sünek, metal veya cam ve plastik gibi metal olmayan elementler üzerine iyi adhesiv kaplama yapılabilir. CVD kaplama ile alt tabakanın tamamının yüzeyi kaplama yapılabilmektedir (Schvartz, 1993). Kaplama işlemi gerçekleştirilirken, kaplama ortamında reaktif gazın yanında koruyucu gaz olarakta hidrojen gazı da kullanılmaktadır. Hidrojen gazı, gaz dengesini sağlamak ve seyreltici görev üstlenir.[24,25]

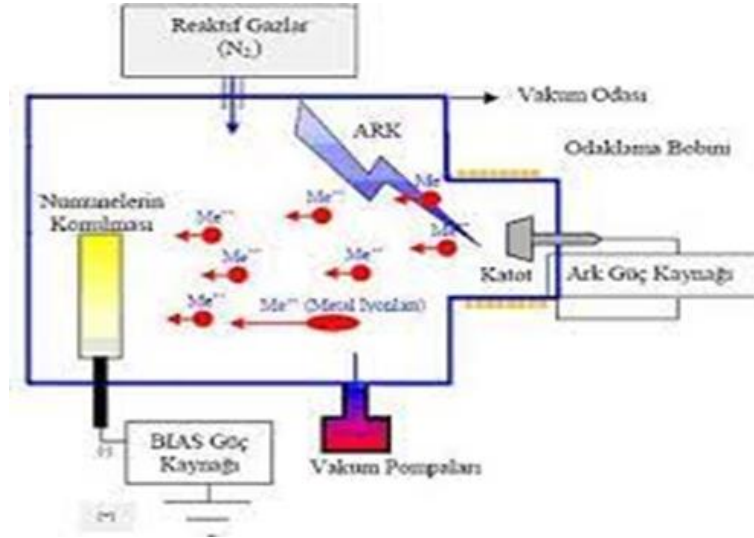


Kaplanacak taahem

Şekil 1.1. CVD sisteminin şematik gösterilişi[24]

1.3.2. Fiziksel Buhar Yoğuşturma (PVD)

Kaplama yapılırken bir malzemenin farklı altlık malzemeleri yüzey kısmına ince bir tabaka veya kaplanmış malzeme biçiminde birikmesi bu malzemenin buharınında N.Ş.A. sıcaklığındaki eşdeğer bir sıcaklıkta altlığın yüzeyinde yoğuşturulması sonucunda gerçekleşir. Element yada bileşik yapıda bu madde bir kaynağa yerleştirilmek sureti ile ve yüksek sıcaklıklara kadar ısı verilerek (buharlaştırma) veya enerjisi yüksek iyonlarla bombardıman edilmek sureti ile (sıçratmak) buhar yapısına geçer. Katı yapıdaki kaynaklanacak malzemenin yüzeyindeki buhar haline geçen parçacıkların yüzeyi bırakması için istediğimiz enerji buharlaştırma yöntemindeki ısı enerjisi ile, sıçratmada bu enerji bombardımanla iyonlarının çarpışması enerji transferi ile oluşturulmaktadır. Kaynak yapısının buhar fazına geçmesi ile bu fazında altlık yüzey kısmında yoğunlaştırılması fazlar arası dönüşümlerin ve ağırlık transferlerinin içerdiği fiziksel bir sistemdir. Bu şekilde oluşan yüzey kaplamayöntemlerine Fiziksel Buhar Yoğuşturma yöntemleri denmektedir. PVD yöntemlerinde ise kaplama yüzeyinde yoğuşma işlemi bir çeşit kimyasal reaksiyon ile oluşmaktadır.[24,26]



Şekil 1.2. PVD'nin çalışma ilkesinin şematik gösterilişi [22]

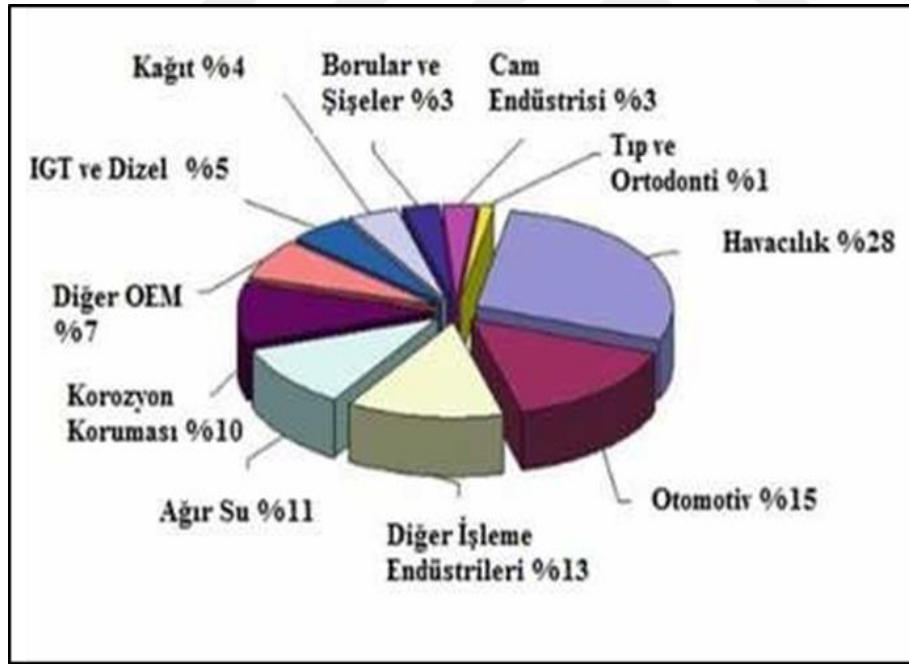
Çizelge 1.1. Farklı kaplamaların prosesleri ve genel yapıları [24]

Kaplam Yöntemi	Tipik Kaplanılan Kalınlık (µm)	Kaplama	Özellikler	Örnekler	Malzemeler
PVD	1..5	Ti (C,N)	Aşınma dayanımı	Aletler	
CVD	1..50	SiC	Aşınma dayanımı	Fiber	Kaplama
Boya	1..10	Polimer	Korozyon dayanımı,	Otomotiv	
Termal	40...3000	Seramik ve	Aşınma Dayanımı	Rulman	
Sprey		metal alaşımlar	Korozyon dayanımı	Kanatları	

1.3.3. Termal Sprey Yöntemleri

Kullanılan malzemenin, işlevini artırmak ve çalışma süresini artırmak, korozyona, aşınmaya dayanımını ve oksit gibi istenilmeyen koşullara karşı korunmayı sağlamak ve

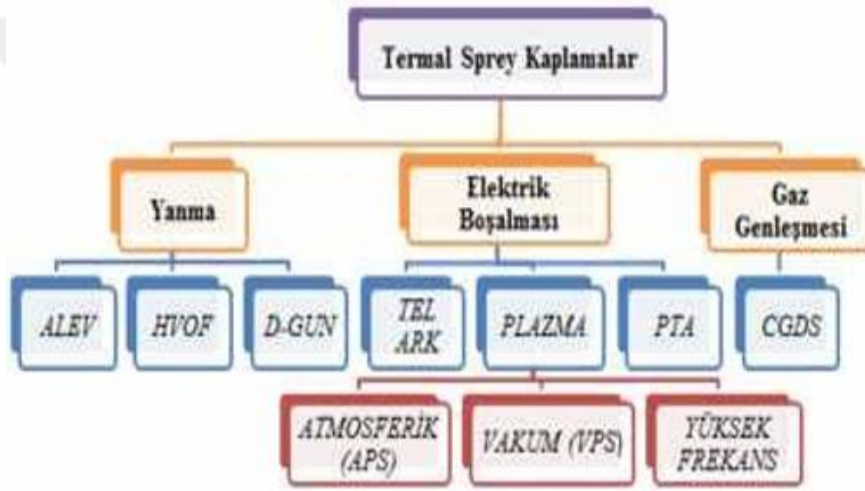
malzemelere estetiklik kazandırmak ve göze hitap eden güzelce bir görüntü verebilmek amacı ile malzemenin yüzey kısmına çeşitlendirilmiş yöntemler ile ve teknikler ile kaplama yapılır. Malzemenin cinsine, kullanılacağı alana, kullanımdaki amaca, kullanılmak istenen şekile göre yapılmak istenen yüzey kaplaması ve yüzey kaplamada kullanılacak yöntemler belirlenmektedir. Birden fazla çeşit yüzeyin kaplanma yöntemleri vardır. Bu teknikler kaplanmak istenen malzemelerin cinsine , altlıkta kullanılan malzemelerin türüne göre çeşitlendirilebilirler. Kaplamada kullanılan yöntemler den biride termal sprej, metaller yada metal olmayan kaplamalara uygulanabilen kaplamalar teknolojisinin genel ismidir. Termal Sprej kaynak yönteminde, tel veya toz olan kaplama malzemesi , enerji kaynağı ile ısıtılarak malzemeyi ergiyig hale sokar, ardından gaz püskürtme basıncı ile altlıkta kullanılan malzemelerin yüzeyine püskürtülerek , düzlemsel taneli yapı şeklini alıp altlıkta kullanılan malzemelere tutunurlar. Termal sprej kaplamalarının genelde avantajı, kaplanacak malzemenin büyük bir çoğunluğunun ergitilebilmesi, altlıkta kullanılan malzemenin çok fazla ısıtılmadan kaynak yapabilmesi.[24]



Şekil 1.3. Termal Sprej Kaplama Yönteminin Endüstride Kullandığımız Sektörler.[23]

Termal sprej kaplama yöntemlerinde malzemelerin ergitilmesinde veya kaplamanın oluşmasına müsade edecek derece plastisite kazandırmak için enerjilerin verilme yöntemlerine istiadten çeşitlendirilmektedir. Burdaki enerjiler genelde yanma, plazmanın oluşumunda elektrik enerjisindeki dağılma, yada termal sprej yöntemindeki gazların yüksek

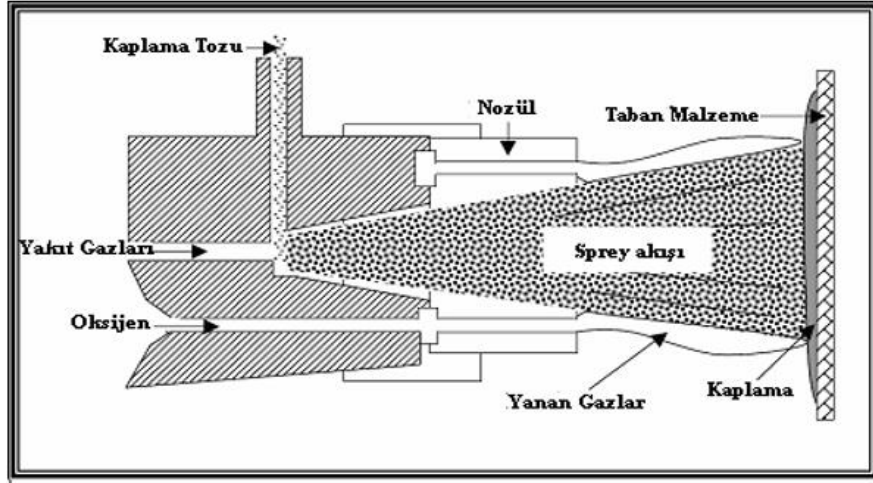
basınçlarından elde edilir. Termal sprej yöntemlerinde kaplanacak malzemenin nasıl elde edildiğine bakılarak sınıflandırılır. Bunlar tozlar, teller veya çubuklar şeklindeki malzemelerden elde edilir. Başka bir ayrıştırma tekniği de hızlandırılan nozulda ki akma yönüne bağlıdır. Basınçların yüksekliği arttıkça nozulun içindeki basınç pozitif yönde olur atmosfer basıncı ise negatif yöndedir, haznenin içinde bulunana düşük veya kontrol altındaki hava nozulun içinde negatif yönelim göstermektedir. Teknikler genelde gücün harcama miktarına ve gücün birikme hızlarına bağımlı olarak da sınıflandırılmış olurlar. Şekil 3'te enerjinin ve ısıların verilmedeki yöntemine istinaden, Tablo 3'te değişik kaplamaların parametre değerlerine istinaden termal sprej yöntemleri görsel olarak ifade edilmektedir.[24]



Şekil 1.4. Termal sprej teknolojilerinin sınıflandırılması[27]

1.3.3.1. Alev Püskürtme

Çubuk yapıda veya tel formda yada toz şeklinde yüzeyi kaplanacak malzemeleri eritmek için ısı ana kaynağı olarak alev kullanılmaktadır. Tel veya çubuk yapıdaki maddeler besleme düzeneği sayesinde yanmanın gerçekleştiği oda içine ulaştırılır, erime gerçekleşir ve sistem içindeki gaz maddelerin yükselmiş olan debilerinden faydalanmak sureti ile kaplama yüzeyine aktarılır. Toz yapıdaki kaplanacak malzemeler , aktarıcı bir gaz yardımı ile yanmanın gerçekleşeceği oda içerisine gönderilir[26]. Şekil 1.5, toz kaplama malzemeleri için alevli sprej kaplama şemasını gösterir.

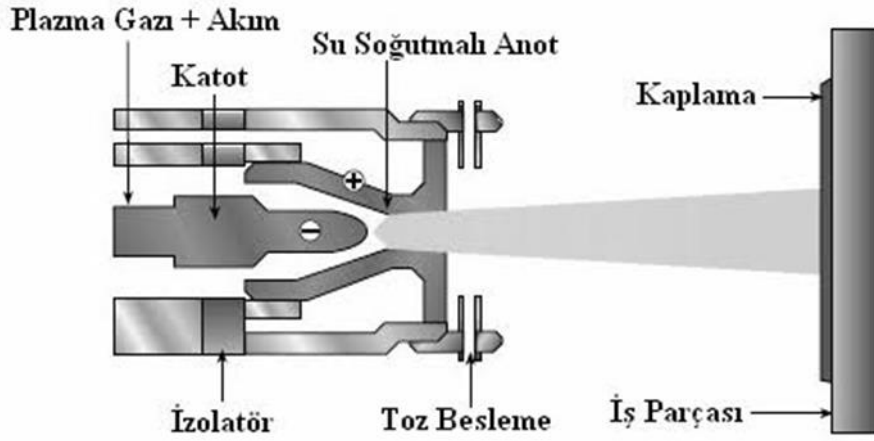


Şekil 1.5. Toz malzeme kaplama için alevli sprej kaplama şeması[28]

1.3.3.2. Plazma Ark Püskürme

Doğada maddenin dördüncü hali olarak bilinen plazma. Pratikte plazma üfleci olarak bilinen ve kullanılacağı malzemeye ve yere göre özellikleri değişiklik gösteren, fakat bütününde bir anaot ve bir katot meme arasına uygulanabilen elektriksel gerilim kaynağından oluşmaktadır. Anod ve katot ortasında oluşan bir elektriksel boşalma yardımı ile, gaz bir maddenin iyonize edilmesinden elde edilen bir karışımdır (Epik ve diğ., 2004). Birde anot ile katot içerisine uygulanan gerilim sonucunda elektriksel alan ile plazma yapıda bulunan enerjileri taşıyan yük parçacıklar (elektron ve iyonlar) gönderip, hızkazandırılarak, kinetik enerjinin artması gerçekleştirilmektedir. Plazma ark kaynak yöntemi, GTA olarak adlandırılan kaynak yönteminde benzeyen bir şekile sahip olarak, bitmeyen tungsten elektrotlar ile malzemeler arasında oluşturulmuş ark ve ısı transferi şekli ile metallerin birleşmesinde kullandığımız koruyucu gaz ark kaynak yöntemi olarakda adlandırılabilir.

Elektrik iletkenliği ya da plazma akış hareketi yardımıyla, kaynak yapılırken kaynak banyosunun kararlılığı sağlanabilmektedir. Işık spektrumu ve resim algılayıcı teknikler sayesinde, kaynak esnasında plazma arkın kalite kontrolü ve kaynak yönünün tespiti sağlanabilmektedir. Kaynakta kullanılan gazlar, kaynak yapılırken kaynak banyosunu ortamdaki havanın olumsuz etkilerinden koruma sağlamaktadır. Plazma ark kaynak yöntemi lazer kaynak yöntemi ile kıyaslandığında, kalitesi yüksek kaplama yada birleşmeler elde edebilmek açısından çok daha marafsız bir tekniktir. Fakat, karmaşık yapıların kaynağında sorun çıktığı için uygulama alanları sınırlı kalmaktadır[24]



Şekil 1.6. Plazma Ark Sprey Sistemi[27]

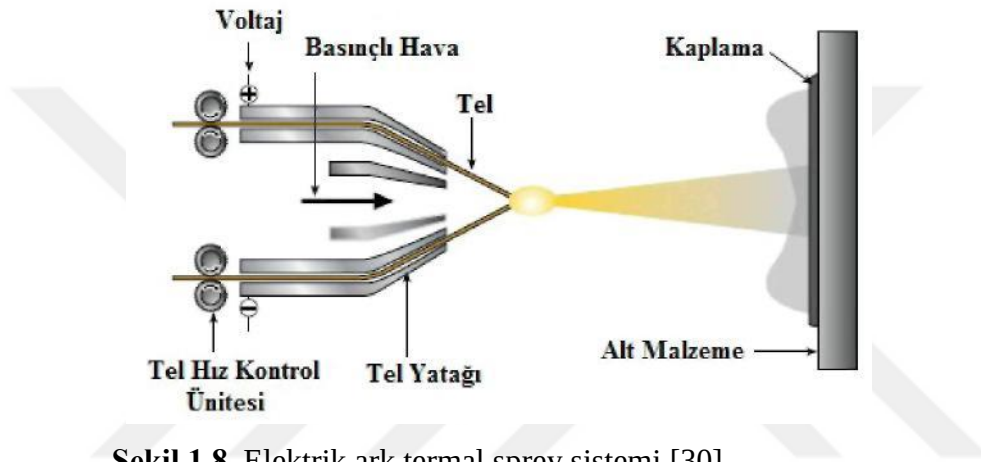
1.3.3.3. HVOF

Alev sprej sisteminin başka bir çeşidi olarak HVOF termal sprej söz edilebilir, fakat yüzey kaplamada kullanılacak malzeme olarak sadece toz yapılı malzeme kullanılır. Yöntem ile eriyik yapılarıdaki partikül yüksek hızlara ulaşabilirler ve kazanabildikleri hareket enerjilerin den dolayı yoğun ve porozite bakımından düşük, yüksek yapışabilme gücüne sahip olan kaplama üretilir. HVOF sistemlerinde genel olarak oksijenin ve yakıtların sıvı yada gaz fazlardaki karışımları kullanılmaktadır.

Doğal gaz , propan, propilen veya H gibi gaz fazda yakıt kullanılabilir . Kerosen gibi sıvı fazdaki yakıtlar da uygun yapılarda kullanılır. Yapı bakımından toz kaplama malzemeleri tabancanın içindeki yanma boşluğuna, taşıma görevi yapan gazlar yardımı ile taşınır. Taşıma işlemini yapan gaz Azot gazıdır. Yanıcı madde, oksijen gazıyla tabancanın içinde karıştırıldıktan sonra nozöldan dış kısma püskürtülecektir. Ateşlemeler genelde tabancanın dışındaki ortamda oluşur. Tutuşan yanıcı madde kaplanacak malzemeyi çevreler. Kaplanacak tozun sıcaklığını artırır ve tabandaki malzemenin üstüne iletmektedir (Şekil 6). Toz kaplama malzemesinin kazanmış olduğu fazla enerjiden ötürü tamamen eritilmesi gerekmemektedir. Parçacıklar yarı erimiş fazda ve plastik deformasyon oluştuktan sonra tabandaki malzemenin üstüne çarpar ve yüzey kaplamak sureti ile kaplamanın oluşmasını sağlar. H.V.O.F termal spreyle kaplama yönteminin en öncelikli temel özellikleri bunlardır: Yapı bakımından temiz, sertliği yüksek ve yoğun bir yapıya sahip, bağ mukavemeti yüksek , korozyona ve aşınmaya karşı dirençleri oldukça yüksek kaplama üretilebilir olması, termal kalıntı gerilmelerinin olabildiğince düşükçe bir seviyeye sahip olması, kompleksli geometrik yapıların kaplanması için olanak

çalışmada kullanılacak tel, tel ile alevli püskürtme işlemlerinde kullandığımız teller ile benzer yapıdadırlar. Elektrik ark ile püskürtülerek oluşturulan kaplama alev ile püskürtülmüş kaplama ile karşılaştırıldığında farklı üstün özellikleri bulunmaktadır.[30]

- 1-Çökelmede oluşan hız daha çoktur.
- 2- Bağ mukavemeti yüksektir.
- 3-Kaplamaların maliyetleri daha azdır.
- 4-Kaplama içindeki oksitler azaltılabilir.[28]



Şekil 1.8. Elektrik ark termal sprej sistemi [30].

Bu yöntemde kullanılan kaynak malzemeleri tel yapısındadır. Bu teknik dışındaki termal sprej kaynak yöntemlerinden değişik olarak dışardan yönelen, gazın alevi veya plazmadan meydana gelen bir ısı kaynağı bulunmamaktadır. Isıtılma işlemi vede eritme işlemi için elektrik arkı kullanılır ve bu arkın ortaya çıkabilmesi için iki tane elektrot, elektrot olarakda metalik yapıllı teller kullanılmakta. Erimiş metalik malzeme basınç oluşmuş havalar ya da diğer gaz sayesinde atomize olurlar ve bu basınçlı havlar ve gaz sayesinde kaplama yüzeyindeki emilimler hızlandırılmış olur.

Plazma Ark kaynak yöntemi Alev sprej kaplamaya yöntemine göre birçok üstün özeliğe sahiptir. Mesela 69 MPa'a ulaşılabilen yüksek yapışabime mukavemeti bu yöntemlerle elde edilebilmiştir. Bazı Nİ baza sahip alaşımlar da yüzey kaplanma oranı 55kg/saat oranına kadar ulaşmaktadır. Bu kaplama yöntemindeki maliyet diğer kaplama yöntemlerine göre daha az maliyetlidir. Buda kaplama maliyetini aşağı çekmektedir.

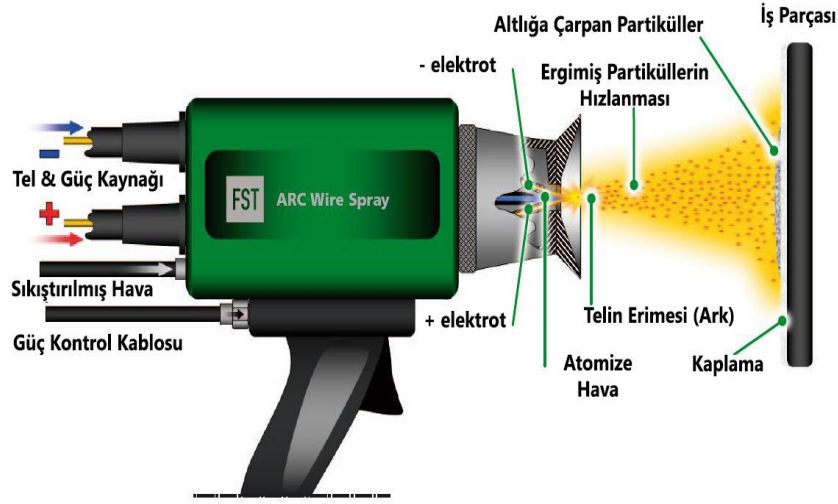
Harcanan elektrik miktarı azdır ve pahalı gazlara gerek duyulmaz. Bu kaplama

yönteminde bir alaşımlı kaplama elde edebilmek için 2 tane değişik yapılı malzemeden oluşan telin püskürtülmesine imkan sağlamaktadır. Ark ile püskürtülme sisteminde basınçlı hava yani kompresör sistemi olduğundan yüzeye malzeme emilimini az bir miktarda ısıнын akışıyla sağlanmaktadır. Bileşik malzemeleri hasara uğratmadan veya çarpımalara uğratmadan kalın yüzey kaplaması oluşması için ideal bir uygulamadır. Korozyon dayanımı yüksek olan Zn, Al ve Zn/Al alaşım çeşitleri sıklıkla kullanılan kaplama malzemeleridir. Çeliklerin korozyona karşı dayanımını artırmak için genellikle bu kaplama malzemelerinden faydalanılır. Bu sistem kolaylıkla bir yerden başka bir yere taşınabilir olduğundan herhangi bir ortamda kaplama yapmaya uygundurlar.

Fakat bu yöntemin bazı dez avantajlarıda bulunmaktadır, elde edilen kaplamalarda yüksek porozite ve oksitlenme meydana gelebilmektedir. Aynı zamanda erimemiş partiküller yüzey yapısında bulunabilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü çok iyi olamamaktadır diğer yöntemlerde yüzeyde elde edilen pürüzsüzlük daha iyi olmaktadır. Sadece iletken teller kullanılabilir. Simetrik olmayan damla oluşumu kötü bir atomizasyon ve kaplama iç yapısında belirgin bir homojensizlik oluşturur. Bu oluşumlar kaplama özelliklerinde hiç istenilmeyen özelliklerdir. Elektrik ark sprej kaplama yönteminde gazın aleviyle veya elektrikle üretilen plazmalı harici ısı kaynakları yoktur .Bu da diğer termal püskürtme yöntemlerine göre değişiklik gösterir.[31]

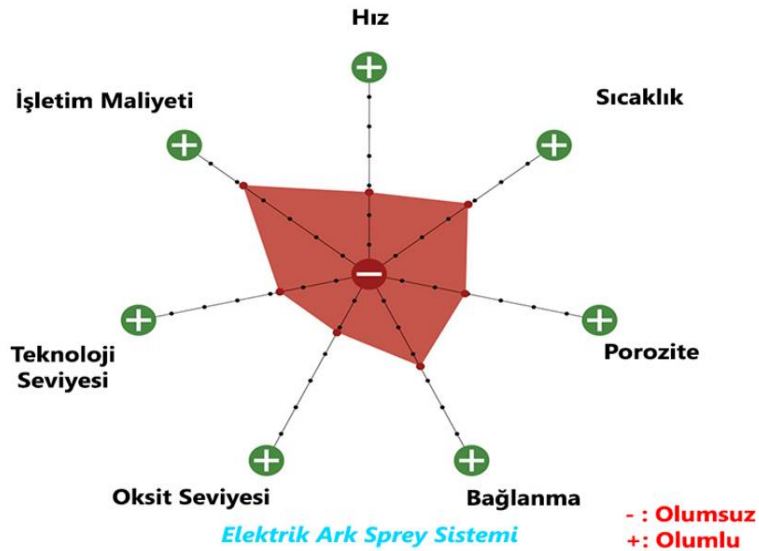
Elektriksel olarak pozitif ve negatif kutuplar ile yüklenmektedir, kaplamanın malzemelerini içermekte olan iki telin kesişme bölgesindeki kontrol altında bir ark oluşturulmak sureti ile bir araya getirilir ısıtılır ve erimeler oluşur. Eriyik metaller sıkıştırılmış basınçlı havalar veya diğer gazlar uyguladığında sıkıştırılarak atomize olur ve önce den kaynak ortamına yerleştirilmiş altlıktan oluşan malzemelerin üzerlerine püskürtülmektedir.

Ark sprej, Zn, Al veya alaşımlardan oluşan korozyonlardan korunmak için kullanıldığı en ekonomik termal sprej kaplama yöntemlerinden biridir. Ark sprej kaynak yöntemi elektriksel iletkenliği olan metalik veya metal oksitten oluşan karışımlara uygulanır. Kaplamanın iyi olabilmesi için gerekli olan özellikler, atomizasyon için uygulanan basınç, nozulun biçimi ve şekli, tellerin beslenme miktarı, kaplamaların yapılırken ki mesafe gibi parametrelere bağlıdır. Ark sprej kaplamalar yüksek bağlanma ve yapışma mukavemeti gösterir.



Şekil 1.9. Elektrik ark termal sprey sistemi[32]

Ark spreyin kaynak yönteminin avantajları; altlık olarak kullanılan malzemenin az ısıtılmasından dolayı düşük gerilme, alev sprey kaynak yönteminden daha yüksek bağ kuvveti, kalınlığı yüksek kaplama yapılabilmesi kolaylığı, Ametal malzemelerde yüzey kısmına kaplamaların yapılması, madde yoğunluğu yüksek kaplamalar oluşturulabilmesi ve tam erimiş partiküllerden oluşturulmasıdır. Aşağıda gerçek bir kaplama şekli gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Elektrik ark termal sprey sistemi[31]

Elektrik ark sprey kaplama teknolojisi ile üretilen kaplamalar, tamamı erimiş metallerden oluşturulmaktadır. Bununla beraber yanında eriyen metallerin O(Oksijen) ile tepkimeye girmesi yüksek bir ihtimal olduğundan , püskürtülmüş metaller katılaşınca

kadar oksitlenebilektedir. Kaynak yapılma esnasında N(azot) gibi gazlar kullanıldığında bu kaplamada metal veya nitrür gibi bileşiklerin elde edilmelerine imkan sağlar.

Kaplama yapılma esnasında pozitif ve negatif iki farklılıkta tellerden besleme yapılabilir. Kaplama yapıldığı esnada dikkat edilecek parametre beslenen metallerdeki erime derecelerinin oranıdır. Tellerin sürülme hızları metallerin erime derecelerine bakılarak ayarlanmalıdır. İstediğimiz miktarda beslenmeyen teller, mikroyapı içerisinde istenilmeyen bileşik oluşmasını sağlar.

1.4. Korozyon ve Çeşitleri

Korozyon genel olarak; maddelerin, genellikle metal ve alaşımların, çevre koşullarına bağlı olarak kimyasal ve elektro kimyasal farklılaşma veya fiziki çözülmeden dolayı aşınmaya uğramasıdır. Korozyonun başka bir tanımıda; Metalik malzemelerin çevresel ilişkilerinden karmakarışık, heterojen tepkimeler ile yüzey görünümünde bozulma olarak tarif edilebilir. Altın ve platin benzeri soy metallerde korozyon oluşmaz. Bunlardan olmayan demir veya çelik malzemeler ve diğer birçok metal grupları için korozyon büyük öneme sahiptir. Yine başka bir tanımıda ise korozyonu; metaller ve alaşımların çevreleri ile kimyasal ve elektro kimyasal oluşumları sonucu bozulmalarını tanımlamada kullandığımız bir söyledir. Fakat son zamanlarda yapılan çalışmalarda, Ametal malzemeler de çevresel koşullar altında benzer biçimlerde etkilendikleri gözlemlenmektedir. Bundan yola çıkarak; metal ve alaşımlarının korozyona uğradıktan sonra bozulmalarını tespit etmek için kullanılabilecek yöntem ve teknikler, metal olmayan malzemelerde; cam, seramik , polimerler ve bileşik yapıda malzemelerde başarıyla uygulanır. Bundan dolayı korozyon tanımı, yapı malzemelerinden oluşan tüm malzeme çeşitlerinde çevrenin etkisi ile oluşan bozulmalar olarakda tanımlayabilmekteyiz. ‘Paslanma’ söylemini demir ve demir çeşitlerinde olan malzemelerinde (çelik ve dökme demirler) korozyonu için, ‘pas’ söylemide aynı türdeki malzemelerden oluşan korozyonun ürünleri anlamında kullanırız [33]

Korozyonun açtığı hasarlardan dolayı maliyet kayıpları, korozyonlardan korumak için alınması istenilen tedbirlerin önemlerini belirleyen faktördür. Kayıp oluşmasında en önce gelen kaynaklar, korozyon oluşmasına karşı verilen mücadelede alınan tedbirlerdir. Korozyona dayanabilen malzeme oluşturabilmek için, yüzeylerin kaplanması, korozyon oluşmasını en aza indirmek amacı ile zararlı olabilecek ortamlarda yapılacak ilave ve görevlerini yapamayan hasarları mevcut malzemelerin yenilenmeleri korozyona dayanımı için gerekli masrafları ifade etmektedir . Görevlerini eksik yapacak kadar korozyona uğramış

bir malzemenin yenileri ile değiştirilmeleri gerekeceğinden bu sürede üretimin durdurulması gerekmektedir buda ekstra zaman kaybı ve maliyet doğurmaktadır.

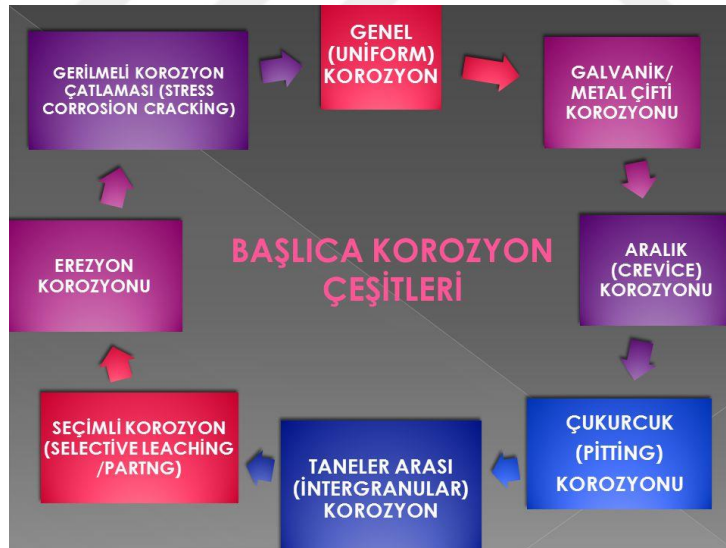
Korozyon uğramış malzemelerde doğrudan ürün kaybı olacağı gibi (delik depolarda veya iletim hatlarında borulardaki petrol ve sıvı kayıpları) içinden ürün geçen malzemelerin korozyona uğramasından dolayı bir kirlilik meydana gelecektir ve kullanılmaz hale gelecektir. (ana ürün korozyondaki ürünlere karışabilmesi). Korozyon sonucu oluşan ürünler , yüzeyde oluşan yığılımların ısı geçirgenliğinin katsayısını büyük bir oranda düşüreceğinden (örneğin; sıcak su ve buhar hazırlama tesislerinde) verim düşüklüğüne sebebiyet verecektir. Bu şekilde oluşan kayıp dolaylı kayıp şeklinde ifade edilmektedir. Korozyondaki önemi anlatan bir diğer etkende de emniyet etkenidir. Örnek olarak, korozyondan dolayı oluşacak beklenmeyen malzemelerin hasarları, yükselen basınçta maruz kalan kazanlar ve benzer tesislerde oluşabilecek patlamalar ve çevreye zarar vermesine imkan sağlayabilir.[34]

Gündelik yaşamımızda yaşayabileceğimiz diğer bir sorunda, gıda malzemelerinin korozyondan dolayı oluşan zararlı ürünler ile kirlenmek sureti ile sağlık açısından zarar vermektedir. Korozyon ile ilgili bir başka etken; hammadde rezervlerini koruma gücü. Baya bir uğraş sonucunda paslarından temizlenerek oluşan metaller (örnek olarak, demirin cevheri ile ham demiri elde edebilmek için yüksek fırınlarda gerçekleşen işlemler) korozyon maruz kalarak tekrardan oksitlenen malzemeleri dönüştürmek sureti ile rezervlerin daha kısa sürede de tüketilmesinin anlamına gelmektedir. Günümüzde bazı metal rezervlerinin hızlıca tükenmekte olduğunu düşünürsek , korozyona olan ilginin zaman geçtikçe dahada fazlaşmasına imkan sağlanmaktadır. Metal gereksiminin ve kullanımının arttığı ikinci dünya savaşı ve sonrası korozyondan doğacak zararlar göz ardı edilemeyecek boyuta olmuştur. Buda korozyon ile mücadelenin ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bir çok ülkede yapılan korozyon kaybı araştırmaları sadece metallerden oluşan malzemelerde bile gayri safi milli hasılanın %3,5 ile 5'i aralığında değişebildiğini ifade etmektedir. Bu alanla ilgili yapılan en geniş araştırma ilk defa ABD'de NBS'nin (National Bureau of Standard) 1978 senesinde yayımladığı çalışmalardır. Bu çalışmada ülkelerin ekonomilerinin 130 sektörün kullanımına paylaştırılmış her sektörün direkt veya en direkt korozyonun kayıpları ile direkt veya en direkt önlenebilmektedir korozyonlarda, girdilerin ve çıktıların analizleri incelenmiştir ve her sektörün endüstrideki katsayılarının; birim tl miktarına göre korozyonun kayıplarında önlenebilecek korozyon kayıpları olarakta hesaplanmış. Bu çalışmalardaki katsayı uyarlanan değerlerin kullanılan, Türkiyenin ekonomisi 1991 yılındaki ait olan girdiler ve çıktılar verilerine bakılarak, Türkiyede metalik korozyonların kaybının tahminleri yapılmıştır.

Ülkemizdeki en önde gelen 15 sektöre ait toplamda önlenilecek korozyon kayıpları hesaplanmış. Türkiye'deki toplam korozyonların kayıp miktarı GSMH'sının %4,36'sı, önlenilecek korozyon kaybının da %1,63'üdür [36]

Korozyonların oluşumunun sağlandığı reaksiyonların çeşidine göre atmosferik ve elektrolitik olarak 2 tane korozyon çeşidi vardır. Atmosferik korozyon; Elektrolitik korozyonuna benzemekte, elektrokimyasal mekanizmalar ile oluşmaktadır. Atmosferik olan korozyon; katodik olarak oksitli, çevrenin arasındaki yüzey, anot olarakda metalik ve oksitli ara yüzeyinin ve elektrolit olarakta iyonik iletme sağlanan oksitli tabaka iş görmektedir. Elektrolitik korozyonda da; elektrokimyasal yapıda soy olan metal katodik, fazla aktiflik gösteren metaller de anodik olarak iş yapar. Metallerin içerisinde bulundukları sıvı çözeltilerindeki iyonlar elektrolitik çözeltileri oluşturmaktadırlar.[33]

Genel olarak çevresel şartlar altında metal malzemelerin büyük bir kısmı yüzey tabakalarında deformasyona uğramaktadır. Bunun sebebi olarakta gösterebileceğimiz deformasyon bozukluğu korozyon olarak adlandırılmaktadır. Bu korozyonun bir çok oluşum şekli mevcuttur bunlar aşağıda değindiğimiz korozyon çeşitleridir. Korozyonun oluşma şartlarına göre sınıflandırılmaları detaylı olarak yayın akışında belirtilmiştir.



Şekil 1.11. Korozyon Çeşitleri [33].

1.4.1. Üiform Korozyon (Genel Korozyon)

Metal malzemenin yüzeylerinde meydana gelmiş deformasyon(korozyonlar) sonrasındaki bozunmalar yüzeylerinde bir düzen izlemesi yani homojenimsi bir yapıda

dağılımları olarak tanımlanabilir. Çelik malzemelerin veya dökme demirden yapılmış malzemelerin açık hava veya atmosferde , toprak veya suya temas olması durumunda yüzeyinde üniform korozyonlar oluşmakta ve homojenimsi dağılıma sahip yüzey korozyonuna rastlanmaktadır. Alüminyum vede alaşımlarının yapısında genelde üniform korozyonlar görülmemektedir.[34,35]

1.4.2.Çukur Korozyonu

Bölgeselimsi yapılarda ki bir korozyon çeşidi olarak bilinen çukur korozyonu yüzeylerinde inaktif koruyuculu bir yüzeye sahip malzemeler de bulunur. Malzeme yüzeyinde bulunan iyonlarda ya da yüzeyinde oluşan gelen bir zarar, hasarlı olan bu bölgenin dahada anod yapılı olması ve çevreleri ile iletişime geçerek galvanik birliktelik oluşmasını sağlar ve bundan dolayı korozyonumsu yapı malzemelerin iç taraflarına yönelik ilerlemiş olur.

Ortamdaki beş etken Çukur korozyonunu tetikler. Birinci olarak asitli ortamlarda ki hareketli iyonlar. Malzeme yüzeyindeki tabakalarının kararlı bir yapı olduğunda potansiyel değerlerde çukur korozyonlar oluşur. İkinci olarakda yüksek sıcaklıklı bir ortamda vede fazla korozif bir atmosferde, O(oksijen) oluşabilmesi için gerekli potansiyeldeki değerlere yakın ortamlarda korozyonun oluşması olarak ifade edilir.Üçüncü olarak ise hareketli-durgun geçiş yapılan bölgeler içinde oksitli tabaka yok olur ve bölgesel çukur korozyonları oluşur. Dördüncü olarakta korozyon, yüzeyde hareketliden- durgun geçiş ortamlarda oluşur. Fakat bu çeşitte çukur korozyonları çoğunlukla üniformik yapıda korozyonlara dönüşürler. Beşinci olarakta hareketli polarizasyona uğratıldığında malzeme üst tabakasında bir ayrılma oluşması şeklindedir. Bundan dolayı da genelde çukur korozyonların yerlerini üniform yapılı korozyonlar almaktadır. Alüminyum vede alaşımlarından en fazla meydana gelen korozyon çeşididir vede çok ciddi neticeler oluşturmaktadır.[34,35]

1.4.3.Seçimli Korozyon

Alaşımlar malzemesinde iç kısmında bulunan bir elementin veya metal malzemenin korozyona maruz kalması vede alaşımlardan kopmasına sebep olan korozyon çeşidi seçimli korozyonlar olarak tanımlanır. Daha çok pirinçlerin alaşımlarında görülür ve alaşımların yapısında bulunan çinko malzemeyi bakırlardan önce korozyonlara maruz bırakarak alaşımlardan uzaklaştırırlar. Pirinç malzemedeki çinkoların uzaklaştırılması sonucu alaşımlarda kalan bakır metaller delikli bir yapıda kalırlar ve önceki pirinçlerin alaşımlarının mekanik dayanımlarından daha zayıf yapıda olurlar.[34,35]

1.4.4. Galvanik Korozyon

Kendi içlerinde etkileşimlere uğrayan ve birbirlerinden değişik standartlarda elektrot potansiyellere sahip olan malzemeler de zaman ile beraber bulunmaları neticesinde ortaya çıkan korozyonlara galvanik yapıli korozyonlar denmektedir. Hareketli olan ve standartarda elektrot potansiyeleri az değlerlerde olan metalik malzeme anot olarak da korozyon a uğraması ihtimalleri daha da fazla olmaktadır, durgun olan ve standart elektrot potansiyelleri çok olan metallerin korozyonlara uğrama ihtimali çok düşük olur. Ortam da var olan sıvı ve hava buharı elektrolit görevlerini alarak galvanik bir korozyon yapı oluşmasına yol açar. Örneğin, denizdeki tuzlu su ile etkileşime içerisinde olan paslanmayan çelikler ve sac malzemelerin metalik yapılarının bağlantı kısımlarında galvanik korozyonun oluşmasından söz edebiliriz. Tuzlu sularda var olan C1 elementi galvaniz ile galvanik yapı oluşturmada hız kazandırmasını sağlar.[34,35]

1.4.5. Tane Sınırları Korozyonu

Malzemenin mikro yapısı içindeki kristalize tanecikler sınır çizgilerinin hizalarında oluşturulan korozyonlara tane sınırları korozyonu denmektedir. Genellikle korozyonun bu türü erimiş metallerin katılaşmasının veya metallere ısıli işlemlerin uygulandığında oluşur ve tanelerdeki sınırlarında belirgin bir şekilde görülebilen bir ayrılma olur. Taneler arasındaki korozyonlara verilebilecek en yaygın 2 örnek , ısıli işlemlere tabi tutulmuş yada kaynak uygulaması yapılmış paslanmaz çelikler ve Fe içeren Al alaşımları. İç yapısında bulunan C ile Cr tepkimeye girmesi sonucu ortaya çıkan Cr3C2 (krom karbür) bileşigidir. Çelikerin tanecikleri arasındaki korozyon direnci olmayan mukavemeti düşük bölgeler oluşmasına yol açar. Genelde, Al (alüminyumun) içerisinde bulunmakta olan düşük çözünübilirlikteki Fe(demir) elementinin taneciklerinin sınırlarında da toplanarak bu bölgelerdeki korozyon dayanımını azaltır. Belirttiğimiz 2 örnekte de sonuçta tanelerin arasında korozyon oluşmaktadır. Bu örneklerden yola çıkarak söyleyebildiğimiz sonuç bu şekilde oluşan korozyon çeşidi sanayide paslanmaz çeliklerin ve Al(alüminyum) kullanıldığı alanlar da büyük bir sorundur.[34,35]

1.4.6. Erozyon Korozyonu

İç yapısında korozyona rastlanan akışkan madde taşımakta olan metalik malzeme iç yüzeylerinde akışdaki yönün, zıttındaki yönde metallerin yapılarında izlenilen eşitsizlik neticesinde metallerin yüzey kısmında korozyon ile beraber erozyonlar da oluşabilir. Kimyasal yapılarında bir etki ve mekaniksel aşınmaların yol açtığı bu korozyon çeşidi

erozyon korozyonları şeklinde adlandırılır. Borularla yapılacak olan taşıma sistemlerinde çoğunlukla karşılaşılan bu tür korozyonlar, korozyon malzemelerinin çözeltiler sayesinde devamlı olarak ortamlardan uzaklaştırıldıklarından hızları çok fazladır. Akan malzemelerin çeşitleri ve hızları da erozyon korozyonlarının hızlarını yüksek ölçüde etkiler. Bundan dolayı akışkanların hızları düşürülerek, sıvılarda çökeltmeler oluşturularak veya metallerdeki katodiklik korunarak çoğunlukla engellenmiş olurlar[34,35]

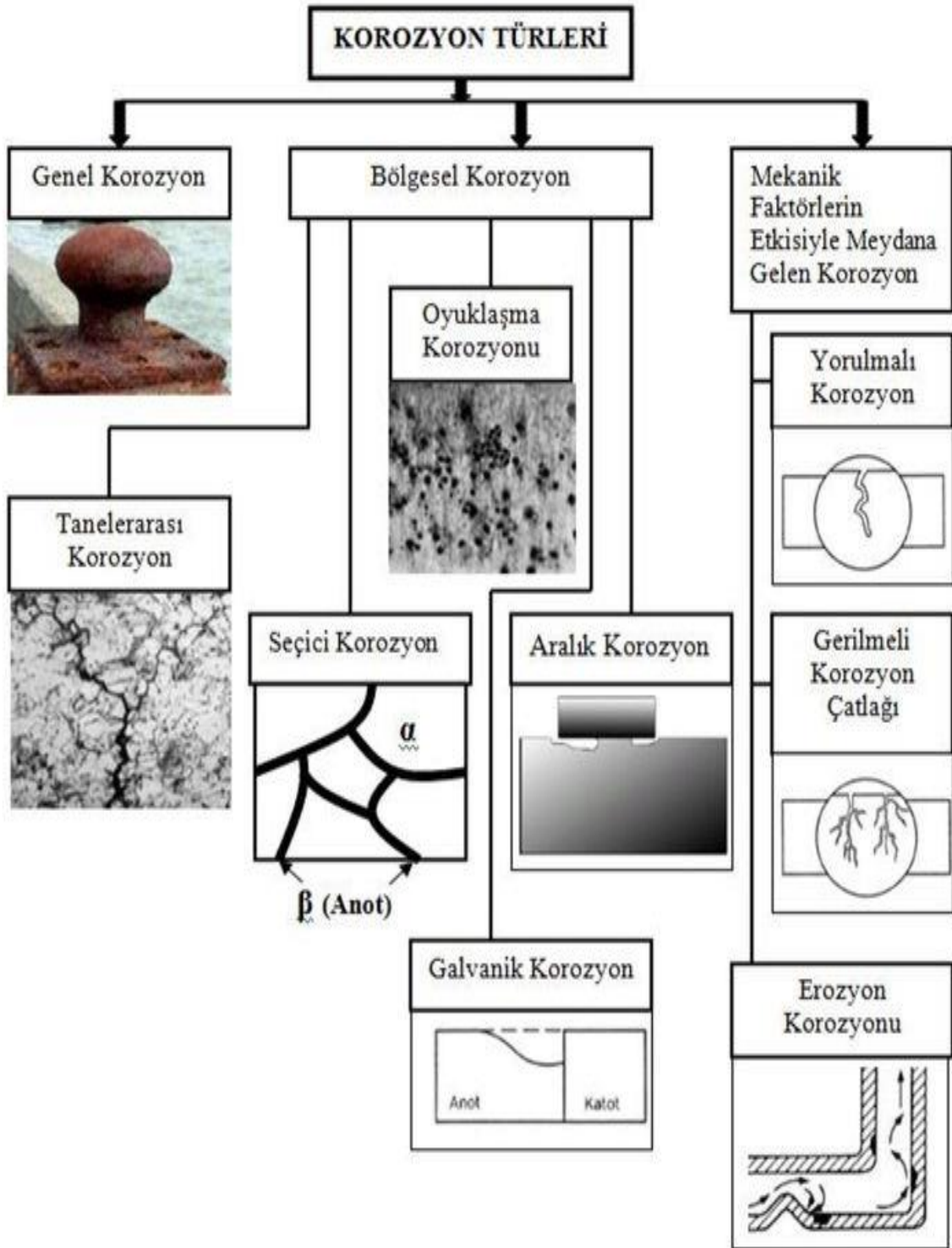
1.4.7. Aralık Korozyonu

Bu korozyon, metalin yüzey tabakasındaki çatlaklar ve boşluklar içerisinde fazla korozyon ortamlarda oluşan şiddeti yüksek bölgesel korozyonlardır. Yüzey üzerinde bahsettiğimiz aralıklar, sıvıları içerisine alacak oranda büyük lakin akıp gitmesine engel olacak kadarda küçük olmasıdır. Çözeltiler aralıkları veya çatlakların içerisinde stabil kaldığından otürü oksijenin geçmesini engeller. Bu yüzden oksijeni alamayan bu kısımlar anotik, çatlakların çevresinde ki öteki kısımlar katotik görev üstlenirler. Korozyonun bu türleri özellikle korozyona dayanımı artırdığı oksitli tabaka veya durağan olan katmanlara bağlı metallerin alaşımların da gözlemleyebilirsiniz.[36]

1.4.8. Gerilmeli Korozyon Çatlaması

Gerilmeli korozyon çatlaması (SCC), korozif ortamda çatlak yapısının büyümesidir. Genellikle yüksek sıcaklıkta gerilme stresine karşı karşıya kalan normal sünek metallerin beklenilmeyen ani bozulmasına yol açabilir. SCC, kimyasal olarak çok karmaşıktır, bazı alaşımların sadece az sayıda kimyasal ortama maruz kaldığında SCC'ye maruz kalması ihtimal dahilindedir. Belirlediğimiz bir alaşım için SCC'ye sebep olan kimyasal ortam, çoğunlukla metal için hafifçe aşındırıcı olan bir ortamdır. Bu sebeple, şiddetli SCC'ye sahip metal parçacıklar, mikroskobik çatlaklarla doldurulurken parlak görünebilir. Bu etken, SCC'nin başarısızlıktan önce bulunmasını yaygınlaştırır. SCC genellikle hızlı bir şekilde ilerler ve alaşımlar arasında saf metallerden daha yaygındır. Çevre faktörü çok öneme sahiptir ve çoğunlukla yıkıcı ve beklenilmeyen başarısızlığa sebep olan , felaket çatlağı oluşturmak için yüksek derecede aktif kimyasalların çok küçük yoğunlaşmalarına ihtiyaç duyar.

Gerilmeler, gerilme yoğunlaşmalarına bağlı çatlak yüklerinin bir neticesi olabilir ya da montaj türünden ya daüretmeden kaynaklanan fazla gerilmelerden oluşabilir (örneğin soğuk çalışma); Fazla gerilmeler, tavlama veya diğer yüzey işlemleri ile düzeltilerilebilir.[37]



şekil.12. Korozyon türleri [37]

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmamızda karbon (C) miktarı bakımından düşük, Ç1020 çelik malzemesinin yüzeyi kumlanarak yüzey pürüslülüğü sağlandıktan sonra tel ark püskürtme yöntemi ile paslanmaz çelik malzeeler ile kaplanmıştır. Yüzeyde oluşturulan kaplama tabakasının mikroyapı, mikrosertlik ve korozyon özellikleri incelenmiştir.

2.1. Kullanılan Malzemeler

Tel Ark Püskürtme kaplama metodunda, altlık malzeme olan 100x30x10 mm ölçülerinde karbonu düşük Ç 1020 çelik malzeme (Çizelge 2.1) kullanılmıştır. Yüzeye kaplanacak tel olarak AISI 308 ve AISI 420 paslanmaz çelik tel kullanılmıştır. Karbonu düşük çelik malzemenin ve AISI 308 ve AISI 420 paslanmaz çelik tellerinin kimyasal yapısı Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Şekil 2.1’de Tel Ark spray kaplama yönteminin şematik gösterimi verilmiştir [38].

Çizelge. 2.1. Altlıkta kullandığımız malzemenin; Ç 1020 çeliğin kimyasal yapısı (% ağırlığı)

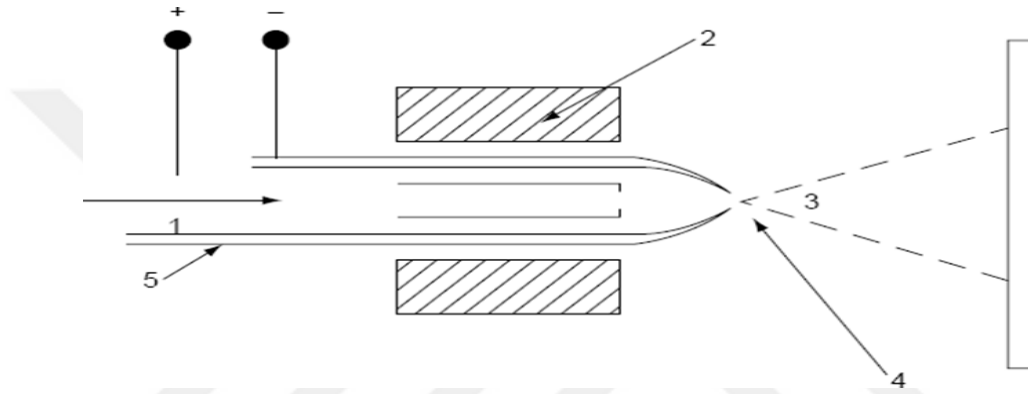
Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
Ç1020	0.20	0.04	0.50	0.065	0.022	0.07	0.080	0.080	Kalan

Çizelge 2.2. Yüzeyin alaşımlanmasında kullandığımız tellerin kimyasal içeriği (%ağırlık)

Alaşım Elementleri	AISI 308 Paslanmaz Çelik	AISI 420 Paslanmaz Çelik
Krom(Cr)	19-21	13,0
Nikel(Ni)	10-12	-
Manganez(Mn)	2	1,0 max
Silisyum(Si)	1	1,0max
Fosfor(P)	0,045	0,04 max
Karbon(C)	0,03	0,20
Kükürt(S)	0,03	0,03max

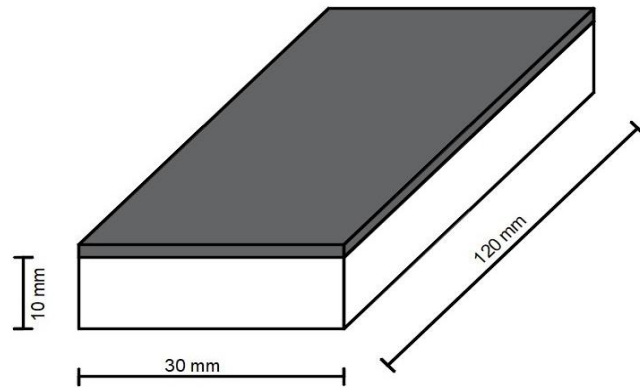
2.2. Yüzey Kaplama Yöntemi

Bu kaplama yönteminde; Kaplama yapılırken 1,6 mm kalınlığında ve AISI 308 , 420 kodlu paslanmaz çelik tel , 150 Amper, 200 Amper A, 250 Amper'lik akım şiddetleri kullanılmak üzere , karbon miktarı düşük çelik malzemenin yüzey kısmı tel ark sprej kaplama yöntemi kullanılarak kaplanması sağlanmıştır. Bu işlem toplam olarak 6 ayrı numune üzerine 150 A, 200 A ve 250 Amperlik'lik akım parametreleri kullanılmak sureti ile, yüzeyler kaplanmıştır. Şekil 3.4'de tel ark sprej kaplama yöntemi numunelerin üzerlerine yapıştırılmış tel alaşımlanmaların uygulanma yöntemini gösteriliş şeması.



Şekil 2.1. Tel Ark sprej yönteminin şematik gösterimi,

- 1) Atomizasyon için gazın akması, 2) Torç, 3) Erimiş partiküllerin hareketi,
4) Elektrik arkı, 5) Tükenebilen ark elektrodu [40]



Şekil 2.2. Yüzey kaplandıktan sonraki numunenin görünüşleri verilmiştir.

Çizelge 2.2.'de Tel Ark sprej kaplama yöntemi ile yüzeylerin kaplanması esnasında kullandığımız üretim parametreleri verilmiştir. Tel Ark sprej kaplama yöntemi ile arkın oluşturulması eritilmesi ve tekrar yüzeylere yapıştırılması tellerin eritmesiyle tabakanın

yüzey kısmında nüfuziyeti oluşturmuştur. Şekil 2.3.'te yüzey alaşımlandıktan sonraki numunenin görünüşleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Numuneler ve kaplama pareetreleri verilmiştir [39].

Numuneler	AISI 420	AISI 308
A1	150A	
A2	200A	
A3	250A	
B1		150A
B2		200A
B3		250A

2.3.Metalografik Muayene ve Sertlik Ölçümü

Hazırladığımız numuneleri kaplama işlemlerinden sonra kaplamanın yönüne dik olarak kesilen ve yüzeylerinin kesitleri alınarak çıkartılmıştır. Numunelerden aldığımız kesit yüzeyleri sırasına göre 320 MESH, 600 MESH, 800 MESH ve 1200 MESH'lik zımparalama yaptıktan sonra 3µm elmasdan oluşan pastanın ve çuhanın yardımı ile numunelerin yüzeyi parlatılmış bir şekle getirildi. Parlatılmış numunelerin mikroyapıları ve yapılarında oluşmuş fazların belirlenmesi için SEM (taramalı elektron mikroskobu) fotoğrafları çekilmiştir. EDS (Enerji yayılım spektroskopisi)'de noktasal olarak elementlerin analizi yapılmıştır. Numunelerin yüzeyinde oluşan kaplama tabakasının bileşiklerinin analizleri için numune yüzeylerinden XRD analizleri yapılmıştır. Numune yüzeyinde oluşan alaşımlanan tabakasının sertliklerinin ölçülmesi de, QNEES markası QM-10 modeline sahip Mikrosertlik cihazlarında Vickers paremetresinde ölçüm yapılmıştır. Numunelerdeki alaşımlanmış tabakalardan 5 değişik bölge ölçümleri yapıldıktan sonra aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır.[39]

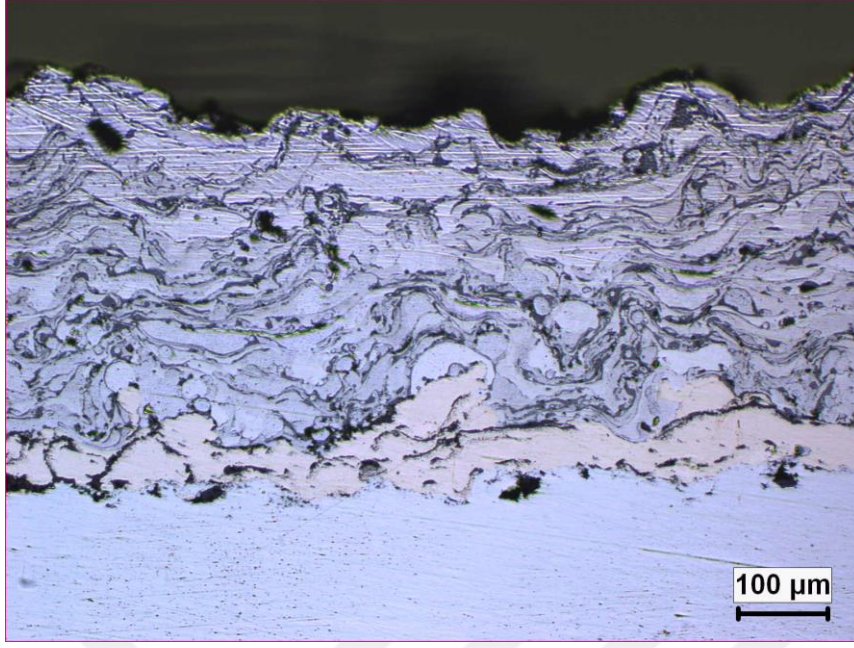
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karbon oranı bakımından az olan çelik yapıli malzemelerin yüzeylerine AISI 308, AISI 420 özellikli tel alaşımları tel ark sprej kaplama yöntemi yardımı ile yüzey alaşımlandırılmıştır. Tel ark sprej kaplama yöntemiyle yüzeylerin alaşımlandırılması yapılırken 150 A, 200 A ve 250 A miktarında 3 değişik Akım şiddeti kullanılmıştır. Numunelerin yüzeylerin de oluşmuş alaşım tabakalarındaki mikroyapısı ve de SEM değerlerinin incelemesi yapılmıştır.

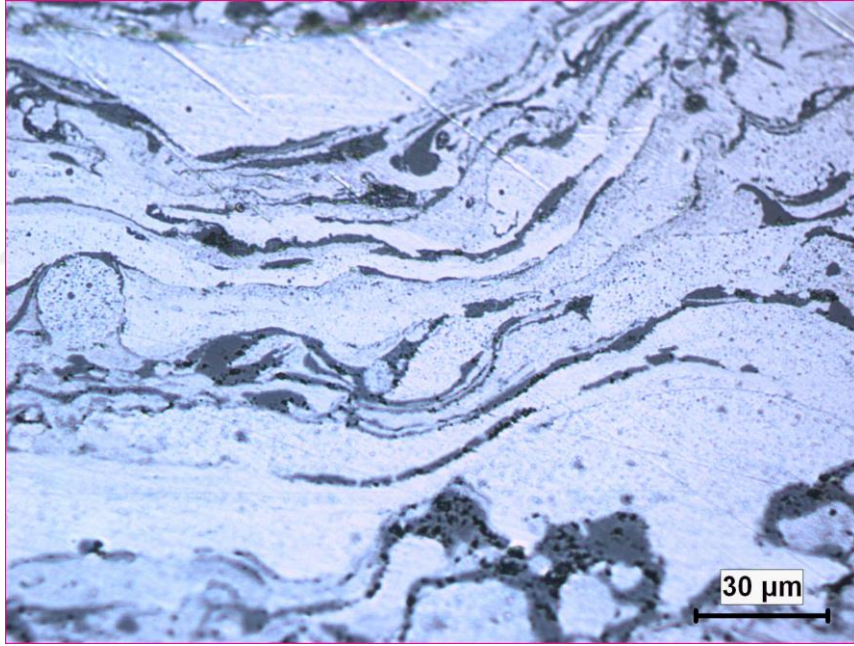
3.1. Mikroyapı İncelemesi

Düşük karbonlu çelik malzeme yüzeyine tel ark püskürtme yöntemi kullanılarak AISI 420 (A grubu) ve AISI 308 (B grubu) paslanmaz çelik malzemeler kaplanmıştır. Kaplama işlemleri 150 A, 200 A ve 250 A akım şiddetlerinde gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemlerinde ara tabakalarda 50-150 µm, kaplama tabakalarında 300-480 µm tabaka kalınlıkları elde edilmiştir.

Alt malzeme yüzeyi üzerine 150 A akım şiddetinde kaplanan A1 numunesinin optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Şekil 3.1-a'daki mikroyapı resmi incelendiğinde, altlık malzeme, ara tabaka ve kaplama tabakasının birbirine bağlandığı ve kaplama işleminin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Şekil 3.1-a, b incelendiğinde, mikroyapı resimlerinde kaplama tabakasında lamel yapının oluştuğu görülmektedir. Lamel yapı, ısı püskürtme yöntemi ile gerçekleştirilen kaplamaların genelinde görülmektedir. Altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ara tabakanın kaplanması ve şekil alması farklılık göstermiştir. Ara tabakanın içerisinde siyah renkte lamel görünümlü farklı alaşım bölgeleri mevcuttur. AISI 420 paslanmaz çelik kaplama tabakasında da lamel yapı ile birlikte açık ve koyu renkte farklı bölgelerin oluştuğu tespit edilmiştir.



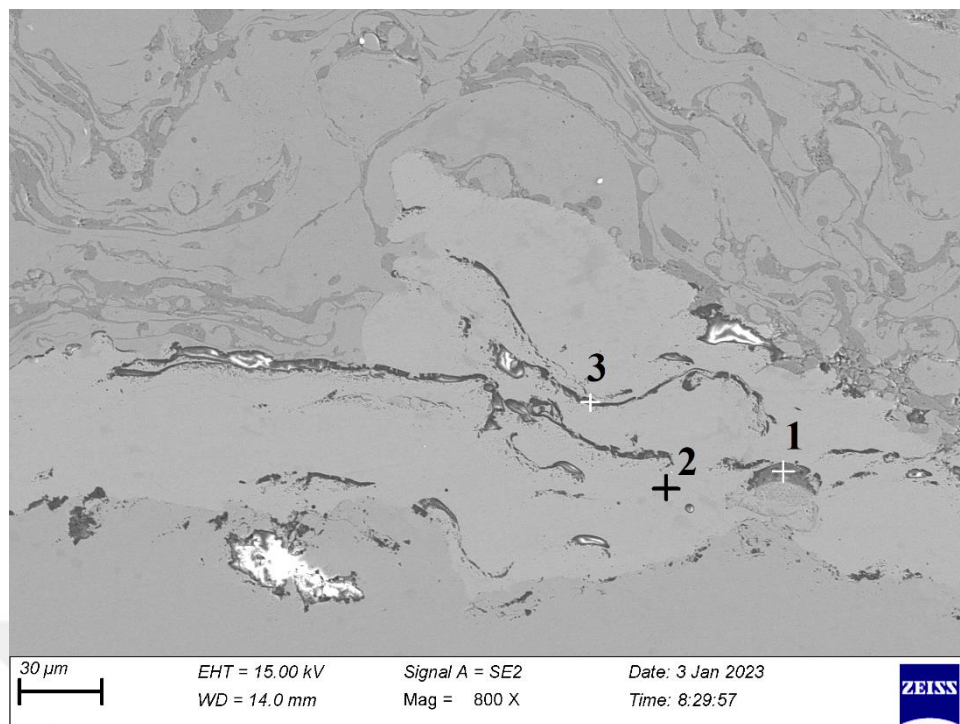
(a)



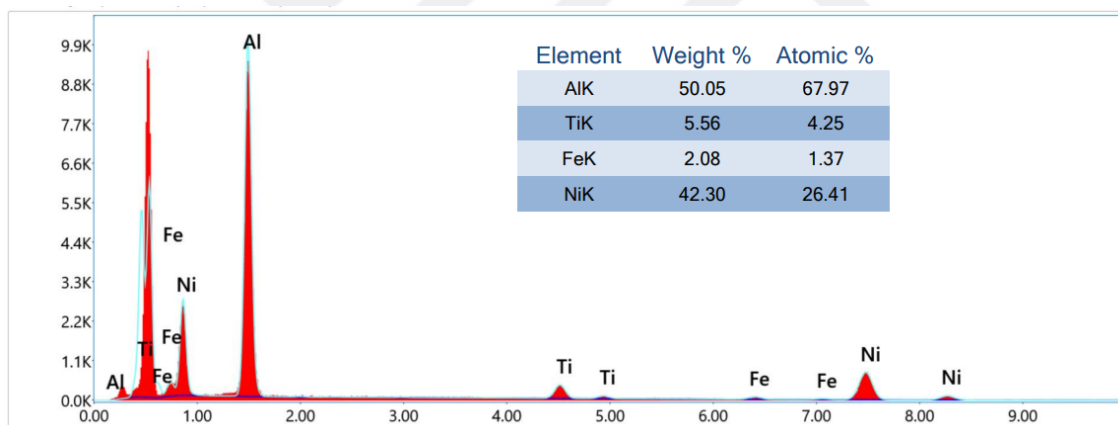
(b)

Şekil 3.1. A1 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakaları vede arayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası

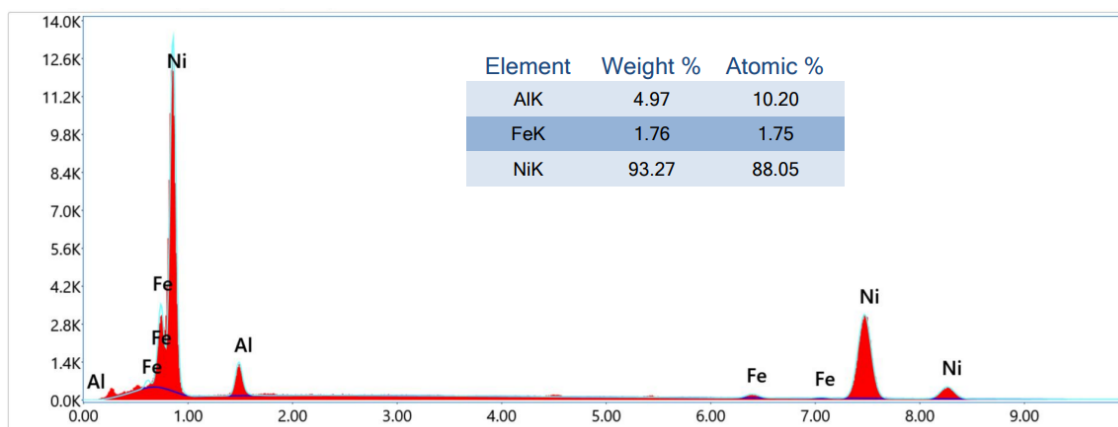
Şekil 3.1 ‘de A1 numunesindeki ara tabakadan alınmış EDS analizlerini ve bulundukları yerleri belirten SEM resimleri gösterilmiştir. NiCr ara tabakanın mikroyapısında, matris yapı ve içerisinde lamel yapılı siyah renk bölgeler mevcuttur. Ara tabakanın matris ve lamel bölgelerinden EDS analizleri alınmıştır. Bu yapılardaki elementel farklılıklar incelenmiştir.



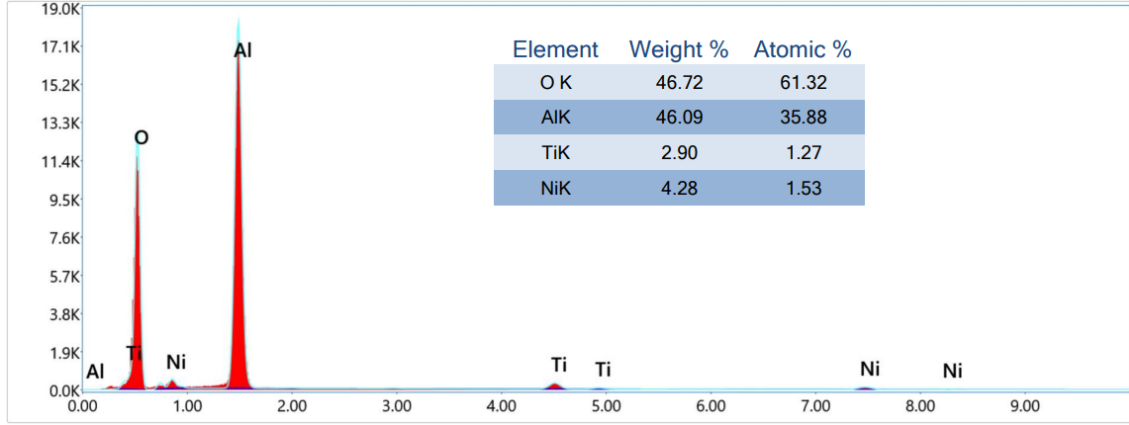
(a)



(b)



(c)

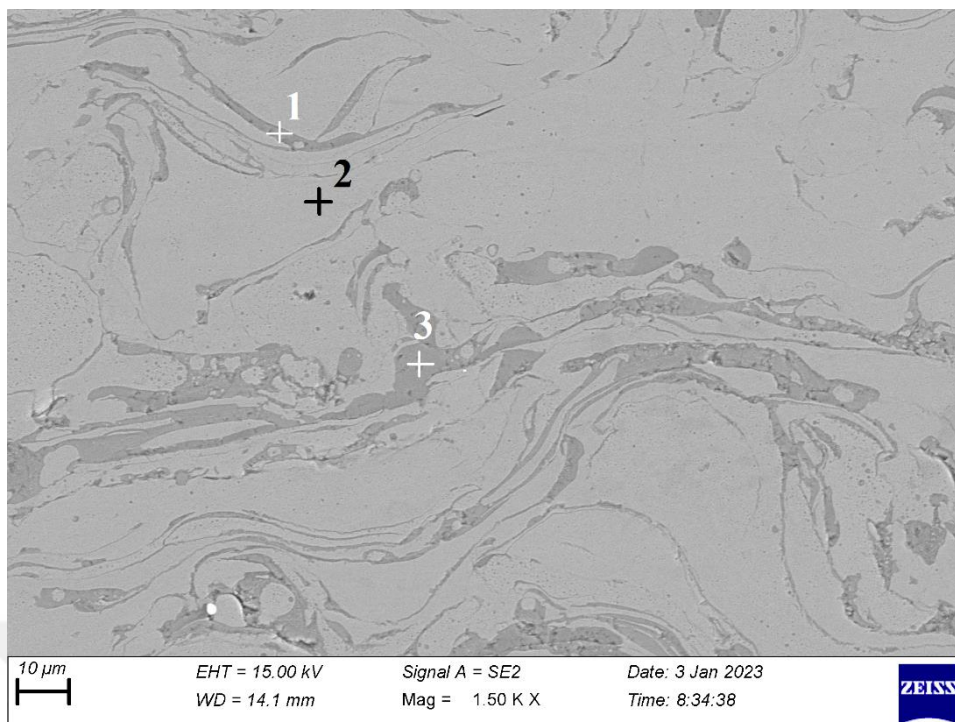


(d)

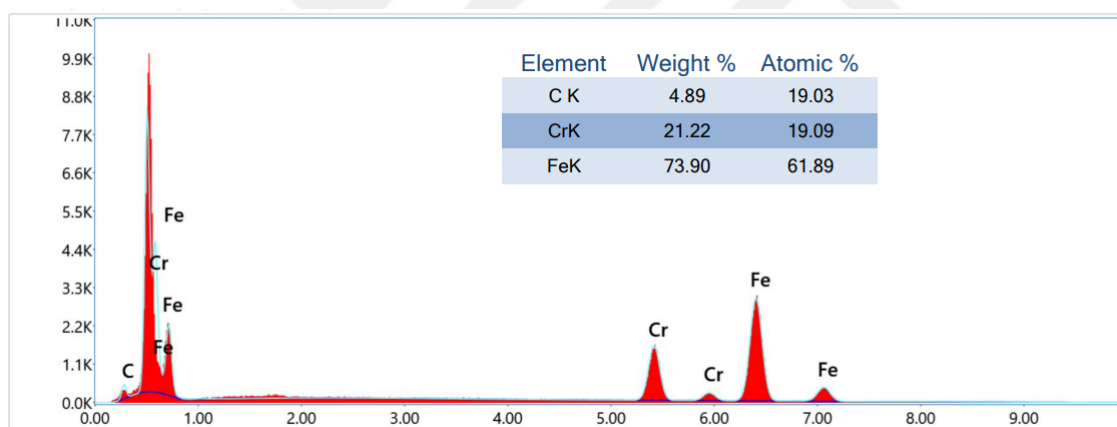
Şekil 3.2. A1 numunesindeki ara tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü, b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı. d) 3 nolu EDS analiz yapısı.

A1 numunesinden alınan 1 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.2-b’de verilmiştir. Bu noktada, Al elementi % 42,30, Ni elementi %31,2, Fe elementi % 2,08 ve Ti elementi %5,56 değerinde ölçülmüştür. A1 numunesinden alınan 2 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.2-c’de verilmiştir. Bu noktada, Ni elementi % 93,27, Fe elementi % 1,76 ve Al elementi % 4,97 değerinde ölçülmüştür. A1 numunesinden alınan 3 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.2-d’de verilmiştir. Bu noktada, Al elementi % 46,09, O elementi % 46,72, Ni elementi % 4,28 ve Ti elementi % 2,90 değerinde ölçülmüştür. Al ve O elementlerindeki yükseklik, bu noktalarda oksitli bileşiklerin varlıklarını gösterebilmekte dir. Kaplamaların yapıldığı sırada ara tabakalarda oksitlenmelerin oluşabileceği düşünülebilmektedir.

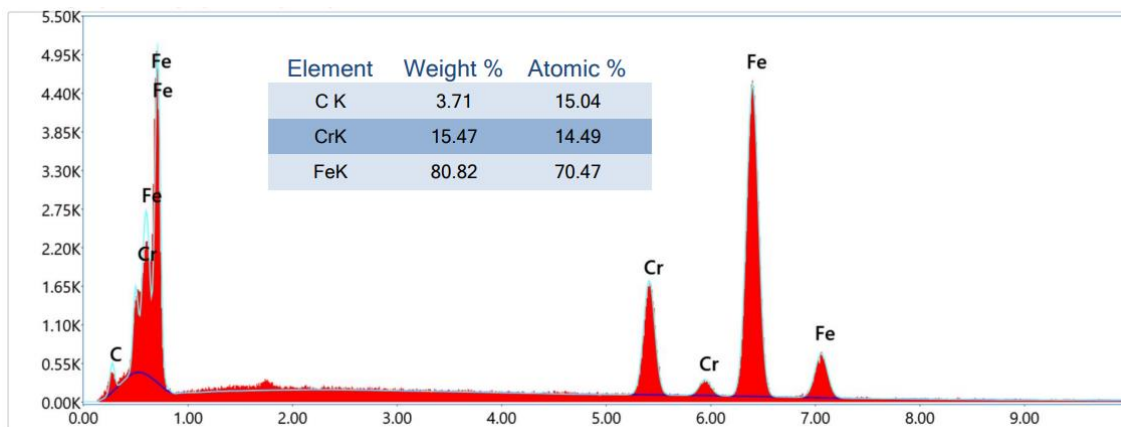
Şekil 3.3’te A1 numunesindeki ara tabakadan alınmış EDS analizlerini ve bulundukları yerleri belirten SEM resimleri gösterilmiştir. AISI 420 paslanmaz çelik kaplama tabakasında lamel yapı ve mikroyapı içerisindeki açık ve koyu renkteki farklı bölgelerden EDS analizleri alınmıştır. Bu yapılardaki elementel farklılıklar incelenmiştir.



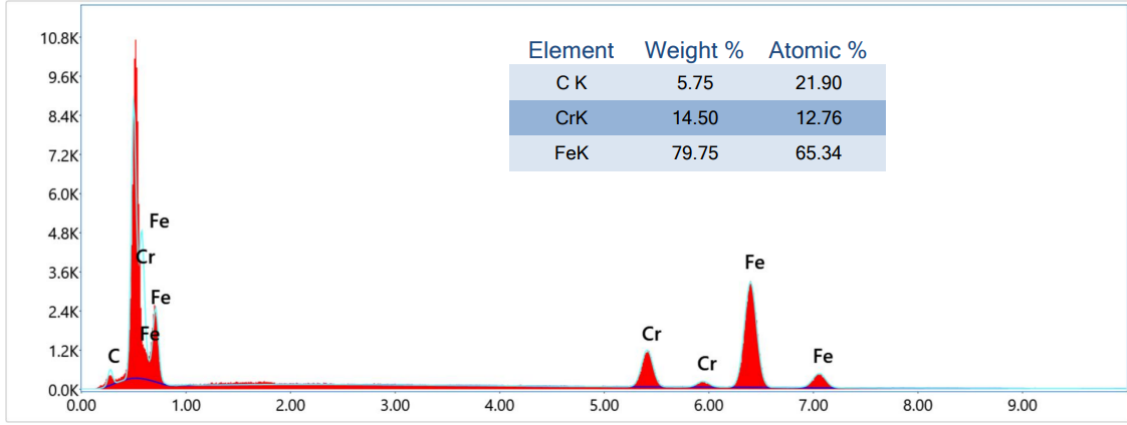
(a)



(b)



(c)

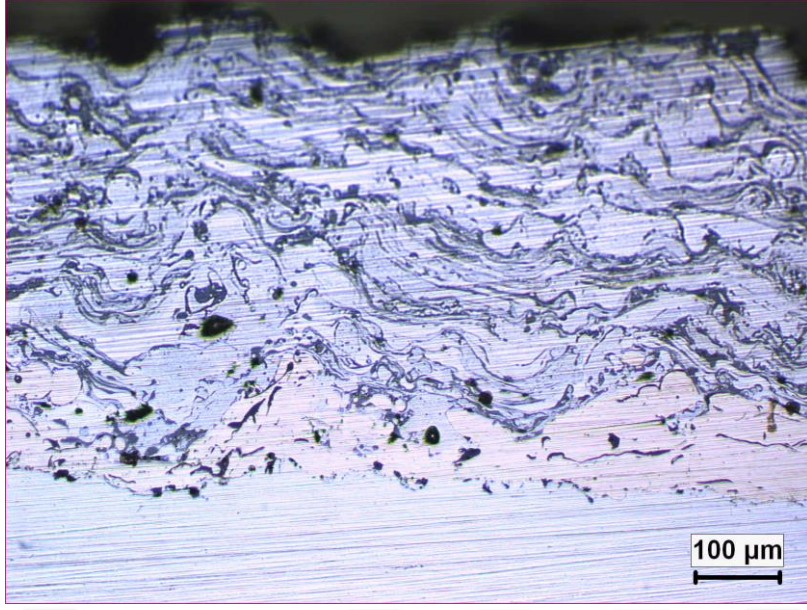


(d)

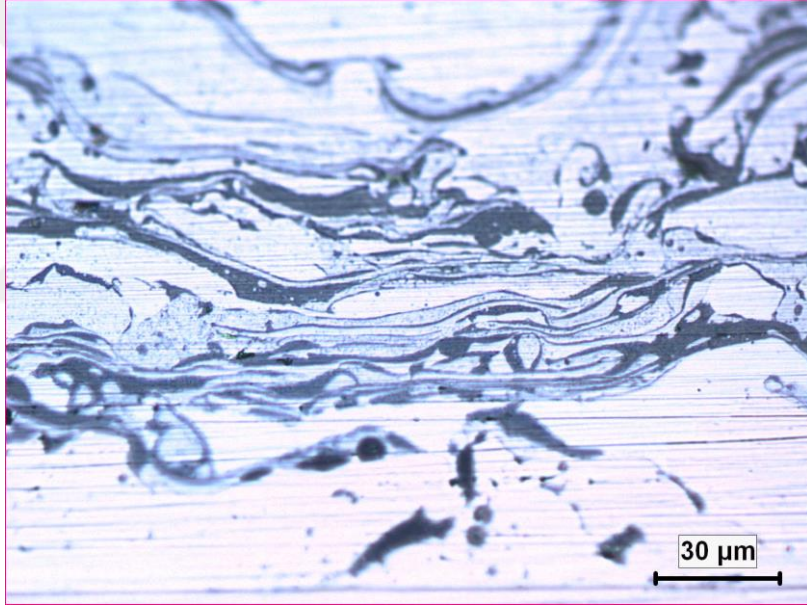
Şekil 3.3. A1 numunesindeki kaplanmış tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü, b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı. d) 3 nolu EDS analiz yapısı.

A1 numunesinden alınan 1 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.3-b’de verilmiştir. Bu noktada, Fe elementi bulunduğu vede Cr elementi % 21,22 , C elementi %4,89 oranlarında katılaştıkları görülmüştür, A1 numunesinden alınan 2 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.3-c’de verilmiştir. Bu noktada yüzde ağırlık olarak en çok Fe elementi, vede Cr elementi % 21,22, C elementi % 4,89 oranlarında katılaştıkları görülmüştür. A1 numunesinden alınan 3 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.3-d’de verilmiştir. Bu noktada, Fe elementi bulunduğu vede Cr elementi % 14,50 , C elementi %5,75 oranlarında katılaştıkları görülmüştür.

Alt malzeme yüzeyi üzerine 200 A akım şiddetinde kaplanan A2 numunesinin optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.4’te gösterilmiştir. Şekil 3.4-a’daki mikro yapı fotoğrafına bakıldığında, altlık malzeme, ara tabaka ve kaplama tabakasının birbirine bağlandığı kısmen gözenekli bir yapının gerçekleştirildiği görülmektedir. Şekil 3.4-a,b incelendiğinde, bu numunede de lamelli yapının oluştuğu ve A1 numunesine göre gözenek sayısının bir miktar arttığı görülmektedir. Altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ara tabakanın kaplanmasında manuel kaplama yapıldığından dolayı kaplama tabakası kalınlığı farklılık göstermektedir. A2 numunesinde AISI 420 kaplama tabakasında da lamel yapı ile birlikte açık ve koyu renkte farklı bölgelerin oluştuğu görülmüştür.



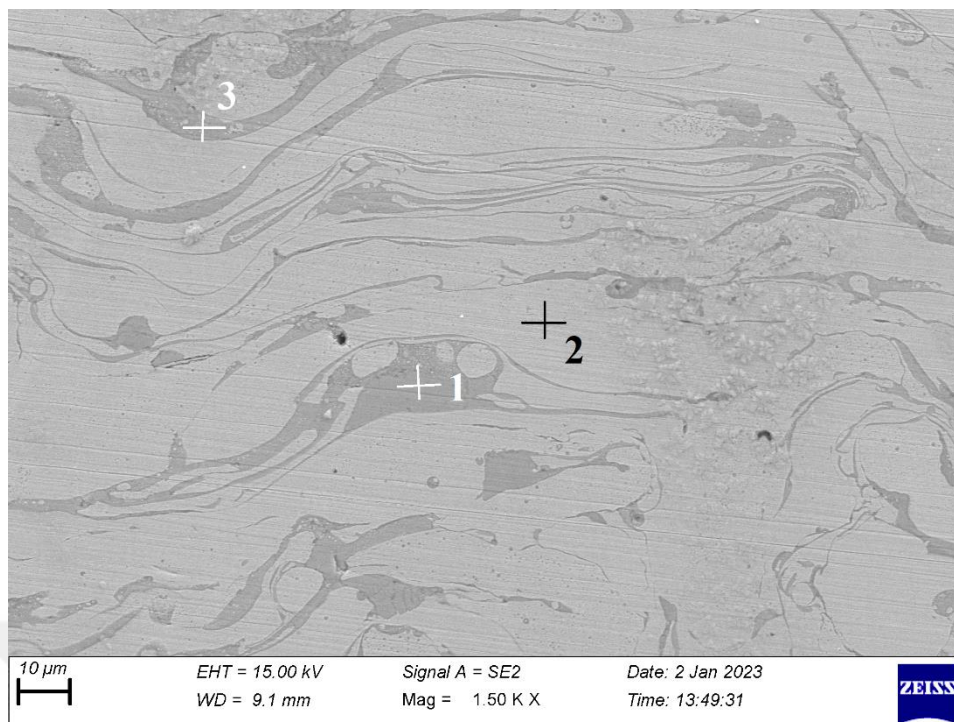
(a)



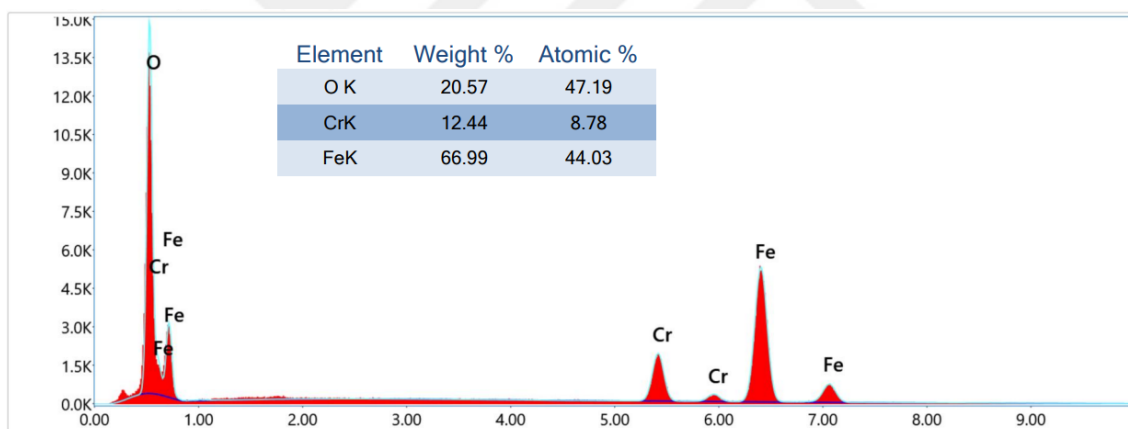
(b)

Şekil 3.4. A2 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakaları ve arayüzey görüntüsü, b) Kaplamalı tabakası

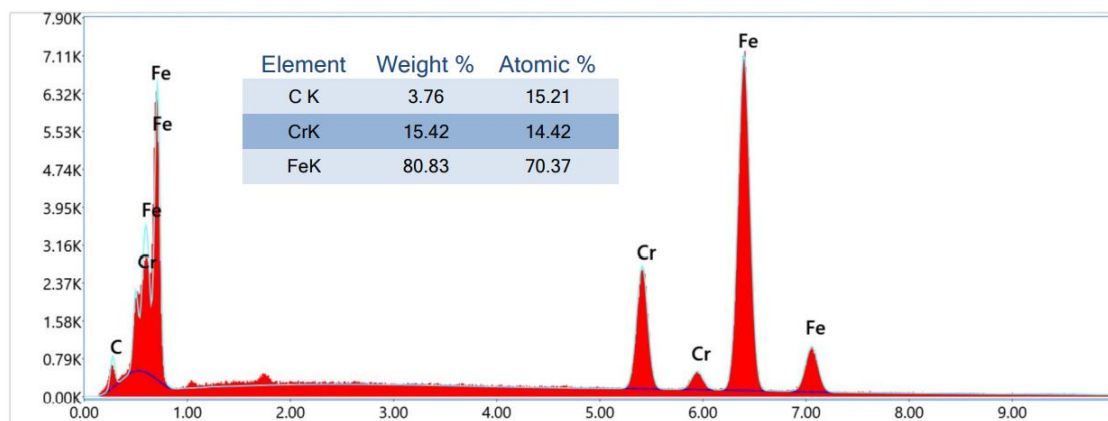
Şekil 3.5'te A2 numunesindeki ara tabakadan alınmış EDS analizlerini ve bulundukları yerleri belirten SEM resimleri gösterilmiştir. AISI 420 paslanmaz çelik kaplama tabakasında lamel yapı ve mikroyapı içerisindeki açık ve koyu renkteki farklı bölgelerden EDS analizleri alınmıştır. Bu yapılarıdaki elementel farklılıklar incelenmiştir.



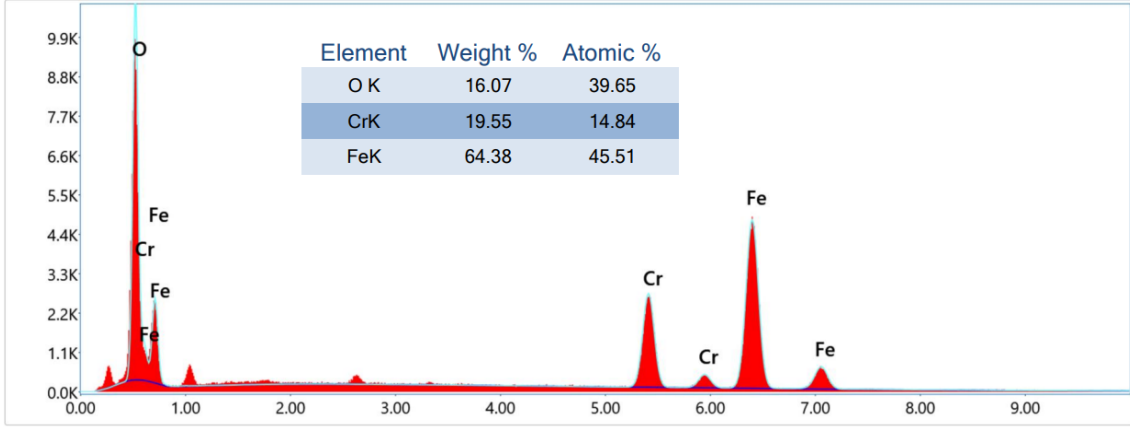
(a)



(b)



(c)

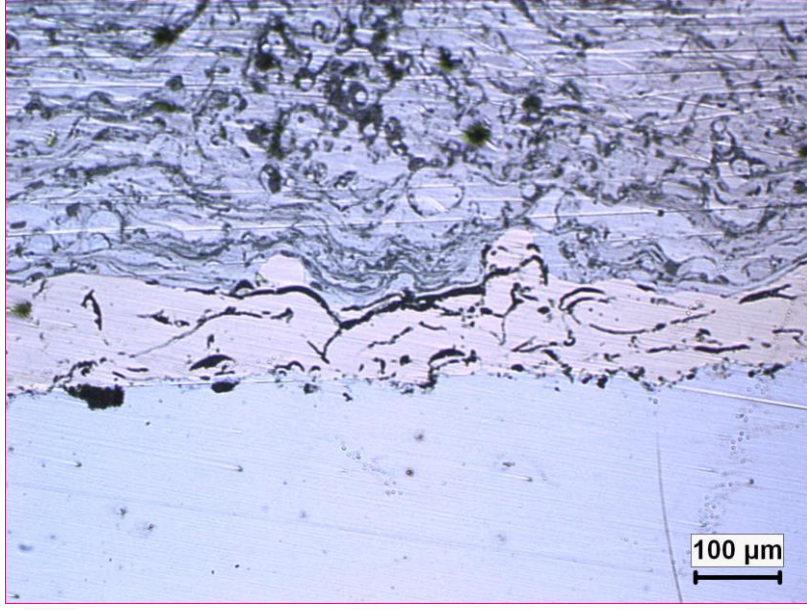


(d)

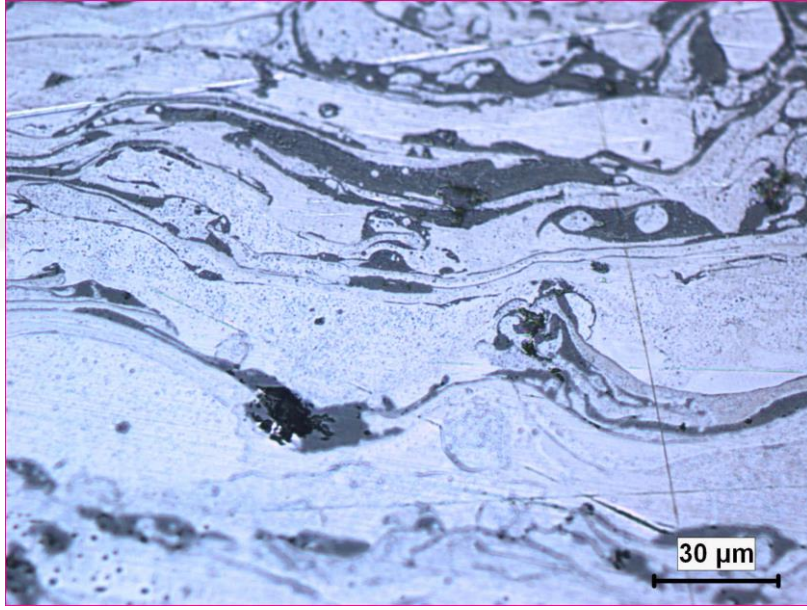
Şekil 3.5. A2 numunesindeki kaplanmış tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü, b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı. d) 3 nolu EDS analiz yapısı.

A2 numunesinden alınan 1 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.5-b’de verilmiştir. Bu noktada, Fe elementi bulunduğu yerde Cr elementi % 12,44 , O elementi %20,57 oranlarında katılaştıkları görülmüştür, A2 numunesinden alınan 2 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.5-c’de verilmiştir. Bu noktada yüzde ağırlık olarak en çok Fe elementi, yerde Cr elementi % 15,42, C elementi % 2,76 oranlarında katılaştıkları görülmüştür. A2 numunesinden alınan 3 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.5-d’de verilmiştir. Bu noktada, Fe elementi bulunduğu yerde Cr elementi % 19,55 , O elementi %16,07 oranlarında katılaştıkları görülmüştür.

Alt malzeme yüzeyi üzerine 250 A akım şiddetinde kaplanan A3 numunesinin a optik mikroyapı fotoğrafı Şekil 3.6 ‘da belirtilmiştir. Şekil 3.6-a’daki mikroyapı resmi incelendiğinde, altlık malzeme, ara tabaka ve kaplama tabakasının birbirine bağlandığı kısmen gözenekli bir yapının gerçekleştirildiği görülmektedir. Şekil 3.6-a, b incelendiğinde, bu numunede de lamelli yapının oluştuğu, A1 ve A2 numunelerine göre gözenek sayısının bir miktar daha arttığı görülmektedir. Altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ara tabakanın kaplanmasında manuel kaplama yapıldığından dolayı bu numunede de kaplama tabakası kalınlığı farklılık göstermektedir.

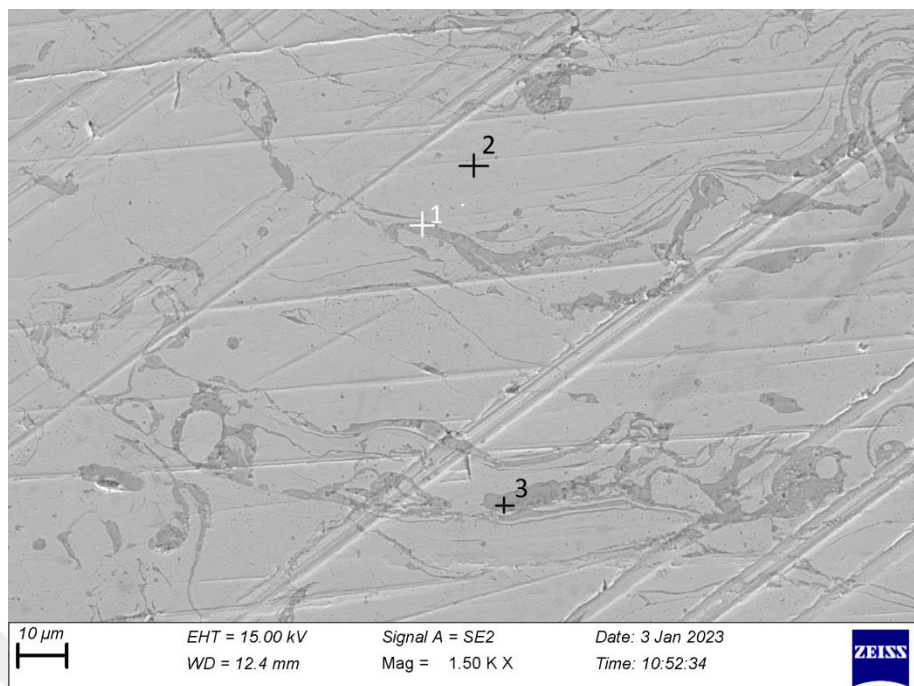


(a)

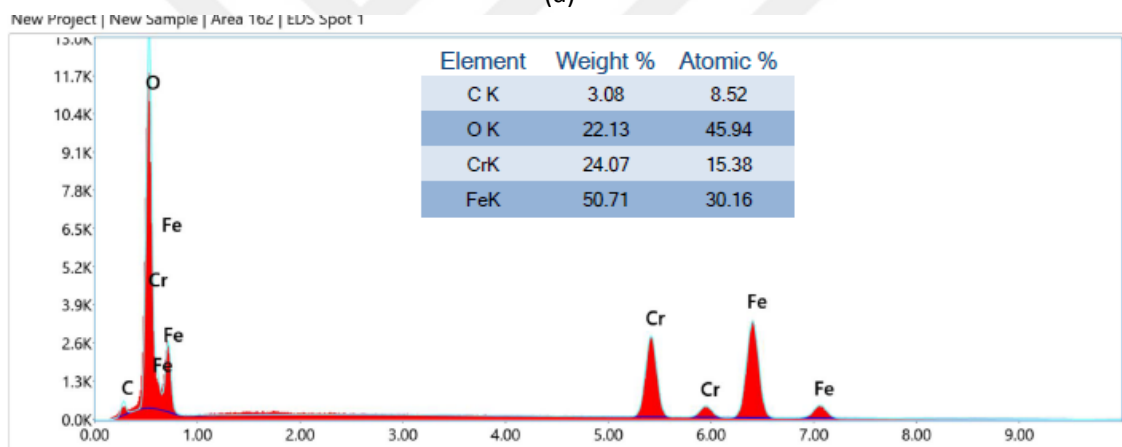


(b)

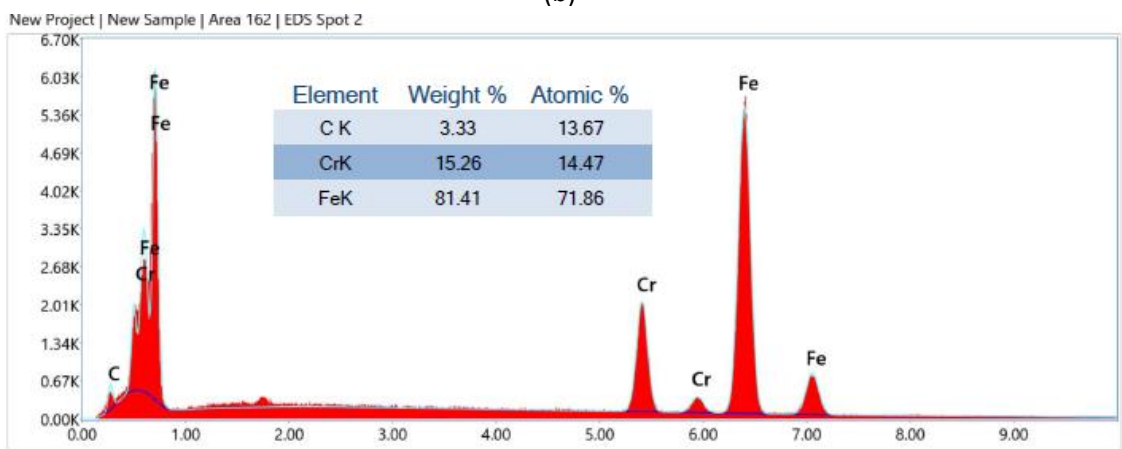
Şekil 3.6. A3 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakaları vede arayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası



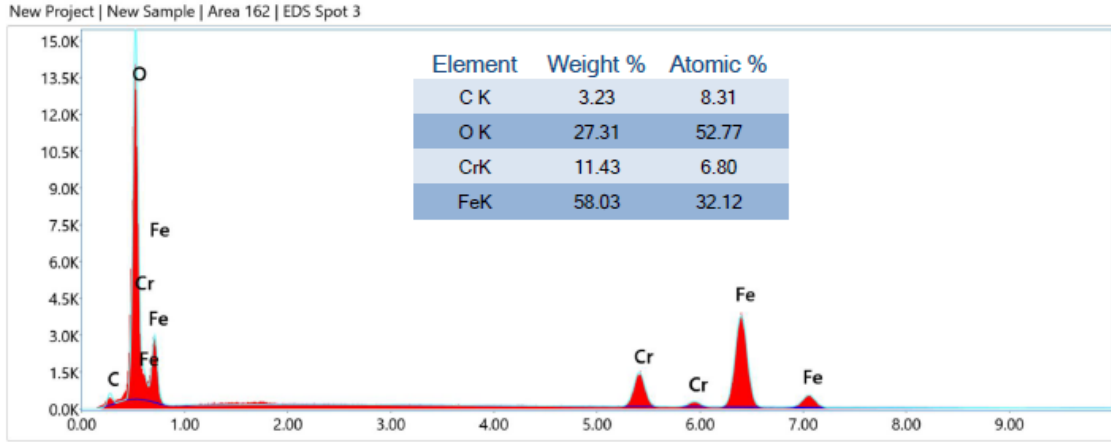
(a)



(b)



(c)



(d)

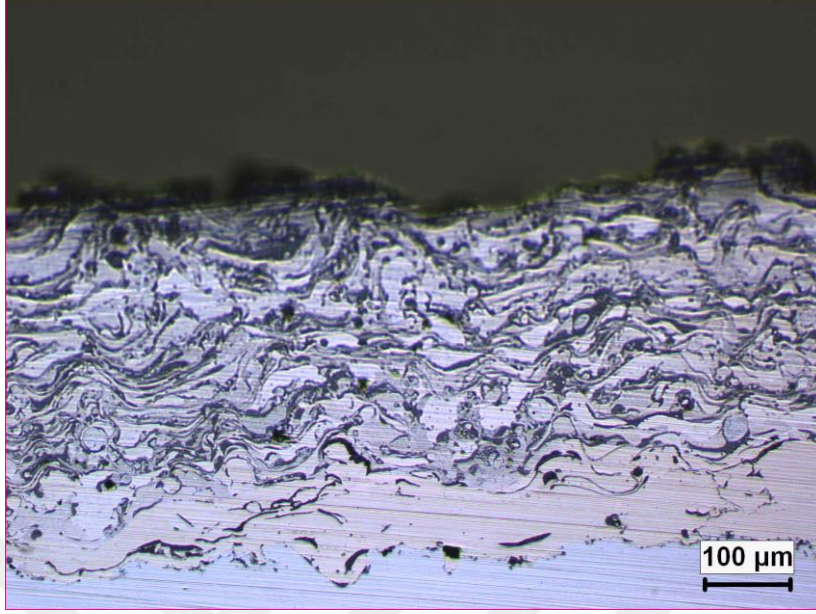
Şekil 3.7. A3 numunesindeki kaplanmış tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü, b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı. d) 3 nolu EDS analiz yapısı.

A3 numunesinden alınan 1 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.7-b’de verilmiştir. Bu noktada, Fe elementi bulunduğu yerde Cr elementi % 12,44 , C elementi %3,08 oranlarında katılaştıkları görülmüştür, A3 numunesinden alınan 2 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.7-c’de verilmiştir. Bu noktada yüzde ağırlık olarak en çok Fe elementi, yerde Cr elementi % 15,26, C elementi % 3,33 oranlarında katılaştıkları görülmüştür. A3 numunesinden alınan 3 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.7-d’de verilmiştir. Bu noktada, Fe elementi bulunduğu yerde Cr elementi % 11,43 , C elementi %3,23 oranlarında katılaştıkları görülmüştür.

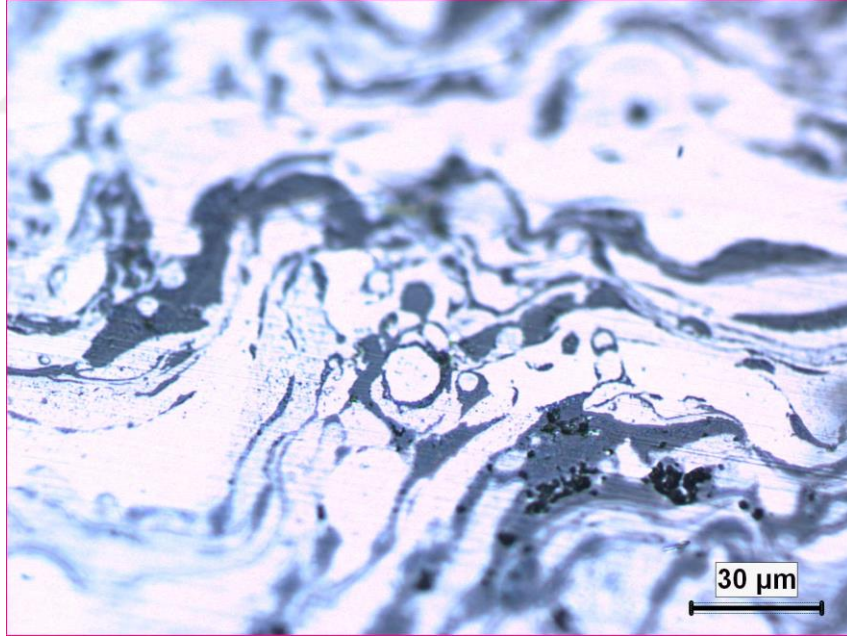
Şekil 3.7’te A3 numunesindeki ara tabakadan alınmış EDS analizlerini ve bulundukları yerleri belirten SEM resimleri gösterilmiştir. AISI 420 paslanmaz çelik kaplama tabakasında lamel yapı ve mikroyapı içerisindeki açık ve koyu renkteki farklı bölgelerden EDS analizleri alınmıştır. Bu yapılardaki elementel farklılıklar tespit edilmiştir

Alt malzeme yüzeyi üzerine 150 A akım şiddetinde kaplanan B1 numunesinin optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.8’da gösterilmiştir. Şekil 3.8-a’daki mikroyapı resmi incelendiğinde, altlık malzeme, ara tabaka ve kaplama tabakasının birbirine bağlandığı ve kaplama işleminin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Şekil 3.9-a, b incelendiğinde, mikroyapı resimlerinde kaplama tabakasında lamel yapının oluştuğu görülmektedir. Lamel yapı, ısıl püskürtme yöntemi ile gerçekleştirilen kaplamaların genelinde görülmektedir. Altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ara tabakanın kaplanması ve şekil alması farklılık göstermiştir. Ara tabakanın içerisinde siyah renkte lamel

görünümlü farklı alaşım bölgeleri mevcuttur. AISI 308 paslanmaz çelik kaplama tabakasında da lamel yapı ile birlikte açık ve koyu renkte farklı bölgelerin oluştuğu resimlenmiştir.

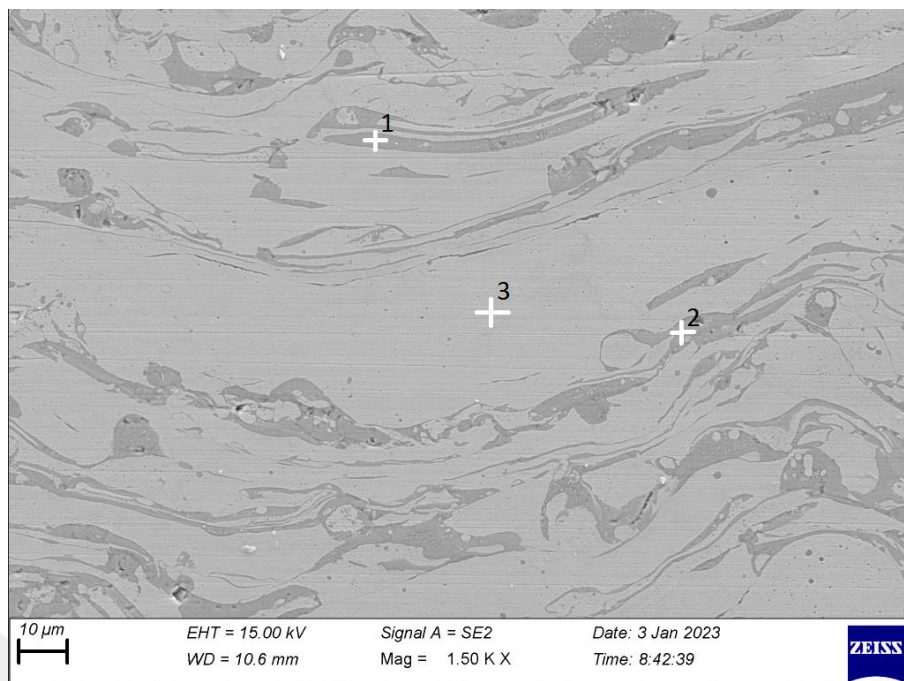


(a)



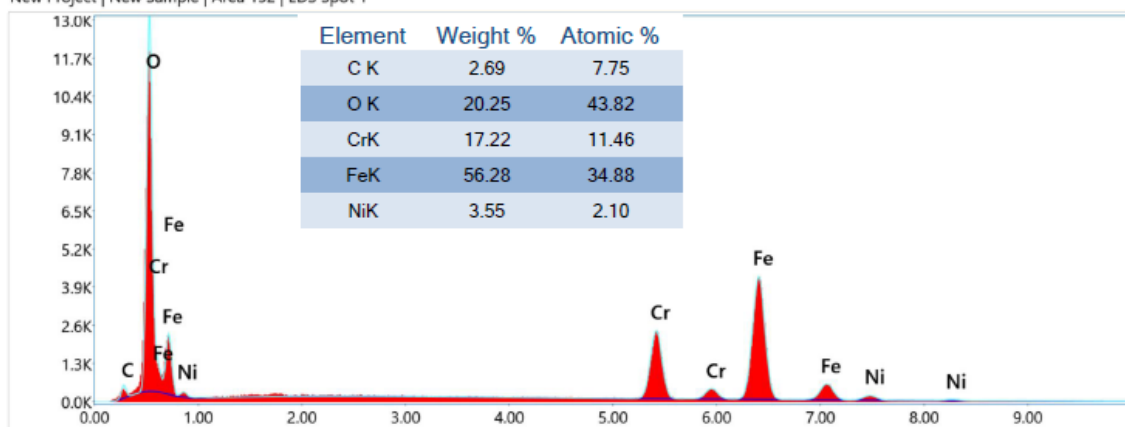
(b)

Şekil 3.8. B1 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakaları vede arayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası

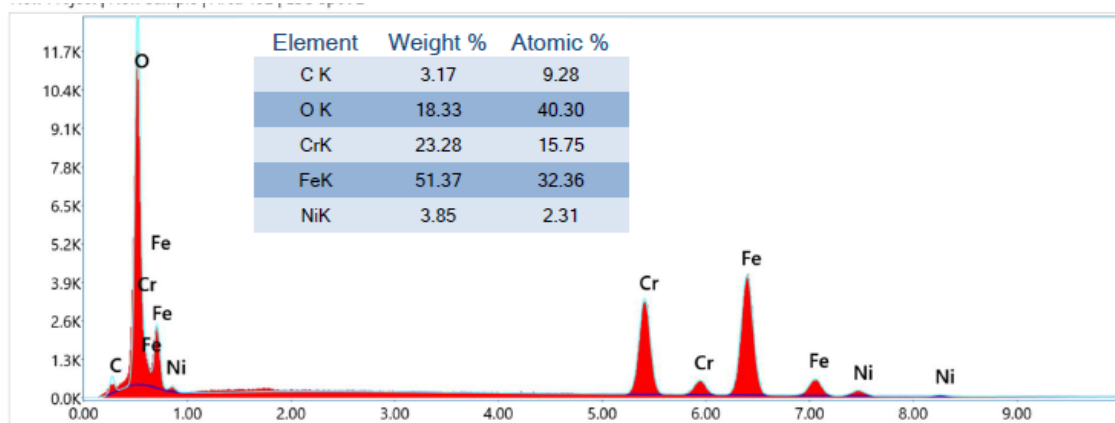


(a)

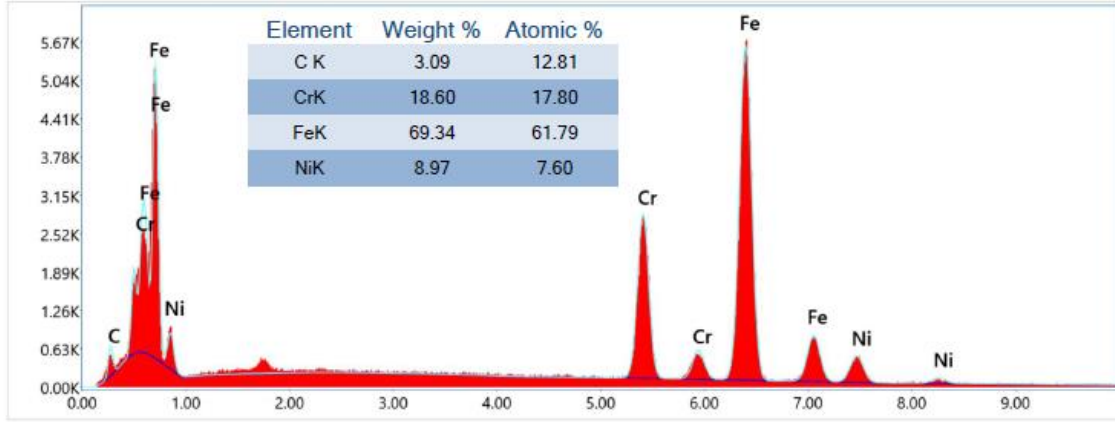
New Project | New Sample | Area 152 | EDS Spot 1



(b)



(c)

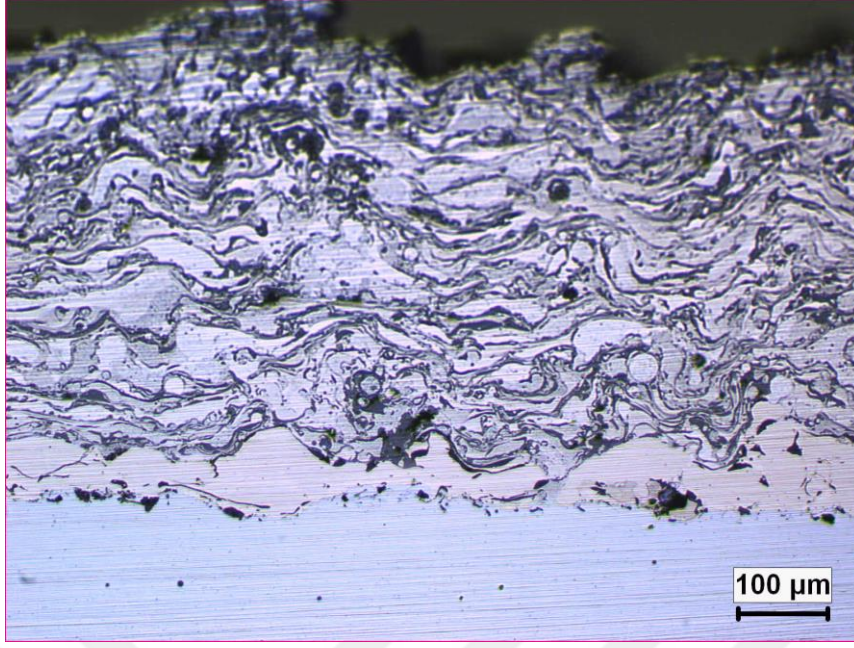


(d)

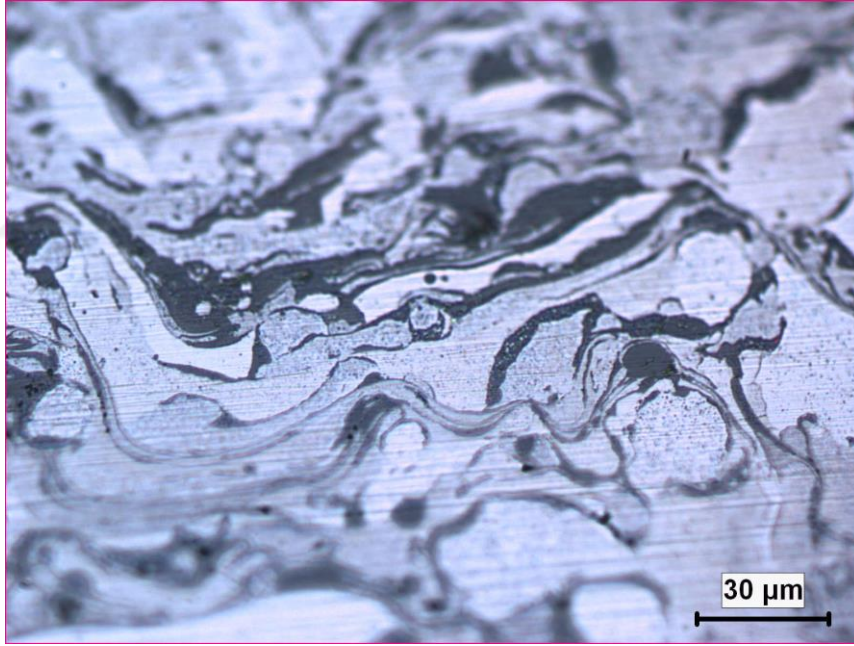
Şekil 3.9. B1 numunesindeki kaplanmış tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü,b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı. d) 3 nolu EDS analiz yapısı.

B1 numunesinden alınan 1 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.9-b’de verilmiştir. Bu noktada, Fe ve O elementi bulunduğu vede Cr elementi % 17,22 , Ni elementi %3,55 ve C elementi %2,69 oranlarında katılaştıkları görülmüştür, B1 numunesinden alınan 2 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.9-c’de verilmiştir. Bu noktada yüzde ağırlık olarak en çok Fe ve Cr elementi, vede O elementi % 18,33, Ni elementi % 3,85 C elementi % 3,17 oranlarında katılaştıkları görülmüştür. B1 numunesinden alınan 3 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.9-d’de verilmiştir. Bu noktada yüzde ağırlık olarak en çok Fe ve Cr elementi, vede Ni elementi % 8,97 C elementi % 3,09 oranlarında katılaştıkları görülmüştür.

Alt malzeme yüzeyi üzerine 200 A akım şiddetinde kaplanan B2 numunesinin optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Şekil 3.10-a’daki mikro yapı fotoğrafına bakıldığında, altlık malzeme, ara tabaka ve kaplama tabakasının birbirine bağlandığı kısmen gözenekli bir yapının gerçekleştirildiği görülmektedir. Şekil 3.10-a,b incelendiğinde, bu numunede de lamelli yapının oluştuğu ve B1 numunesine göre gözenek sayısının bir miktar arttığı görülmektedir. Altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ara tabakanın kaplanmasında manuel kaplama yapıldığından dolayı kaplama tabakası kalınlığı farklılık göstermektedir. B2 numunesinde AISI 308 kaplama tabakasında da lamel yapı ile birlikte açık ve koyu renkte farklı bölgelerin oluştuğu görülmüştür.

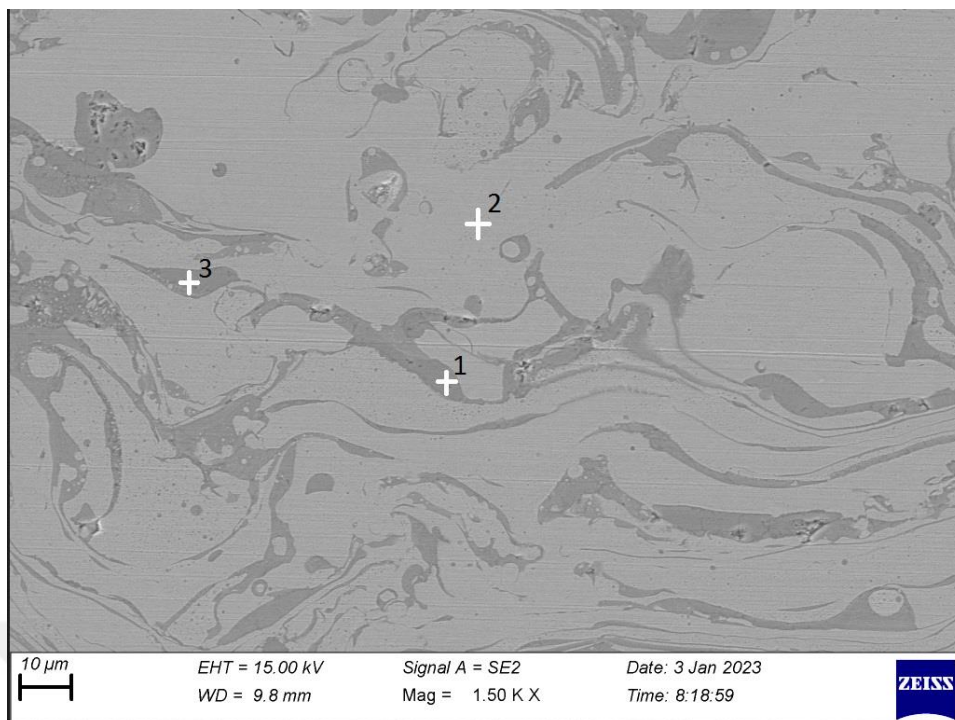


(a)

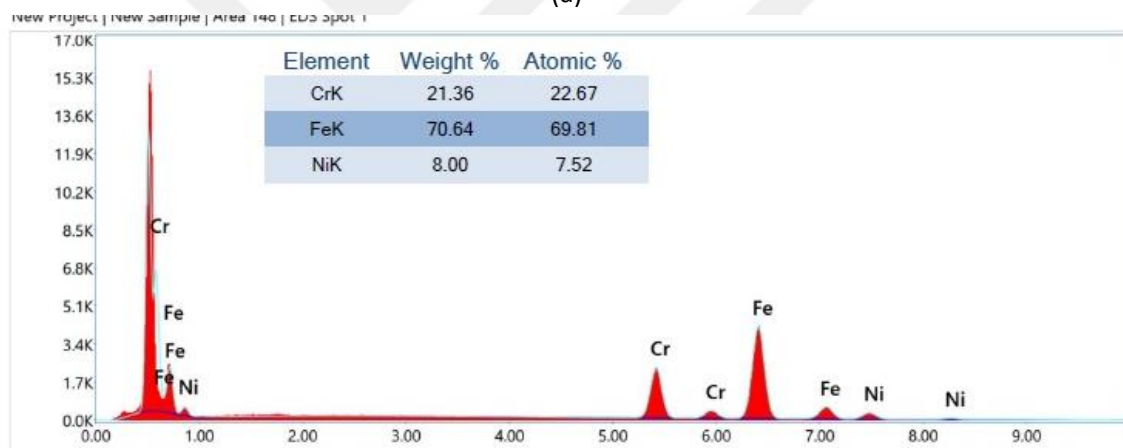


(b)

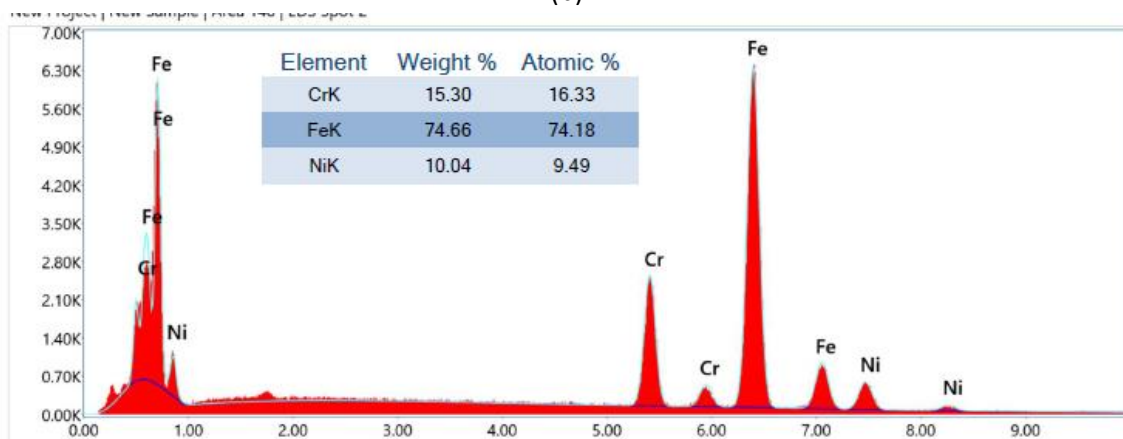
Şekil 3.10. B2 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakaları vede arayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası



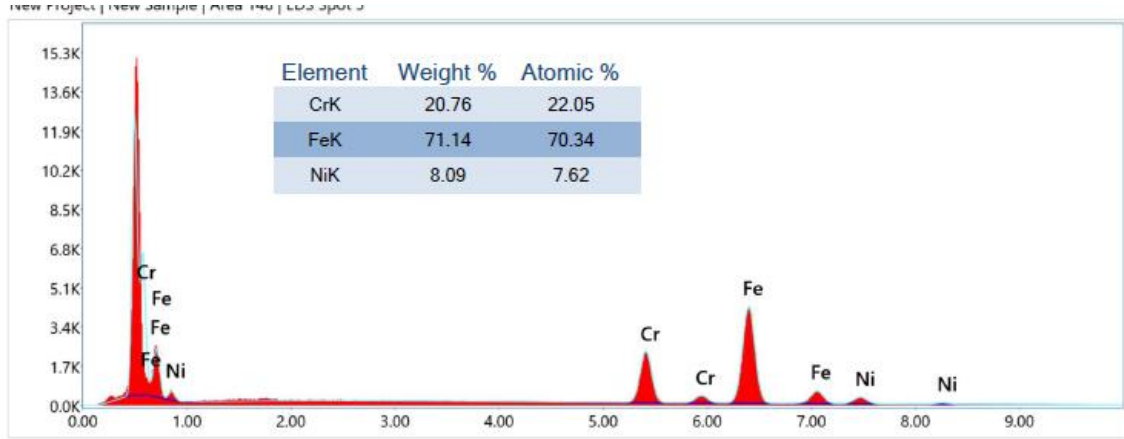
(a)



(b)



(c)

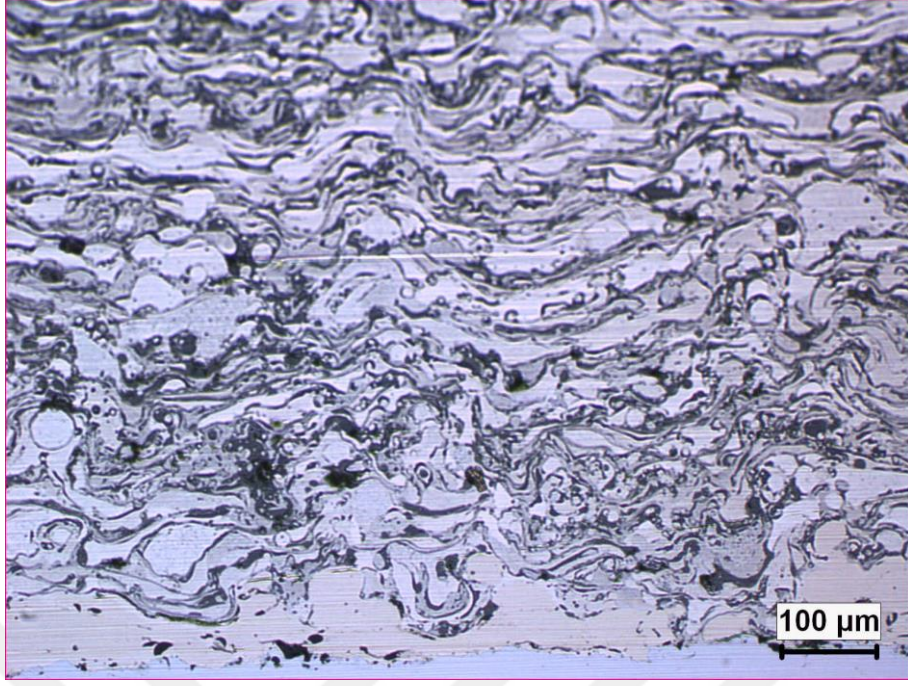


(d)

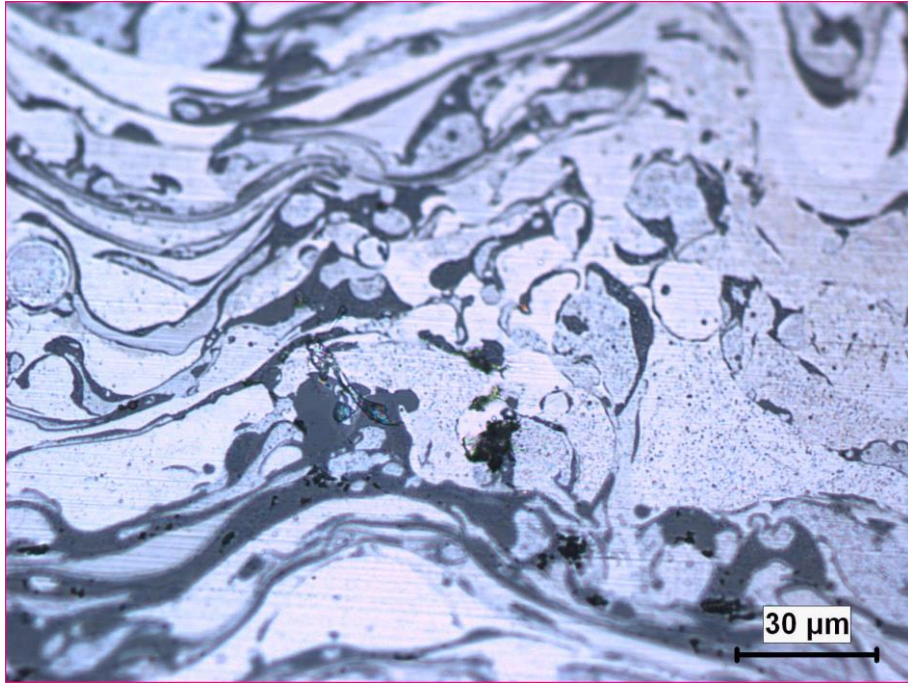
Şekil 3.11. B2 numunesindeki kaplanmış tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü, b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı. d) 3 nolu EDS analiz yapısı.

B2 numunesinden alınan 1 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.11-b’de verilmiştir. Bu noktada, Fe elementi bulunduğu vede Cr elementi % 21,36 , Ni elementi %8,00 oranlarında katılaştıkları görülmüştür. B2 numunesinden alınan 2 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.11-c’de verilmiştir. Bu noktada, Fe elementi bulunduğu vede Cr elementi % 15,30 , Ni elementi %10,04 oranlarında katılaştıkları görülmüştür. B2 numunesinden alınan 3 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.11-d’de verilmiştir. Bu noktada, Fe elementi bulunduğu vede Cr elementi % 20,76 , Ni elementi %8,09 oranlarında katılaştıkları görülmüştür.

Alt malzeme yüzeyi üzerine 250 A akım şiddetinde kaplanan B3 numunesinin optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.12’de verilmiştir. Şekil 3.12-a’daki mikroyapı resmi incelendiğinde, altlık malzeme, ara tabaka ve kaplama tabakasının birbirine bağlandığı kısmen gözenekli bir yapının gerçekleştirildiği görülmektedir. Şekil 3.12-a,b incelendiğinde, bu numunede de lamelli yapının oluştuğu ve B2 numunesine göre gözenek sayısının bir miktar arttığı görülmektedir. Altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ara tabakanın kaplanmasında manuel kaplama yapıldığından dolayı kaplama tabakası kalınlığı farklılık göstermektedir. B3 numunesinde AISI 308 kaplama tabakasında da lamel yapı ile birlikte açık ve koyu renkte farklı bölgelerin oluştuğu görülmüştür.

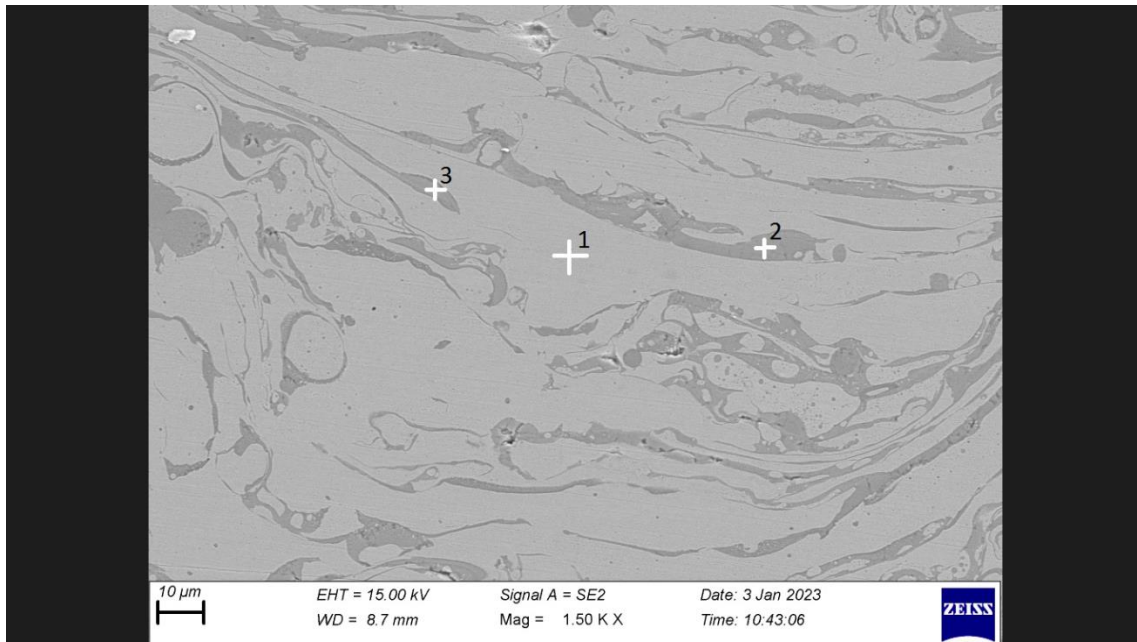


(a)

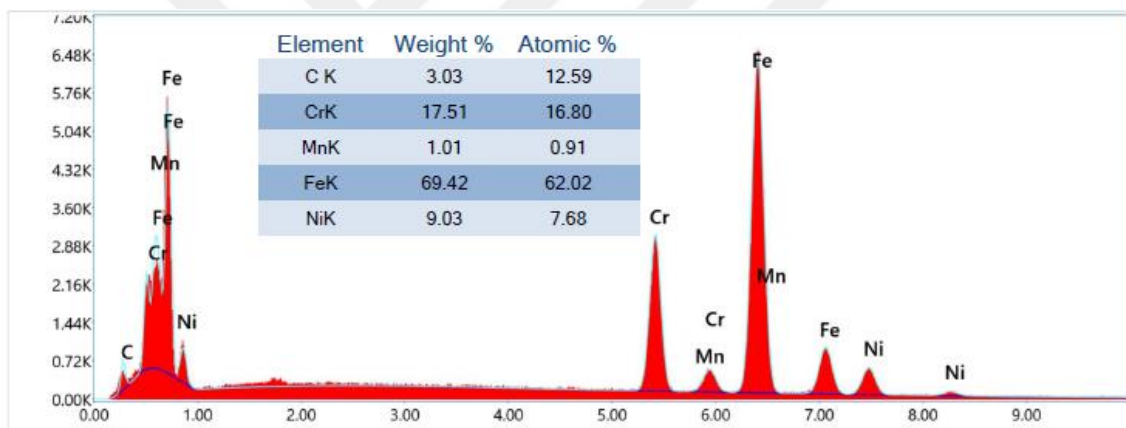


(b)

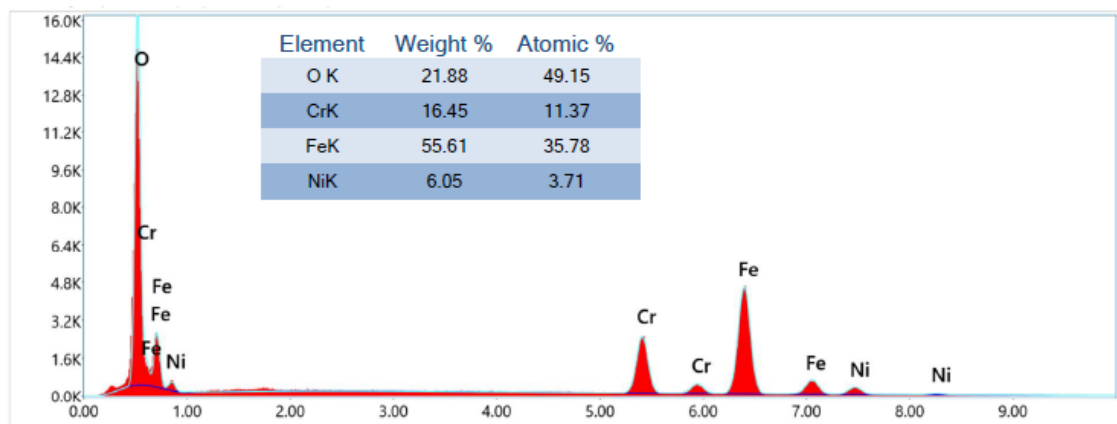
Şekil 3.12. B3 numunesine ait optik mikroyapı resimleri, a) Kaplama tabakaları vede arayüzey görüntüsü, b) Kaplamala tabakası



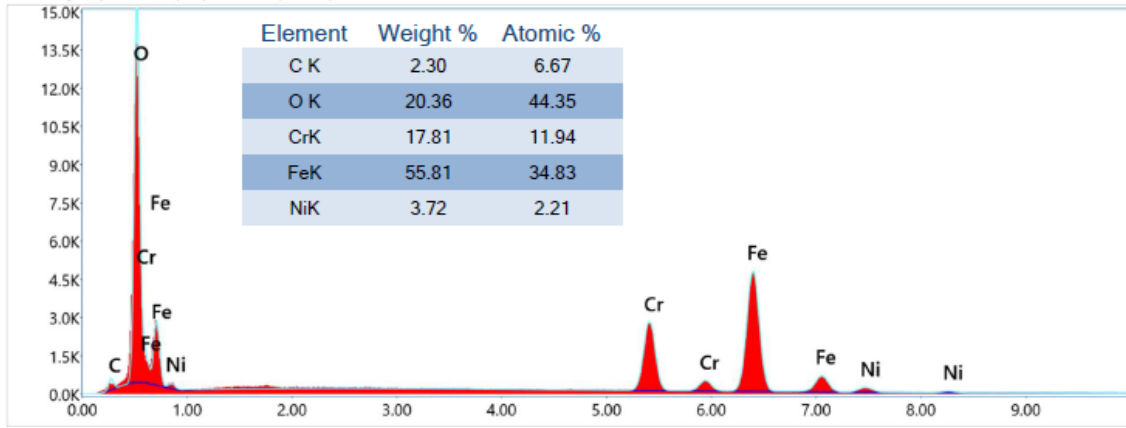
(a)



(b)



(c)

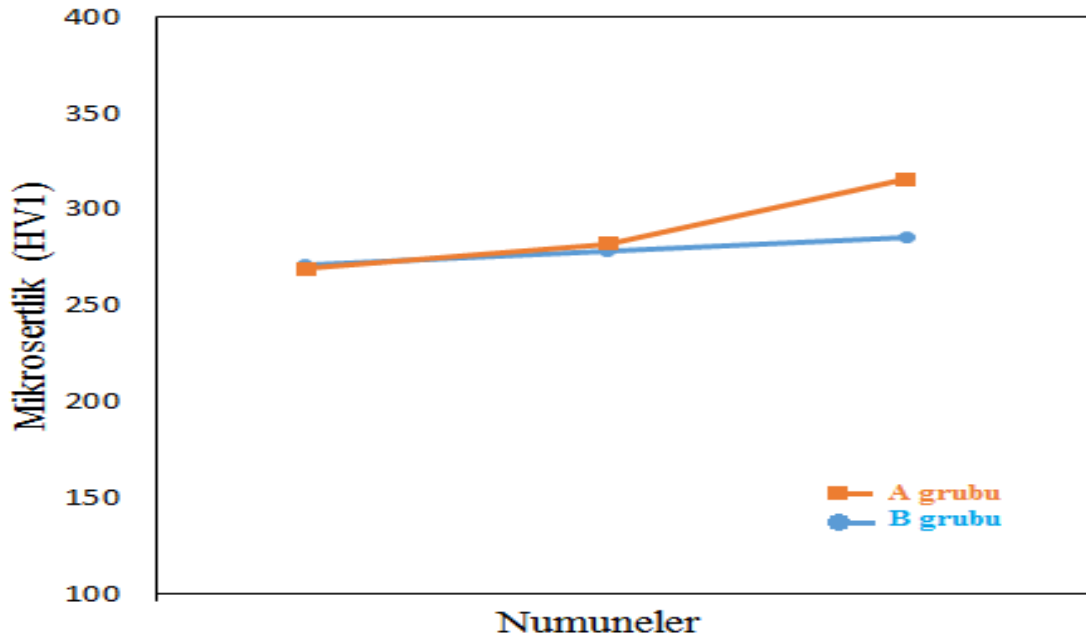


(d)

Şekil 3.13. B3 numunesindeki kaplanmış tabakadan alınan a) SEM fotoğraf görüntüsü, b) 1 nolu EDS analiz yapısı ve c) 2 nolu EDS analiz yapısı. d) 3 nolu EDS analiz yapısı.

B3 numunesinden alınan 1 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.13-b’de verilmiştir. Bu noktada, Fe elementi bulunduğu vede Cr elementi % 17,51 , Ni elementi %9,03, Mn elementi %0,01 oranlarında katılaştıkları görülmüştür. B3 numunesinden alınan 2 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.13-c’de verilmiştir Bu noktada, Fe elementi bulunduğu vede Cr elementi % 16,45, Ni elementi %6,05, O elementi %21,88 oranlarında katılaştıkları görülmüştür. B3 numunesinden alınan 3 nolu noktanın EDS analizi Şekil 3.13-d’de verilmiştir Bu noktada, Fe elementi bulunduğu vede Cr elementi % 17,81 , Ni elementi %3,72, C elementi %2,30, O elementi %20,36 oranlarında katılaştıkları görülmüştür

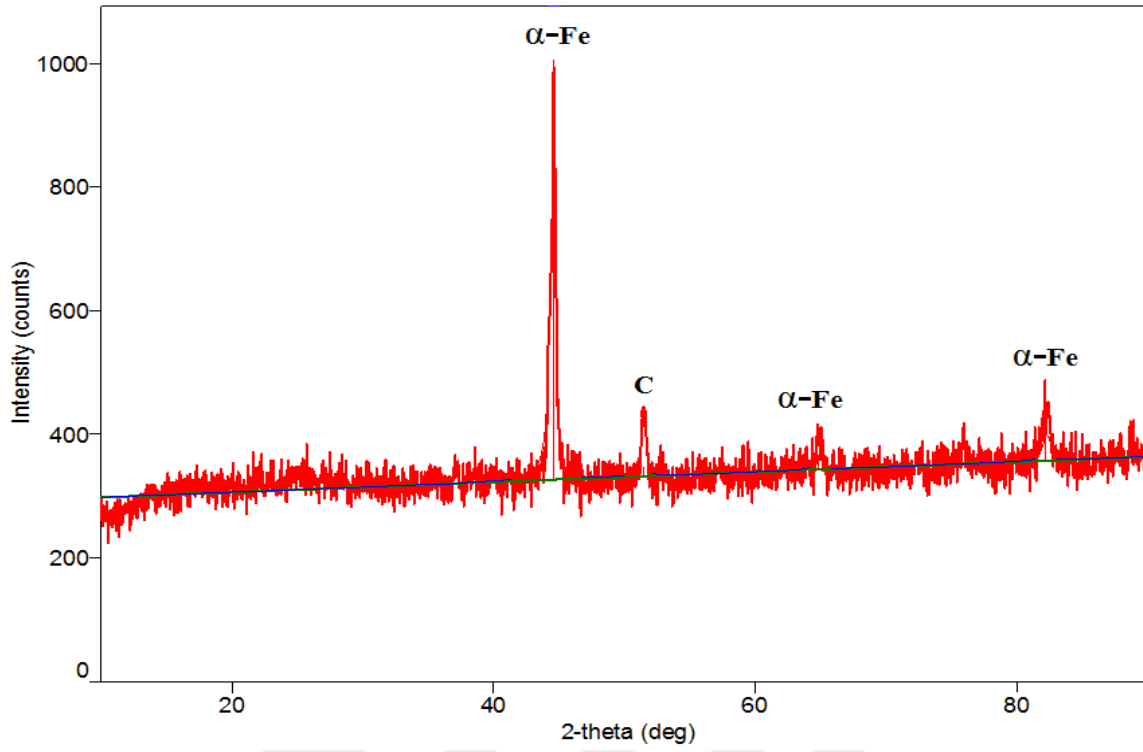
3.2. Mikrosertlik İncelemesi



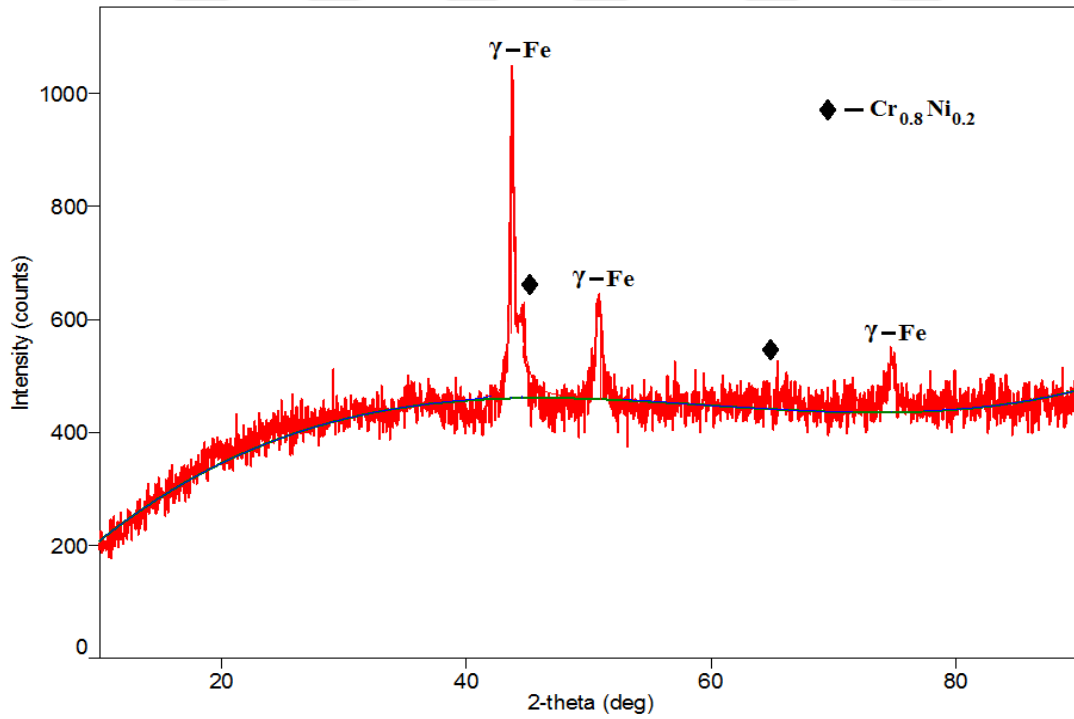
Şekil 3.14. Numunelerin kaplama tabakalarına ait mikrosertlik değerleri.

AISI 420 ve AISI 308 paslanmaz çelik tel kullanılarak tel ark püskürtme yöntemi ile kaplanan numunelerin kaplama tabakalarından alınan mikrosertlik değerlerini gösterir grafik Şekil 3.14.'te verilmiştir. Mikrosertlik değerlerinden de anlaşılacağı üzere sertlik miktarları birbirlerine yakın değerler olarak ölçülmüştür. Fakat A grubu (AISI 420) numunelerde kaplama tabakasının mikrosertlik değeri diğer numunelere göre daha yüksek ölçülmüştür. A3 numunesinde 316 HV değeri ile en yüksek olarak tespit edilmiştir. Kaplama esnasında kullanılan akım değerinin artmasıyla mikrosertlik değerinde azda olsa bir artış görülmüştür. Bu artışın artan akım değerine bağlı olarak ısının artması ve tel ark püskürtme yönteminde kaplama esnasında gerekli difüzyon için yeterli zamanın bulunması ve buna bağlı olarak farklı tip bileşiklerin oluşmuş olabileceği düşünülmektedir. B grubu (AISI 308) numunelerin mikrosertlik değeri A grubu numunelere göre daha düşük ölçülmüştür. En düşük mikrosertlik değeri B1 numunesinde 269 HV değeri ile ölçülmüştür. Östenitik paslanmaz çelik sınıfında olan AISI 308 paslanmaz çelik, martenzitik paslanmaz çelik sınıfında olan AISI 420 paslanmaz çelikten daha düşük karbon miktarına sahiptir.

3.3.XRD incelenmmesi



(a)

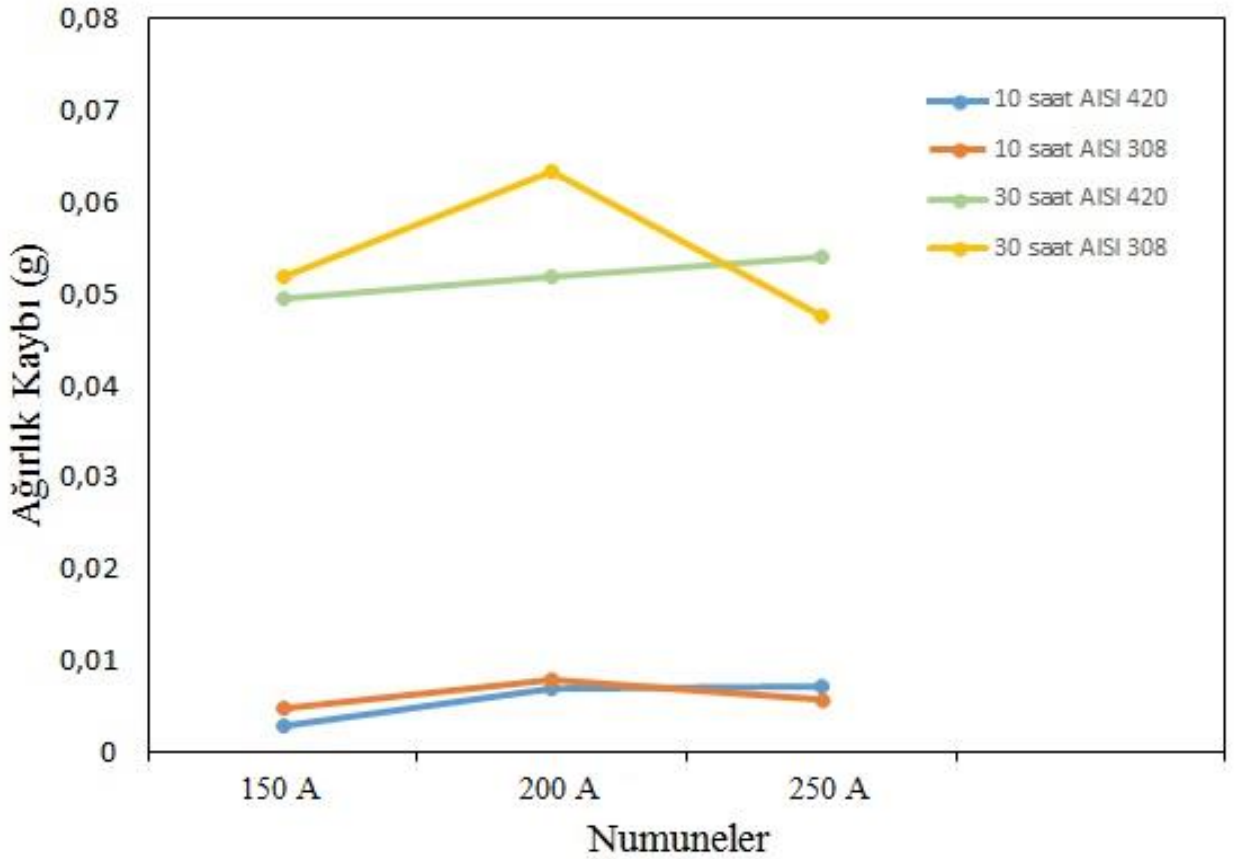


(b)

Şekil 3.15. AISI 420 paslanmaz çelik ile kaplanan yüzeyden alınan XRD analizi.

Şekil 3.15-a'da AISI 420 paslanmaz çelik ile kaplanan numunenin yüzeyinden alınan XRD grafiği verilmiştir. Analiz sonucunda ana pik olarak α -Fe fazı tespit edilmiştir. Literatür çalışmalarında ana faz olarak α -Fe fazı tespit edilmiştir. Düşük yüzde miktarlarında (%5) da oluşan farklı bileşiklerin XRD analiziyle tespit edilemeyeceği ve meydana gelen az miktardaki çökelti fazlarının analizde gözükmediği kanıtlanmıştır.

Şekil 3.15-b'de AISI 308 paslanmaz çelik ile kaplanan numunenin yüzeyinden alınan XRD grafiği verilmiştir. Analiz sonucunda ana pik olarak γ -Fe fazı tespit edilmiştir. Bu faz östenit fazıdır. Ayrıca XRD analizinde AISI 308 paslanmaz çelik içerisinde elemental olarak mevcut olan Cr ve Ni elementlerinden oluşan $\text{Cr}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ fazı da tespit edilmiştir. AISI 308 paslanmaz çelik, östenitik paslanmaz çelik sınıfına girmektedir. XRD grafiğinde tespit edilen östenit fazı bunu doğrulamaktadır.[41]



Şekil 3.16. Farklı akım değerleri ile kaplanan numunelerin ağırlık kaybını gösteren korozyon grafiği.

Farklı akım şiddetleri ve paslanmaz çelikler ile kaplanan numunelerin korozyon deney sonrası ağırlık kayıplarını gösteren grafik Şekil 3.16.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde AISI 420

paslanmaz elik ile kaplanan numunelerde kaplama esnasında uygulanan akım şiddetinin artmasıyla korozyon esnasındaki ağırlık kaybının kısmen arttığı görölmektedir. Bu artışın gözenek miktarındaki artıştan kaynaklandığı düşünölmektedir. Ayrıca AISI 308 paslanmaz elik ile kaplanan numunelerde kaplama esnasında uygulanan akım şiddetinin artmasıyla korozyon esnasındaki ağırlık kaybının kısmen arttığı fakat 250 A akım şiddetinde kaplanan numunede ağırlık kaybında bir düşüş olduğı görölmektedir. Bu düşüş, 10 ve 30 saatlik korozyon sürelerinin her ikisinde de görölmüşür. Kaplama esnasında akım şiddetinin 250 A olduğı B3 numunenin mikroyapı incelemesinde EDS analizlerinde oksijen elementinin yüksek miktarlarda çıkmasına bağılı olarak oksit bileşiklerinin oluştuğı düşünölmektedir. B3 numunesindeki korozyon esnasındaki ağırlık kaybındaki düşüşün, mikroyapıda oluşan oksit bileşiklerinden kaynaklandığı düşünölmektedir.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tel ark püskürtme yöntemi kullanılarak AISI 420 (A grubu) ve AISI 308 (B grubu) tipi paslanmaz çelikler, düşük karbonlu çelik altlık malzeme yüzüne kaplanabilmiştir. Kaplama esnasında NiCrAl ara tabaka kullanılmıştır. Yüzeyde oluşturulan kaplama tabakalarının karakterizasyonu neticesinde aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

1- A grubu numunelerin kaplama tabakalarında ve ara tabakada az miktarda gözenek tespit edilmiştir. Akım değerinin artmasıyla A1 nolu numuneden A3 nolu numuneye gidildikçe gözenek az miktarda artmıştır.

2- A grubu numunelerin tümünün kaplama tabakasında, termal püskürtme tekniklerinde görülen Lamel yapı tespit edilmiştir. Mikroyapı içerisinde farklı element içeriğine sahip değişik renklerdeki mikroyapılar EDS analizi ile Fe, Cr ve C elementleriyle karakterize edilmiştir.

3- A grubu numunelerden alınan mikrosertlik değerlerinde en yüksek sertlik değeri A3 nolu numunede 316 HV değerinde ölçülmüştür.

4- B grubu numunelerin kaplama tabakalarında ve ara tabakada az miktarda gözenek tespit edilmiştir. Akım değerinin artmasıyla B1 nolu numuneden B3 nolu numuneye gidildikçe gözenek az miktarda artmıştır.

5-B grubu numunelerin tümünün kaplama tabakasında da termal püskürtme tekniklerinde görülen Lamel yapı tespit edilmiştir. B grubu numunelerde de mikroyapı içerisinde farklı element içeriğine sahip değişik renklerdeki mikroyapılar EDS analizi ile Fe, Cr, Ni ve C elementleriyle karakterize edilmiştir.

6- B grubu numunelerden alınan mikrosertlik değerlerinde en yüksek sertlik değeri B3 nolu numunede 285 HV değerinde ölçülmüştür.

7- A grubu ve B grubu numunelerden A1 ve B1 numunelerinin kaplama tabakalarının XRD analizinde ana faz olarak alfa Fe fazı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Ürgen, “Modern Yüzey İşlem Teknolojileri veTürkiyedeki Gelişmeler,” 9th *Uluslararası Metalurji ve MalzemeKongresi*, Haziran 1997, ss 333-350.
- [2] M. Ulutan,“AISI 4140 Çeliğin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,Eskişehir ,Türkiye, 2007.
- [3] M. Evkaya, “Metallere Aşınmaya Karşı Yapılan Kaplamada Uygun Toz Materyali ve Kaplama Yönteminin Bilgisayar Destekli Seçimi” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2003.
- [4] J. Stokes, The Theory and Application of the *HVOF Thermal Spray Process*, Publisher DublinUniversity, 2006, pp. 204.
- [5] B. Akın, “Toz altı kaynak yöntemiyle çelik yüzeyine alaşımlandırılan karbür tabakalarının mikro yapı ve aşınma özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye, 2020.
- [6] S. Özel, “Alüminyum alaşım ve bronz yüzeyine oksit ve karbür bileşiklerinin plazma sprey yöntemiyle kaplanmasının araştırılması” Doktora Tezi Fen Bilimler Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2009.
- [7] H. Yao, Z. Zhou, Y. Xue, Z. Zhou, Z. Tan, D. He, B. Wang, L. Wang, “ Tel ark püskürtmeli FeCrNbBSiC amorf kaplamanın mikroyapısı ve termal iletkenliği,”*Alaşımlar ve Bileşikler Dergisi*, Cilt.788, ss. 514-521,2019, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.02.275>.
- [8] R.Li, Z. Zhou, D. He, L. Zhao, X. Song, “Tel ark püskürtmeli Fe bazlı kaplamaların mikro yapısı ve yüksek sıcaklıta oksidasyon davranışı, *Yüzey ve Kaplama Teknoloji Dergisi*” Cilt.251, ss.186, 190,2 014, ISSN02578972, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.04.024>.
- [9] J. Lin, Z. Wang, P. Lin, J. Cheng, X. Zhang, S. Hong, Twin wire“ Ark püskürtme işlemi ile hazırlanan FeNiCrBSiNbW kaplamanın mikroyapısı ve kavitasyon erozyon davranışı, *Yüzey ve Kaplama Teknoloji Dergisi*”Cilt.240, ss.432-436,2014,ISSN 02578972, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.12.07>.
- [10] A. Abedini, A. Pourmousa, S. Chandra, J. Mostaghimi, “Alt tabaka sıcaklığının, tel ark püskürtme ile biriktirilen kaplamaların ve splatların özellikleri üzerindeki etkisi,*Yüzey*

ve *Kaplama Teknoloji Dergisi*” Cilt.201, sayı.6, ss.3350-3358, 2006,ISSN 0257-8972, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.07.184>.

- [11] <https://www.yaparpaslanmaz.com.tr/paslanmaz-celik-cesitleri-nelerdir.html>
- [12] İ. Çiftçi, “AISI 304 Ostenitik Paslanmaz çeliğin kaplanmış çeliğin kaplanmış sementit karbür kesici takımla işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması.” *Teknoloji Dergisi*, Cilt 7, sayı.3, ss. 489-495, 2004.
- [13] B. Yılmaz “Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kendi Kendine İlerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezlenmesi Yöntemiyle (SHS-KKİYSS) Ni-Al-Cr Metallerarası Bileşiğin Kaplanması” Yüksek Lisans Tezi Elazığ Fırat Üniversitesi 2014.
- [14] E.Çelik, “Martenzitik paslanmaz çelik ve ferritik paslanmaz çeliğin kendileriyle ve birbirleriyle sürtünme karıştırma yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Fırat Üniversitesi Elazığ, Türkiye, 2006.
- [15] M. Uyar,“Borlanmış 430f ferritik paslanmaz çeliğin aşınma davranışı üzerine bir çalışma,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi,Afyon,Türkiye,2019.
- [16] U. Delice,“1.4462 Dupleks paslanmaz çelik malzemelerin nikel ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi,Nevşehir,Türkiye, 2021.
- [17] G. Özer ,“1.4462 AISI 2205 dupleks paslanmaz çelikte ısıtılma koşullarının faz değişimi, sertlik ve korozyon davranışı üzerine etkilerinin incelenmesi,” *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*.Cilt.10,sayı.1,ss. 426-431, 2021.
- [18] M. Şenol, “Gaz metal ark kaynaklı aısı 430 ferritik paslanmaz çelik levhaların içyapı ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi,”Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay,Türkiye, 2021.
- [19] A. Türkyılmazoğlu,“Dupleks, martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya,Türkiye, 2022.
- [20] S. A. Yaşar, G. Uzun, İ. Korkut, “17-4 PH ve 15-5 PH Paslanmaz Çeliklerinin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması,” *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.*Cilt. 10, sayı.1, ss.71-81, 2020.

- [21] N. Kaplan, “316L paslanmaz çelik kaynak yöntemiyle üzerine indüksiyon gözenekli kaplanılabilirliğinin araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [22] M. İlivan, “Kaplama PVD Tekniği ile TiN ve CrN Kaplanmış DIN Soğuk iş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [23] M. Öge, “Oksit İçerikli Seramik Kaplamaların Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışının İncelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye, 2016.
- [24] S. Özel, “Cu-Sn-Zn-Al Bronz Alaşımı Yüzeyine FermanganKaplama Aşınma Direncine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2004.
- [25] A.Çoşğun,A.Taşcıoğlu,G.Yılmaz , “İnce film üretiminde kimyasal buhar biriktirme yöntemi ve çeşitleri,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.Cilt.12, sayı.2, ss.351-363, 2021.
- [26] A. Aytaç, U. Malayoğlu, “Fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden PVD veJVD/DVD ince film kaplamaların karşılaştırması ve DVD kaplama teknolojisinin endüstriyel uygulamaları üzerine kavramsal, akademik ve teorik bir analiz,” *Savunma Bilimleri Dergisi*. Cilt.17, sayı.1, ss.131-164, 2018.
- [27] S.Özel , “Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri”*BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*. 2(1), ss. 88-97, 2013.
- [28] M.A. Minikser , “Termal Sprey Yöntemiyle Oluşturulan Kaplamaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, “ Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [29] S. Özel, “Alemünyum alaşımı ve bronz yüzeyine oksit ve karbür bileşiklerinin plazma spre y yöntemi ile kaplanmasının araştırması,” Doktora tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2009.
- [30] Elektrik ark termal spre y sistemi(www.sulzermetco.com)
- [31] A. Kaya, “Ark Sprey Tekniği ile ĐLE Kaplanan Dökme Demir Borularda Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Korozyon Davranışını İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2010.
- [32] <http://teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10713/42046/elektrik-ark-sprey> (Erişim tarihi Eylül 5,2022)

- [33] M.A. Kaftan, “Çelik Yapılarda Korozyon Oluşumu ve Korozyondan Korunma Yöntemlerinin Maliyeti Açısından Karşılaştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2006.
- [34] R. Nefise Mutlu, <https://slideplayer.biz.tr/slide/5306081/> (Erişim tarihi Ağustos 11,2022)
- [35] N.Özer,“Yapı malzemelerinde korozyon ve korozyondan koruma yöntemleri, “*Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt.26, Sayı.3, ss.1159 - 1178, 2021.
- [36] <https://malzembilimi.net/korozyon-nedir-korozyon-turleri-nelerdir.html> (Erişim tarihi Ağustos 13,2022)
- [37] <https://mimirbook.com/tr/b309bc15a7a> (Erişim tarihi Ekim 5,2022)
- [38] <https://docplayer.biz.tr/14745295-Korozyonun-onemi-korozyon-ozellikle-metallerde-buyuk-ekonomik-kayıplara-sebep-olur.html>
- [39] R. Diken,“Mag Yöntemi Kullanılarak Özlü Elektrot ile Çelik Yüzeyine Alaşılandırılan Tabakaların Mikro Yapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi,”Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye, 2020.
- [40] A. Kaya,“Ark Sprey Tekniği ile kaplanan dökme demir borularda yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ve korozyon davranışını incelenmesi,”Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2010.
- [41] C. Köse, R. Kaçar, “AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin co2 lazer ışını kaynak yöntemiyle kaynak kabiliyetinin araştırılması,”*Technological Applied Sciences* Cilt.10.sayı.4, ss.13-27, 2015. (NWSATAS), 2A0090.