



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTROSTATİK TOZ BOYA ÖNCESİ ZİRKONYUM ESASLI
NANO KAPLAMANIN TOZ BOYANIN MEKANİK DAYANIM,
YAPIŞMA VE KOROZYON PERFORMANSINA OLAN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

İLKAY AKYÜZ

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ YASİN ÖZGÜRLÜK

BARTIN-2024



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELEKTROSTATİK TOZ BOYA ÖNCESİ ZİRKONYUM ESASLI NANO
KAPLAMANIN TOZ BOYANIN MEKANİK DAYANIM, YAPIŞMA VE
KOROZYON PERFORMANSINA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlkay AKYÜZ

BARTIN-2024

KABUL VE ONAY

İlkay AKYÜZ tarafından hazırlanan “ELEKTROSTATİK TOZ BOYA ÖNCESİ ZİRKONYUM ESASLI NANO KAPLAMANIN TOZ BOYANIN MEKANİK DAYANIM, YAPIŞMA VE KOROZYON PERFORMANSINA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ ” başlıklı bu çalışma, 31.01.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :
X X X X

Üye :
X X X X

Üye :
X X X X

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitimi Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK
Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Yasin ÖZGÜRLÜK danışmanlığında hazırlamış olduğum “ELEKTROSTATİK TOZ BOYA ÖNCESİ ZİRKONYUM ESASLI NANO KAPLAMANIN TOZ BOYANIN MEKANİK DAYANIM, YAPIŞMA VE KOROZYON PERFORMANSINA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

31.01.2024

İlkay AKYÜZ

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında bilgi birikimini benimle paylaşan, bana yol gösteren ve her zaman bana destek olan değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yasin ÖZGÜRLÜK'e en derin saygılarımla teşekkür ederim.

Eğitim yolculuğumda bilgilerini benden esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI'ya, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gülfem BİNAL'a ve Arş. Gör. Dr. Sefa Emre SÜNBÜL'e ayrıca teşekkür ederim.

Eğitim hayatımı, iş hayatım ile birlikte sürdürmeme yardımcı olan Gersan Elektrik Tic. ve San. A.Ş. Fabrika Direktörü Sayın Neşat ŞAHİN'e, tez çalışmalarım konusunda benden yardımlarını asla esirgemeyen değerli şirket çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Bana her daim destek olan ve bugünlere gelmemi sağlayan sevgili annem Gülşen AKYÜZ ve kıymetli babam Yüksel AKYÜZ'e ayrı ayrı teşekkürlerimi sunmak isterim.

Eğitim ve tez çalışmam boyunca zorlukların üstesinden birlikte geldiğimiz, her durumda birbirimize destek olduğumuz ve hayatımda iyi ki var dediğim sevgili eşim Tuğçe KINAY AKYÜZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İlkay AKYÜZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTROSTATİK TOZ BOYA ÖNCESİ ZİRKONYUM ESASLI NANO KAPLAMANIN TOZ BOYANIN MEKANİK DAYANIM, YAPIŞMA VE KOROZYON PERFORMANSINA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

İlkay AKYÜZ

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yasin ÖZGÜRLÜK

2. Danışman: Arş. Gör. Dr. Sefa Emre SÜNBÜL

Bartın-2024, sayfa: 81

Günümüzde kullanılan birçok materyal kullanıldığı alanlar göz önüne alındığında bulundukları ortamın zorlayıcı şartların hasar verici etkiler altında ömürlerini harcamaktadırlar. Özellikle yüksek nem şartları göz önüne alındığında bu zorlayıcı şartlar geri dönülmez hasarlara varabilmektedir. Çeşitli çevre koşulları göz önüne alındığında korozyon hızı ve yayılımı etkilenmektedir. Malzemelerin kullanım alanlarında aşındırıcı olarak çoğunlukla sıcaklık, nem, tuz, endüstriyel makine yağları, kimyasal gazlar ve havada olan partiküllerden en az biri bulunup malzemelerin yüzeyini etkilemektedir. Bu etkiyi azaltmak adına bir çok üretici galvaniz kaplama, eloksal kaplama , kimyasal yüzey kaplama ve elektrostatik toz boya kaplama gibi kaplamalardan birini tercih etmektedir. Fakat bu kaplama yöntemleri bazı durumlarda yıkıcı etkilere karşı servis süresini artırma adına tek başına yeterli olmamaktadır. Bazı üreticiler endüstriyel uygulamalarda kullanılan metal malzemelerin çalışma şartlarındaki mekanik etkiler, korozyon artırıcı ögeler ve malzemelerin oksidasyon eğilimini düşünerek üzerindeki maruz kaldığı baskıya karşı direnci artırmak adına ilave olarak birkaç uygulama metodunu beraber çalıştırmaktadır. Özellikle günümüzde kaplama yöntemleri ve endüstriyel koşullar değerlendirildiğinde

üreticiler kimyasal nano kaplama malzemelerini, elektrostatik toz boya kaplama öncesi yüzey hazırlama proseslerine ilave etmiştir.

Hali hazırda yapışma ve korozyon direncini artırmak adına elektrostatik toz boya kaplama öncesi uygulanan bir takım kimyasal uygulamaları mevcuttur. Bunlardan bir tanesi günümüzde de bilinen en eski ve ilkel kaplama önce yüzey hazırlık yöntemi olan demir fosfat kaplamadır. Ürünün ana kullanım amacı malzeme yüzeyinde ince bir fosfat tabakası oluşturarak, toz boyanın yapışma kalitesini artırmaktır. Çoğu durumda metaller, korozyona karşı dirençlidir ve normalde ek korumaya ihtiyaç duymaz. Fakat çevresel etkenler düşünüldüğünde özellikle nemin yüksek olabileceği ortamlarda daha fazla koruma ve yeni teknolojinin getirdiği yeni bir yönetime ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada boya kaplama öncesinde yüzey hazırlama prosesinde zirkonyum nano kaplama kullanılarak metaller üzerine uygulanacak olan elektrostatik toz boya kaplamanın kalitesini ve kullanım ömrünü uzatmak amaçlanmıştır. Bunun için TS EN ISO 12944 standardı değerlendirme de temel alınacaktır. Çalışma sonucunda darbe, mukavemet, yapışma, tuz testi vb. deneyler gerçekleştirilecektir. Yapılacak testlerde boya üzerindeki korozyon türü inceleme altına alınacaktır.

Metali koruma yöntemlerinden olarak görülen toz boyama ile kimyasal ve nemli koşullarında ürünlerin kullanım ömürlerinin artırılması hedeflenmiştir. Kaplama metodu olarak kullanılan ürün ve türleri ile de ömürleri derecelendirilmesi sağlanacaktır. Birçok işletme için yapılacak olan çalışma ile tercih edilecek doğru ürün ve yapılacak düzgün çalışmalara bir temel sağlayacaktır. İhtiyacı karşılayacak doğru ürün temini ile üretim, malzeme, işçilik ve oluşabilecek birçok hasardan da firmaları uzaklaştıracaktır.

Çalışmanın sağlanabilmesi için öncelikle metaller tercih edilecektir. Sağlanacak olan metallere yapılacak testlere uygun ölçülerde hazırlanacaktır. Metallerin üzerinde koruyucu kaplama seçilecek ve bu nano kaplama malzemesi ile yapışma kalitesi artırılması sağlanacaktır. Daha sonra, yüzey hazırlık işlemleri tamamlanan malzemeye toz boyama işlemi uygulanacak ve boyama sonrasında ürünlerin yüzey kalitesi ve görünümü gösteren inceleme yapılacak ve test kalibrasyonu olan firmalara iletilecektir.

Anahtar Kelimeler: Elektrostatik toz boya, korozyon, mekanik dayanım, nano kaplama, yapışma, zirkonyum

Bilim Alanı Kodu: 91510, 91513

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ZIRCONIUM BASED NANO COATING BEFORE ELECTROSTATIC POWDER COATING ON MECHANICAL STRENGTH, ADHESION AND CORROSION PERFORMANCE OF ELECTROSTATIC POWDER COATING

İlkay AKYÜZ

Bartın University

Graduate School

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Yasin ÖZGÜRLÜK

2nd Advisor: Res. Asst. Dr. Sefa Emre SÜNBÜL

Bartın-2024, pp: 81

Considering the areas in which they are used, many materials used today spend their lives under the damaging effects of the challenging conditions of their environment. Especially considering high humidity conditions, these challenging conditions can lead to irreversible damage. Considering various environmental conditions, corrosion rate and propagation are affected. At least one of the environmental conditions such as temperature, humidity, salt, industrial machine oils, chemical gases, and particles in the air exist as corrosive in the usage areas of the materials and affect the surface of the materials. In order to reduce this effect, many manufacturers prefer one of these coatings such as galvanized coating, anodized coating, chemical surface coating, and electrostatic powder paint coating. However, these coating methods alone are not sufficient to increase the service time against destructive effects in some cases. Some manufacturers consider the mechanical effects of the metal materials used in industrial applications, the corrosion-increasing elements, and the oxidation tendency of the materials, and additionally employ several application methods

together in order to increase the resistance against the pressure they are exposed to. Especially today, when the coating methods and industrial conditions are evaluated, manufacturers have added chemical nano-coating materials to the surface preparation processes before electrostatic powder coating.

There are already a number of chemical applications applied before electrostatic powder paint coating in order to increase adhesion and corrosion resistance. One of them is iron phosphate coating, which is the oldest and most primitive surface preparation method known today. The main use of the product is to increase the adhesion quality of the powder paint by creating a thin phosphate layer on the material surface. In most cases, metals are resistant to corrosion and do not normally require additional protection. However, when environmental factors are considered, more protection and a new method brought by new technology are required, especially in environments where humidity can be high. This study, it is aimed to extend the quality and service life of the electrostatic powder paint coating to be applied on metals by using zirconium nano coating in the surface preparation process before paint coating. For this, TS EN ISO 12944 standard evaluation will also be taken as a basis. As a result of the study, impact, strength, adhesion, salt test, etc. experiments will be carried out. In the tests to be made, the type of corrosion on the paint will be examined.

It is aimed to increase the service life of the products in chemical and humid conditions with powder coating, which is seen as one of the metal protection methods. The product and types used as a coating method will also be graded for their lifetimes. For many businesses, the work to be done will provide a basis for the right product to be preferred and the proper work to be done. With the right product supply to meet the need, it will also keep companies away from production, materials, workmanship, and any damages that may occur.

In order to ensure the study, metals will be preferred first. It will be prepared in suitable dimensions for the tests to be made on the metals to be supplied. A protective coating will be chosen on the metals and the adhesion quality will be increased with this nano-coating material. Then, powder coating will be applied to the material whose surface preparation processes have been completed, and after painting, an examination will be made showing the surface quality and appearance of the products. After the examinations, the samples will be sent to companies that have test calibration certificates.

Keywords: Adhesion, corrosion, electrostatic powder coating, mechanical strength, nano coating, zirconium

Scientific Field Code: 91510, 91513



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
BEYANNAME	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
1.GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİ.....	6
2.1 Metaller	6
2.1.1 Dkp	7
2.1.2 Galvanizli Sac	10
2.1.3 Alüminyum	11
2.2 Korozyon.....	13
2.2.1 Korozyonun Tanımı.....	13
2.2.2 Korozyonun Önemi.....	14
2.2.3 Korozyon Çeşitleri	17
2.2.3.1 Üniform Korozyon	17
2.2.3.2 Galvanik Korozyon	18
2.2.3.3 Çatlak Korozyonu	20
2.2.3.4 Çukur Korozyonu.....	22
2.2.3.5 Filiform Korozyon.....	23
2.2.3.6 Seçimli Korozyon.....	24
2.2.3.7 Erozyon Korozyonu	26
2.2.3.8 Gerilmeli/Stres Korozyon (SCC)	27
2.2.3.9 Tanelerarası Korozyon	28
2.2.3.10 Aşındırma Korozyon.....	31
2.2.3.11 Biyolojik Korozyon.....	32
2.2.3.12 Hidrojen Kırılğanlığı.....	33
2.3 Yüzey Hazırlama.....	34
2.3.1 Kimyasal Yüzey Hazırlama.....	34
2.3.2 Mekanik Yüzey Hazırlama	36

2.4 Elektrostatik Toz Boya	36
2.4.1 Elektrostatik Prensibi	37
2.4.2 Film Oluşturma Prensibi	40
2.4.3 Kürlenme Prensibi	42
2.4.4 Yapışma Prensibi	43
3. LİTERATÜR ÇALIşMASI	46
4. DENEYSEL ÇALIşMALAR	49
4.1 Materyal	49
4.2 Metod	51
5. BULGULAR	66
6. SONUÇ VE TARTIşMA	76
KAYNAKLAR	79
ZGEÇMİş	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
2.1: DKP sac üretim şeması (URL-4, 2024).....	8
2.2: Üniform korozyon (URL-6, 2024).....	17
2.3: Üniform korozyona uğramış tesis (URL-7, 2024)	18
2.4: Galvanik korozyon (URL-6, 2024).	18
2.5: Paslanma çelik civata ile alüminyum levha arasında gerçekleşen galvanik korozyon (URL-7, 2024).....	19
2.6: Çatlak korozyonu	20
2.7: Paslanmaz çelik civatada oluşan çatlak korozyonu (URL-7, 2024).....	21
2.8: Konsantrasyon hücresinin gösterimi	21
2.9: Çukur korozyonu(URL-7, 2024).....	22
2.10: Filiform korozyon(URL-7, 2024)	24
2.11: Endüstriyel uygulamalarda filiform korozyon örnekleri (URL-7, 2024).....	24
2.12: Bakır ve gri dökme demir malzemeler üzerinde seçimli korozyon (URL-7, 2024)	25
2.13: Petrol sahası kontrol vanası ve iletim borusunde oluşan erozyon korozyonu (URL-7, 2024).....	26
2.14: Gerilmeli korozyon (URL-7, 2024)	28
2.15: Tanelerarası korozyon	30
2.16: Aşındırma korozyonuna uğramış çit direği (URL-7, 2024).....	31
2.17: Aşındırma korozyonuna uğramış yatak yuvası (URL-7, 2024)	32
2.18: Hidrojen hasarına uğramış metal (URL-7, 2024).....	33
2.19: Hidrojen destekli çatlamanın taramalı elektron mikroskobu altındaki görüntüsü	33
2.20: Kimyasal yüzey hazırlama banyoları.	35
2.21: Kumlama prosesi (URL-8, 2024).....	36
2.22: Triboelektrik tabancanın şeması.....	38
2.23: Corona tabancasının şeması	39
2.24: Kuru toz kaplama parçacıklarının film oluşum mekanizması.....	41
4.1: Akış şeması	52
4.2: MEKOTEK lazer kesim makinesi	53
4.3: Deneyisel çalışma yapılacak numuneler 1) Pregalveniz 2) DKP 3) Alüminyum.....	53
4.4: Konveyör bandına asılan deney numuneleri	54

4.5: Demir fosfat uygulaması	55
4.6: Yağ alma ve zirkonyum nano kaplama banyosu	56
4.7: Elektrostatik toz boya kaplama için konveyöre asılan parçalar	56
4.8: Elektrostatik toz boya kaplama uygulaması.....	57
4.9: Kürlenmiş şekilde fırından çıkan parçalar	58
4.10: Cross-cut testi bıçak pozisyonu.....	59
4.11: Cross-cut bıçak tutuş şekli.....	59
4.12: Bant tutuş açısı	60
4.13: Cross-cut test cihazı görseli.....	60
4.14: Cross-cut testi değerlendirme tablosu	61
4.15: EN ISO 6272-1 Darbe Testi	61
4.16: ISO 4628-2 Kabarcıklama Derecesi.....	63
4.17: ISO 4628-3 Paslanma Derecesi.....	64
4.18: ISO 4628-8 Korozyon Derecesi	64
4.19: Ortam- Korozyon sınıfı tablosu	65
4.20: Ömür-Koşul dengesinde tuz testi saati değerlendirme tablosu	65
5.1: a) Demir Fosfat kaplı alüminyum numune b) Zirkonyum kaplı alüminyum numune.....	66
5.2: a) Demir Fosfat kaplı DKP numune b) Zirkonyum kaplı DKP numune.....	67
5.3: a) Demir Fosfat kaplı pregalvaniz numune b) Zirkonyum kaplı pregalvaniz numune.....	67
5.4: Darbe testi sonucu	68
5.5: Test şartları	68
5.6: Tuz testine ait değerlendirme tablosu.....	69
5.7: Sprey tuz testi uygulanmış alüminyum parçaların mikroskop altındaki görüntüleri	70
5.8: Sprey tuz testi uygulanmış DKP parçaların mikroskop altındaki görüntüleri.....	72
5.9: Sprey tuz testi uygulanmış pregalvaniz parçaların mikroskop altındaki görüntüleri	74

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
<u>No</u>	<u>No</u>
2.1: Genel Yüzey İşlem Aşamaları ve Amaçları	35



1.GİRİŞ

Türkiye, 35,8 milyon ton çelik üretimi ile dünyada yedinci sırayı alarak önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır. COVID-19 küresel salgının olumsuz etkileri hissedilirken Türkiye, çelik üretimini bir önceki yıla göre %6 artırarak, 2020 yılı itibari ile 35,8 milyon tona ulaştırmayı başarmıştır. Böylece İran (%13) ve Çin'in (%7) hemen ardından, en büyük 10 çelik üreticisi arasında üçüncü en yüksek artış oranını kaydetmiştir.

Türkiye'nin çelik ihracatında Avrupa Birliği üyesi ülkelerinin payı 2020 yılında %40'a ulaşmıştır. Bu pay, 2010-2016 döneminde ortalama %16 iken 2017-2020 döneminde %25'e yükselmiştir. AB tarafından bakıldığında ise Türkiye, AB'nin çelik ithalatının %12'sini karşılamaktadır ve ihracatının %20'sine pazar oluşturmaktadır. (URL-1, 2024)

Çelik, entegre bir çelik üretim süreci veya doğrudan bir indirgeme işlemi kullanılarak demir cevherinin kimyasal olarak indirgenmesiyle üretilir. Geleneksel entegre çelik üretim sürecinde, yüksek fırından çıkan demir, bir bazik oksijen fırınında (BOF) çeliğe dönüştürülür. Dünyada üretilen çeliğin %70,7'si bu şekilde üretilmektedir. Çelik ayrıca bir elektrik ark ocağında (EAF) hurda çelikten ve bazı durumlarda doğrudan indirgenmiş demirden yapılabilir. Hurda çelikten üretim Türkiye'de üretilen çeliğin %75'ini kapsamaktadır. BOF tipik olarak yüksek tonajlı karbon çelikleri üretimi için kullanılırken, EAF karbon çelikleri ve düşük tonajlı özel çelikler üretmek için kullanılır. Gelişmekte olan bir teknoloji olan doğrudan çelik üretimi, doğrudan demir cevherinden çelik üretir. Ayrıca bkz. Kok İmalatı. BOF sürecinde, kok yapımı ve demir üretimi, çelik yapımından önce gelir; bu adımlar bir EAF ile gerekli değildir. Pısk demir, bir yüksek fırında kok ve kireç taşı kullanılarak sinterlenmiş, peletlenmiş veya parça demir cevherlerinden üretilir. Daha sonra çelik üretmek için hurda metal, akıllar, alaşımlar ve yüksek saflıkta oksijen ile birlikte erimiş formda bir BOF'a beslenir. Bazı entegre çelik fabrikalarında sinterleme (erime olmadan ısıtma), ince taneleri bir araya toplamak ve böylece hadde tufalı gibi demir açısından zengin malzemeleri geri dönüştürmek için kullanılır. (World Bank, 1999).

Demir Çağı'nın başlangıcından, yaklaşık MÖ 1000'den beri, barışta ve savaşta insanlığın ilerlemesi, büyük ölçüde demirden yapılmış ekipmanlara bağımlı olmuştur. İlk olarak, ihtiyaç duyulan diğer birçok eşyayı biçimlendirmek için metal aletler geldi. Sonunda bunu Sanayi Devrimi ve çiftliklerin makineleşmesi izledi. Demir ve çelikten yapılmış takım

tezgahları ve diğer ekipmanların endüstride büyük bir devrim yaratması hem şehir hem de çiftlik ekonomisini baştan aşağıya değiştirdi.

Bu devrimin sonucu olarak modern yaşam, tüm metaller arasında en yaygın şekilde kullanılan demire büyük ölçüde bağımlı hale geldi. Ulaşım, enerji iletim, beyaz eşya gibi insanların ihtiyaç duyduğu en basit günlük görevleri bile yerine getirmek için metallerden yapılmış ürünler gereklidir. Genellikle çelik formundaki demir, neredeyse her zaman işin yapılmasına yardımcı olur. Otoyollardaki ve yüksek binalardaki beton, daha fazla güç için çeliğe ihtiyaç duyar. Taşımacılık, ister demir at nalı şeklinde isterse uzaya gönderilen bir araçta özel bir çelik alaşımı şeklinde olsun, metale dayanır. Demir ve çeliğin tüm kullanımlarının tam listesi sonsuz görünebilir ve her yıl yeni kullanımlar bulunur. (URL-2, 2024).

Demir, çelik üretmek için kullanılan birincil hammaddedir- kendisi de çok az miktarda karbon içeren konsantre demir alaşımıdır. Küresel olarak, çelik üretimi demir talebinin yüzde 98'ini oluştururken, elektronik ve metalürjik olmayan kullanımlar kalan yüzde 2'yi oluşturuyor.

Çelik, yılda 1,5 milyar tondan fazla üretilen dünyanın en önemli endüstriyel malzemesidir. Çelik olmasaydı, bildiğimiz dünya olmazdı: petrol tankerlerinden raptiyelere, kamyonlardan teneke kutulara, iletim kulelerinden tost makinelerine. Üretilen çok miktarda çelik göz önüne alındığında, malzemenin geri dönüştürülmesinin kolay olması bir şanstır.

Gelişmekte olan ülkelerin kalkınma seviyesini belirlemede kişi başına kullanılan demir-çelik miktarı da önemli bir gösterge olarak yerini almıştır. (URL-3, 2024)

Günümüzde kullanılan birçok materyal kullanıldığı alanlar göz önüne alındığında bulundukları ortamın zorlayıcı şartların hasar verici etkileri altında ömürleri azalmaktadır. Özellikle yüksek nem şartları göz önüne alındığında bu zorlayıcı şartlar metal malzemeleri korozyon riski ile karşı karşıya bırakarak geri dönülmez hasar riskleri oluşturmaktadır.

Endüstride kullanılan bitmiş ürünler için en büyük risklerden bir tanesi korozyondur. Korozyon, metal ve çevresi arasındaki kimyasal reaksiyondan kaynaklanır ve metalin

bütününü, çevresini veya söz konusu teknik sistemine zarar veren değişikliklere neden olabilir.

Korozyon önleme veya önleyici koruma, korozyondan kaynaklanan hasarı yavaşlatır ve önler. Artan kalite gereksinimleri, zorlu kullanım koşulları ve uzun garanti süreleri önleyici korumaların dayanıklılık sürelerinin uzaması ihtiyacını doğurmaktadır.

Önleyici korumalar, esas olarak kritik özelliklerini geliştirmek ve çevre ile reaksiyona girerek metalin yüzeyinin bozulmasına karşı koruyucu bir bariyer oluşturur. Bu bariyer metalin yüzeyinde bir kaplama yapılarak oluşturulabilir.

Kaplama, korozyon bağlamında, herhangi bir nesnenin yüzeyinde biriken veya uygulanan bir kaplama maddesinin ince katmanlarıdır. Mühendislik açısından kaplama, korozyon ve aşınmaya karşı koruma için yüzey özelliklerini geliştirmek üzere bir alt tabaka üzerine uygulanan bir malzeme tabakasıdır. Fiil olarak kullanıldığında ise kaplama, kaplama tabakalarının yüzeye uygulanma işlemi olarak tanımlanmaktadır. Kaplamanın uygulandığı yüzeye alt tabaka denir. Bahsedilen bu alt tabakayı çevre ile elektrokimyasal reaksiyonlar nedeniyle bozulmaya karşı yapılan kaplama korumaktadır. Böylece yapıların, boru hatlarının ve diğer hayati ekipmanların kullanım ömrünü uzatır ve yaşamı tehdit eden bazı arızaları ve onarım ve erken değiştirmelerle ilgili maliyetleri ortadan kaldırır.

Kaplama seçimini etkileyen faktörler arasında servis ortamı, kullanım ömrü, alt tabaka malzemesi uyumluluğu, bileşen şekli ve boyutu ve maliyet yer alır.

Sadece birkaç mikrondan birkaç milimetreye kadar değişen kalınlıklarda birçok farklı malzeme türünü biriktirmek için çok çeşitli kaplama işlemleri vardır. Farklı kaplama türleri birçok yönden kategorize edilebilir. En yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesi de elektrostatik toz boya kaplamadır.

Elektrostatik toz boya kaplama terimi 30'lu ve 40 yıllarda kabul edildi. Elektrostatik toz boya kaplama, parçacıkların yüklenmesini, bu yüklü parçacıkların püskürtülmesini ya da atomizasyonunu ve bu yüklü parçacığın topraklanmış olan bir substrat üzerine bırakılmasını kapsar. Tortulanan yüklü parçacıklar sonrasında yüzey üzerinde bir film oluşturmak için genellikle ısı ile sertleştirilir. Elektrostatik toz boyanın faydaları arasında, organik ya da sulu

çözücüler kullanılmadan kaplama yeteneği yer alır. Operatörlerin etkilenmesi ve çevreye uçucu maddelerin salınmasını engellemek adına toplama ve taşıma sistemlerinin mevcut olması gerektiğinden, organik olan çözücülerin kullanımı çevresel faktörler ve işletme giderlerinin fazla olması açısından istenmez. Süspansiyonların veya sulu çözeltilerin kullanımı, suyun kuruma hızının yavaş olması (buharlaşma ısısı: 40,65 kJ/mol) nedeniyle genellikle daha fazla olan enerji kullanımı ve yüksek proses zamanları gerektirir. Ayrıca, toz boya kaplama prosesinin aktarım veriminin, klasik yöntem olan sıvı püskürtme kaplama veya kuru toz akışkan yatak işlemlerinde görülenden daha yüksek olduğu bulundu. Elektrostatik toz boya kaplama bunun dışında, elektrostatik yük kullanmadan uygulanan kuru toz kaplamaya nazaran daha fazla aktarım verimliliği sağlar; proseste 40–100 kV şarj voltajının uygulanmasıyla genel olarak %20 daha fazla aktarım verimi yakalanır ve bu verimler, kaplama materyalinin partikül boyutunun küçülmesiyle artar. Elektrostatik toz boya ile bildirilen %80-90'ın üzerinde aktarım verimliliğine ilave olarak, geri dönüşüm sistemleri, sistemde kullanılan kaplama tozunun %100 geri kazanılmasına imkan vererek üretim atıklarını daha da azaltmıştır. Kaplama solventlerinden kaynaklanan ve uçucu olan organik bileşik (VOC) salınımlarını sınırlayan ve giderek daha da sıkı hale gelen çevre koruma yasaları, bu teknolojinin 1960'larda ve 1970'lerin başlarında hem Avrupa'da hem de ABD'de metal kaplama endüstrisi tarafından hızla benimsenmesine yol açtı. Metal kaplama endüstrisinin dışındaki endüstrilerde daha fazla çevreci ve enerji bakımından verimli süreçler adına sarf edilen çabalar, bu gelişmiş yöntemlerin plastik, ahşap ve elektronik ürünleri işlemek için kullanılmasına yol açar ve hatta gıda işlemede kullanım için uyarlanmıştır.

Elektrostatik toz boya uygulamalarının yaygın olarak otomotiv, inşaat, denizcilik, beyaz eşya ve jeneratör kabinleri gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Elektrostatik toz, bu endüstrilerde özellikle çelik levha ve sacların korozyon direncini artırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple otomotiv, elektrik panoları, beyaz eşya, denizcilik ve inşaat sektörü için korozyon direnci ve diğer fiziksel özellikler hedefleri belirlenmiştir. Özellikle denizcilik gibi alanlarda zorlu hava şartlarından dolayı yapılan kaplamanın kalitesi bu zorlu şartlara cevap verecek nitelikte olmalıdır. Elektrostatik toz boya kaplamanın geleneksel yöntemleri ağır şartlara cevap vermekte yetersiz kaldığından dolayı mevcut şartları iyileştirme yoluna gidilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, elektrostatik toz boyama öncesi malzeme yüzeyine nano kaplama uygulamasının korozyon direncine olan etkisi incelenecektir. Farklı çeşitte numune metal

levhalar hazırlanacak ve ardından nano kaplamalı ve kaplamasız olarak numuneler elektrostatik toz boya ile boyanacaktır. Kaplama işlemleri tamamlanan numunelerin korozyon direnci, boya yapışma performansı, mekanik dayanımları test edilerek elektrostatik toz boyama öncesi bir yüzey hazırlama çeşidi olan nano kaplamanın kaplama kalitesine olan etkisi incelenecektir. Genel olarak bu karakterizasyon ve boyama performansı test sonuçları ve analizleri, elektrostatik toz boyalı metal yüzeylerin, ilgili sanayide yaygın olarak kullanılan ürünlerin kalitesini ve ömrünü artırmak için uygulanmaktadır. Sonuç olarak bu çalışmanın amacı, toz boya kaplamanın korozyon direnci, boya yapışma performansı, mekanik dayanımlarını artırarak elektrostatik toz boya sistemlerinin kalitesini değerlendirmek ve iyi bir korozyon direnci elde etmektir (Yılmaz, 2010).



2. GENEL BİLGİ

Çalışmanın bu bölümünde, çalışmada kullanılacak olan metaller, doğada bulunan korozyon tehlikeleri ve bu tehditlere karşı korumak için uygulanacak olan kaplama yöntemi hakkında bilgiler içermektedir.

2.1 Metaller

Türkiye ekonomisinin kalkınmasında başı çeken en önemli sektörlerden biri ana metal sanayi sektörüdür. Enerji, inşaat, otomotiv ve kimya olmak üzere pek çok üretim alanında, ürünlerini yapmak için farklı metal türlerine ihtiyaç duyar, bu nedenle endüstriyel kullanım için çok fazla metal türü vardır. Evinizde veya iş yerinizde her gün kullandığınız eşyaları düşünürseniz, bu eşyaların çoğunun içinde en azından az miktarda metal olduğunu anlayacaksınız. Ürünlerinin tamamlanabilmesi ve uzun dönemli kullanılabilmesi için diğer şirketlere doğru metali doğru yöntemlerle üretilip tedarikini sağlamak önemli bir iştir.

Ana metal sanayi sektörünü demir-çelik ana sanayisi ve demir-çelik dışındaki ana metal sanayi şeklinde sınıflandırabiliriz.

Modern yaşam, tüm metaller arasında en yaygın şekilde kullanılan demire büyük ölçüde bağlıdır. En basit günlük görevleri bile yerine getirmek için gereklidir. Genellikle çelik formundaki demir, neredeyse her zaman işin yapılmasına yardımcı olur. Otoyollardaki ve yüksek binalardaki beton, daha fazla güç için çeliğe ihtiyaç duyar. Taşımacılık, ister demir at nalı şeklinde isterse uzaya gönderilen bir araçta özel bir çelik alaşımı şeklinde olsun, metale dayanır. Demir ve çeliğin tüm kullanımlarının tam listesi sonsuz görünebilir ve her yıl yeni kullanımlar bulunur. Demir Çağı'nın başlangıcından, yaklaşık MÖ 1000'den beri, barışta ve savaşta insanlığın ilerlemesi, büyük ölçüde demirden yapılmış teçhizata bağlı olmuştur. İlk olarak, ihtiyaç duyulan diğer birçok eşyayı biçimlendirmek için metal aletler geldi. Sonunda bunu Sanayi Devrimi ve çiftliklerin makineleşmesi izledi. Demir ve çelikten yapılmış takım tezgahları ve diğer ekipmanlar hem şehir hem de çiftlik ekonomisini değiştirdi.

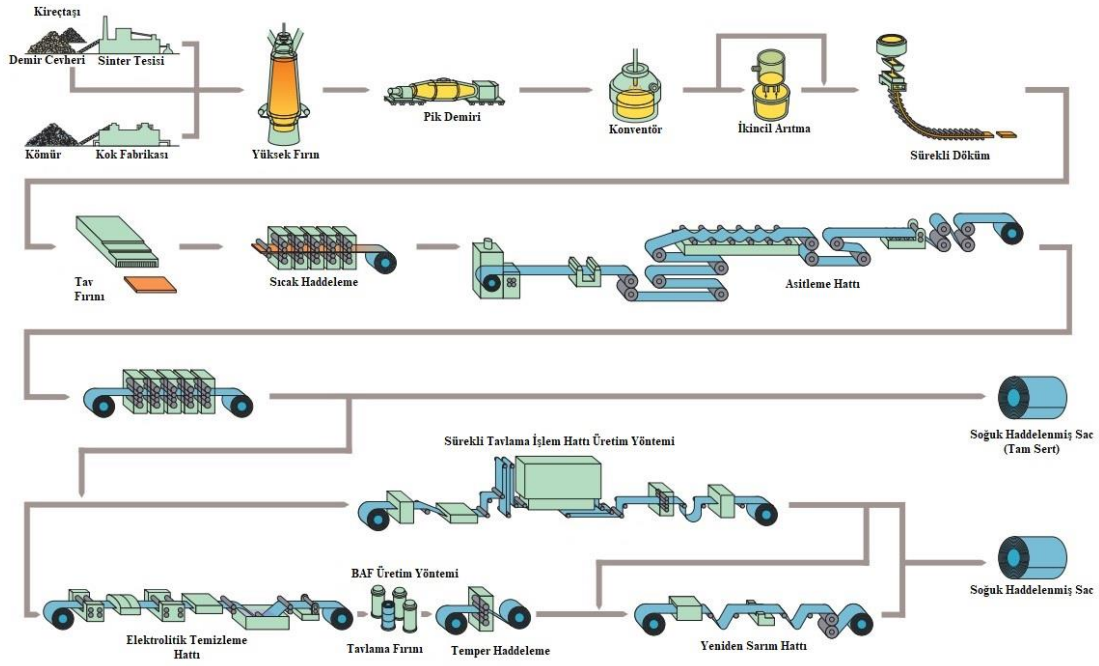
Demir-çelik dışındaki kalan ana metal sanayi ise kalay, çinko, değerli metal, bakır, alüminyum, kurşun ve demir haricinde kalan diğer metallerin üretimini içerir. Bu sanayideki üretimde ve ihracatta alüminyum ön plana çıkmaktadır.

Alüminyum, 18. yüzyılın başlarında keşfedilen nispeten yeni bir metaldir. Doğal olarak oluşan bir metal değildir. Bunun yerine %50 alümina içeren boksitten çıkarılır. Oldukça yaygın bir metaldir ve bu nedenle genellikle çok pahalı değildir ve araçlar, mutfak gereçleri, uçak parçaları, mobilyalar ve hatta paketlenme ve bazı büyük bina yapıları yapmak için kullanılır.

Bu çalışmada inşaat, otomotiv, enerji dağıtım gibi sektörlerde sıklıkla kullanılan çelik formlarından olan DKP ve galvanizli çelik ile alüminyum levhalar kullanılacaktır.

2.1.1 Dkp

Esasen, soğuk haddelenmiş çelik (DKP), daha fazla işlem görmüş sıcak haddelenmiş çeliği ifade eder. Daha önce bahsedildiği gibi haddeleme, çeliğin şekillendirilmesinde yer alan, tormalama, taşlama ve cilalama dahil olmak üzere çeşitli işlemleri içerir. Diğer işlemler, mevcut bir sıcak haddelenmiş çeliği daha rafine bir ürüne dönüştürür. "Soğuk haddelenmiş" terimi esas olarak sıkıştırmaya tabi tutulmuş çelikler için geçerlidir. Sıcak haddelenmiş çelik yapmak yalnızca yüksek sıcaklıklarda ısıtma ve soğutmayı içerirken, soğuk haddelenmiş çelik ek bir işlem içerir. Soğuk haddehanelerde, imalatçı çeliği soğutur ve soğuk haddeleme veya pres frenleme ile oda sıcaklığında yeniden haddeler. Bu işlem istenilen şekil ve boyutların elde edilmesine yardımcı olur. Bu işlemlerin sonucunda 0,2 ile 2 mm kalınlık aralığında olan plaka veya rulo şeklinde çelik ürünler elde edilir. Üretim akışı Şekil 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.1: DKP sac üretim şeması (URL-4, 2024).

Bu üretim ile birlikte elde edilen ürünlerin bütün yüzeyinde malzemenin fiziksel özellikleri eşit bir şekilde olduğu görülmektedir. Ayrıca, yüzey düzgünlüğü, genişlik ve kalınlık gibi spesifikasyonlar iyi derecede olmakla birlikte arzulan bekleniyi fazlası ile karşılamaktadır. Bir hurda türü de olan DKP, özellikle demir çelik sanayisinde üretim yapan ya da bitmiş ürün elde etmek adına demir çelik ürünlerini kullanarak üretim yapan fabrikaların yapmış olduğu hurda geri dönüşümden elde edilir. Bu hurda; çekirdek olmayan, ağır ve kalın hurda şekilleri arasındadır. DKP sac hurdaları, diğer metal hurdalarla karşılaştırıldığında yüksek kaliteye ve önemli bir konuma sahiptir. Ayrıca DKP sac hurdaları metal hurdaları açısından bilinen en kaliteli hammaddedir. Yumuşak bir yapıya sahip olmaları sayesinde DKP sac hurdaları kolay bir şekilde ve düzgünce şekillendirilebilir (URL-5, 2024).

DKP sac yüksek kaliteleri ve üstün özellikleri sebebi ile endüstrilerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kullanışlı, dayanıklı ve aynı zamanda kolay şekil verilebilir malzemeler olmasından dolayı DKP rulo ve saclar en yaygın olarak kullanılan sektör beyaz eşya sektörüdür. Yüksek mukavemetli ve korozyona karşı dirençli olan bu saclarla üretilen ürünler iyi mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı fazlaca rağbet görmektedir. Sahip oldukları bu üstün özellikleri sayesinde DKP sac otomotiv sanayiinde ve beyaz eşya üretiminde oldukça fazla kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründeki firmaların yaygın olarak DKP sac tercih etmesinin en büyük sebebi bükülebilir özelliklerinin yüksek

olmasıdır. DKP sacların kullanım alanları devam edilen şekilde sıralanabilir: DKP saclar dayanıklı ev aletleri üretiminde, otomotiv ve yan sanayiinde görünür - görünmez parça olarak, ofis gereçleri imalatında, aydınlatma ürünleri ve aksesuarları imalatında ve özellikle daha sonrasında galvaniz kaplama işlemi yapılacak bitmiş ürünlere kadar geniş bir sektör yelpazesinde en temel hammadde olarak tercih edilmektedir. DKP sacların mekanik özellikleri ve kalitesinin iyi olmasının dışında bu iyi özellikleri düşük bir maliyet ile elde etmek en büyük avantajlardan bir tanesidir. Fiyat-performans özelliklerini de göz önünde bulundurduğumuz zaman mükemmel bir denklem oluşturmaktadır. Genel bir açıdan baktığımızda beyaz eşya, inşaat, otomotiv, denizcilik gibi alanlarda neden sıklıkla DKP sac kullanıldığını kolayca anlayabiliriz. Özetle DKP ürünler iyi bir fiyat ile elde edilen iyi kalite ve mükemmel özellikler sayesinde imalat sektöründe fazlaca tercih sebebi haline gelmiştir.



2.1.2 Galvanizli Sac

Elektro-galvanizli elik, galvanik kaplama işlemi boyunca koruma için çinko ile kaplanmış bir elik türüdür. Çinko kaplama, soğuk haddelenmiş çeliğe düşük sıcaklıkta uygulanır. Bu nedenle EG eliği, soğuk galvanizli elik olarak da bilinir. Elektrolitik galvanizleme yoluyla, nihayet elik yüzey üzerinde düzgün ve yoğun bir çinko tabakası oluşturur, ancak malzemenin mekanik özelliklerini korur. Elektro-galvanizli elik genellikle rulo veya sac şeklinde satılmaktadır. EG bobini, diğer kullanımlar için kesilebilen, kesilebilen ve primlenebilen bir malzeme türüdür. Bobin ağırlığı genellikle 3 ila 8 ton arasında değişir. EG levha ise bir çeşit mamul veya yarı mamuldür. Doğrudan kullanabilir veya başka kullanımlar için daha fazla işlenebilir.

Elektro galvanizleme, elik yüzeyine bir çinko tabakasının elektro kaplanmasını içeren bir işlemdir. Bu, bir çinko anot ve bir elik iletken ile bir çinko ve salın çözeltisinden bir elektrik akımı geçirilerek yapılır. Elektro galvanizleme, çeliği korozyondan korumayı, hizmet ömrünü uzatmayı ve dekoratif görünümünü iyileştirmeyi amaçlar. Çinko, kuru havada ve nemli ortamda oksidasyona karşı yüksek bir dirence sahiptir ve bu da korozyona karşı koruma sağlar. Koruyucu tabaka hasar gördüğünde, çinko ve elik arasında bir mikro pil oluşur ve bu da elik alt tabakanın korunmasını sağlar.

Soğuk galvanizlemeden sonra çeliğin mekanik özelliği değişmeyecektir. Çinko tabakasının koruması ile birlikte bazı harika özelliklere sahiptir:

- İyi işlenebilirlik, boyanabilirlik ve süneklik
- İyi aşınma direnci
- Düzgün ve eşit koruyucu kaplama
- Parlak ve estetik çekici yüzey
- Büyük korozyon direnci

2.1.3 Alüminyum

Alüminyum, dünya genelinde çeşitli sektörlerde geniş bir ürün yelpazesi için sık olarak kullanılan metalik bir kimyasal elementtir. Pek çok tüketici, bilhassa mutfakta aktiflerse, her gün bir şekilde onunla etkileşim içinde olurlar. Elementin atom numarası 13'tür ve elementlerin periyodik tablosunda Al sembolü ile gösterilir. Kurşun ve kalay gibi metaller ile aşırı işlenebilirlik özelliğini paylaşan zayıf metaller içinde sınıflandırılır. Uluslararası standart yazım alüminyumdur. Bu elementin geçmişi aslında oldukça eskidir. Yüzyıllardır çeşitli şekillerde kullanılmıştır; örneğin alüminyum oksitler, Eski Mısır'da yapılmış olan çanak, çömlek ve sırlarda görülür. Romalılar ise şap adını verdikleri bir madde formunda kullanmışlardır. 1800'lerde Hans Christian Oersted, bu elementin saf olmayan bir formunu izole etmeyi başardı ve onu 1827'de ise saf formunu izole etmeyi başaran Friedrich Wohler izledi.

Ham alüminyum, Danimarkalı fizikçi Hans Christian Ørsted tarafından alüminyum klorürü potasyum amalgam ile indirgeyerek izole edildi (1825). İngiliz kimyager Sir Humphry Davy, erimiş alüminayı (alüminyum oksit) elektrolize ederek bir demir-alüminyum alaşımı hazırlamış (1809) ve elemente alüminyum adını vermişti; kelime daha sonra İngiltere'de ve diğer bazı Avrupa ülkelerinde alüminyum olarak değiştirildi. Alman kimyager Friedrich Wöhler, indirgeyici ajan olarak potasyum metali kullanarak alüminyum tozu (1827) ve metalin bazı özelliklerini belirleyebildiği küçük metal kürecikleri (1845) üretti.

Yeni metal, Deville işlemi yoluyla erimiş alüminyum klorürün sodyum indirgenmesiyle (yüksek masraf ile düşük miktarlarda) elde edilebilir hale getirildiği yıllarda (1855) Paris Fuarı'nda halka tanıtıldı. Elektrik enerjisinin eskiye nazaran daha kolay erişilebilir ve ucuz hale geldiğinde, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Charles Martin Hall ve Fransa'daki Paul-Louis-Toussaint Héroult yaklaşık olarak aynı zamanlarda ticari olarak alüminyum üretmenin modern yöntemini keşfettiler (1886): erimiş kriyolitte çözülmüş saflaştırılmış alüminanın (Al_2O_3) elektrolizi. (Na_3AlF_6). 1960'larda alüminyum, dünya genelinde demir dışı metal üretiminde bakırın önüne geçerek ilk sırayı aldı.

Alüminyum, teneke kutular, folyolar, mutfak gereçleri, aydınlatma ürünleri, dış cephe kaplamaları, kablolar, kablo kanalları, otomotiv ve uçak parçaları gibi çok çeşitli ürün gruplarında kullanılmaktadır. Bu, kendine has özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Düşük

yoğunluğa sahip olan alüminyum, yüksek termal iletkenliğe sahiptir, mükemmel korozyon direncine sahiptir, toksik değildir ve kolayca dökülebilir, işlenebilir ve şekillendirilebilir. Ayrıca manyetik değildir ve kıvılcım çıkarmaz. İkinci en yumuşak metal ve en sünek altıncı metaldir.

Alüminyumun kendisi özellikle güçlü olmadığı için genellikle bir alaşım olarak kullanılır. Bakır, manganez, magnezyum ve silikon içeren alaşımlar hafif ama güçlüdür. Uçakların ve diğer ulaşım türlerinin yapımında çok önemlidirler.

Alüminyum iyi bir elektrik iletkenidir ve genellikle elektrik iletim hatlarında kullanılır. Kablo ve Busbar sistemlerinin üretiminde bakır ile birlikte en çok kullanılan iki iletken biridir. Bakırdan daha ucuzdur ve ağırlığına göre ağırlığı neredeyse iki kat daha iyi bir iletkenidir.

Yüksek termal iletkenliğe sahip olduğu için özellikle ısı açığa çıkan aydınlatma ve kabloların taşındığı endüstriyel ürünlerde alüminyum kullanılmaktadır. Bu sayede hem ürünlerde hafiflik hem de termal iletkenlik ile birlikte ihtiyaç duyulan soğutma sağlanmaktadır.

Alüminyum, vakumda buharlaştırıldığında hem ışık hem de ısı için oldukça yansıtıcı bir kaplama oluşturur. Gümüş kaplama gibi bozulmaz. Bu alüminyum kaplamaların dekoratif kağıtlar, teleskop aynaları, oyuncaklar ve paketler dahil olmak üzere birçok kullanım alanı vardır.

Saf alüminyum (yüzde 99,996) oldukça yumuşak ve zayıftır; Küçük miktarlarda demir ve silikon içeren ticari alüminyum (yüzde 99 ila 99,6 saflıkta) sert ve güçlüdür. Sünek ve yüksek oranda dövülebilir olan alüminyum, tel haline getirilebilir veya ince folyo haline getirilebilir. Metal, bakır veya demirin yalnızca üçte biri oranında yoğundur. Alüminyum, kimyasal olarak aktif olmasına karşın korozyon direnci oldukça fazladır, çünkü havada yüzeyinde sert, sert bir oksit filmi oluşur.

Alüminyum mükemmel bir ısı ve elektrik iletkenidir. Termal iletkenliği, bakırın yaklaşık yarısı kadardır; elektriksel iletkenliği, yaklaşık üçte ikisi. Yüz merkezli kübik yapıda kristalleşir. Tamamen doğal alüminyum, kararlı izotop alüminyum-27'dir. Metalik alüminyum ve oksit ve hidroksit toksik değildir.

Alüminyum çoğu seyreltik asit tarafından yavaşça saldırıya uğrar ve konsantre hidroklorik asitte hızla çözünür. Bununla birlikte konsantre nitrik asit, metali pasif hale getirdiği için alüminyum tanklı arabalarda sevk edilebilir. Çok saf alüminyum bile sodyum ve potasyum hidroksit gibi alkaliler tarafından şiddetli bir şekilde saldırıya uğrayarak hidrojen ve alüminat iyonu verir. Oksijene olan büyük ilgisi nedeniyle, ince bölünmüş alüminyum tutuşursa karbon monoksit veya karbon dioksit içinde yanarak alüminyum oksit ve karbür oluşturur, ancak kırmızı ısıya kadar olan sıcaklıklarda alüminyum sülfüre karşı inerttir.

Alüminyum, emisyon spektroskopisi yoluyla milyonda bir kısım kadar düşük konsantrasyonlarda tespit edilebilir. Alüminyum, oksit (Al_2O_3 formülü) veya organik nitrojen bileşiği 8-hidroksikinolin'in bir türevi olarak nicelik bakımından analiz edilebilir. Türev, $Al(C_9H_6ON)_3$ moleküler formülüne sahiptir.

2.2 Korozyon

Korozyon, çevredeki atmosferde bulunan kimyasalların veya elektro-kimyasalların etkisiyle metalin bozulması sürecidir. Korozyon, inşaat başta olmak üzere, metallerin kullanıldığı birçok sektörde büyük bir tehlike arz etmektedir.

2.2.1 Korozyonun Tanımı

Korozyon, bir metalin çevresiyle kimyasal veya elektrokimyasal bir reaksiyonla yıkıcı saldırısıdır. Fiziksel nedenlerle bozulma korozyon olarak adlandırılmaz, erozyon, aşınma veya aşınma olarak tanımlanır. Bazı durumlarda, kimyasal saldırı, aşağıdaki terimlerle açıklandığı gibi fiziksel bozulmaya eşlik eder: korozyon- erozyon, aşındırıcı aşınma veya aşındırma korozyonu. Ametaller bu korozyon tanımına dahil değildir. Plastikler şişebilir veya çatlayabilir, ahşap parçalanabilir veya çürüyebilir, granit aşınabilir ve Portland çimentosu sızabilir, ancak bu kitaptaki korozyon terimi metallerin kimyasal saldırısı ile sınırlıdır. "Paslanma", büyük ölçüde sulu ferrik oksitlerden oluşan korozyon ürünlerinin oluşumu ile demir veya demir bazlı alaşımların korozyonu anlamına gelir. Bu nedenle demir dışı metaller paslanır ancak paslanmaz.

2.2.2 Korozyonun Önemi

Korozyonun öneminin üç ana nedeni ekonomi, güvenlik ve korumadır. Korozyonun ekonomik etkisini azaltmak için korozyon mühendisleri, korozyon bilim adamlarının desteğiyle boruların, tankların, makinelerin metal bileşenlerinin, gemilerin, köprülerin, deniz yapılarının vb. korozyonundan kaynaklanan malzeme kayıplarını ve buna eşlik eden ekonomik kayıpları azaltmayı amaçlar. Korozyon, örneğin basınçlı kaplar, kazanlar, toksik kimyasallar için metal kaplar, türbin kanatları ve rotorları, köprüler, uçak bileşenleri ve otomotiv direksiyon mekanizmalarında arızaya (felaket sonuçlarıyla) neden olarak çalışan ekipmanın güvenliğini tehlikeye atabilir. Güvenlik, nükleer santraller için ekipman tasarımında ve nükleer atıkların bertaraf edilmesinde kritik bir husustur. Korozyonla metal kaybı, yalnızca metalin değil, aynı zamanda enerjinin, suyun ve en başta metal yapıları üretmek ve imal etmek için kullanılan insan emeğinin de israfıdır. Ayrıca, aşınmış ekipmanı yeniden inşa etmek, tüm bu kaynaklara (metal, enerji, su ve insan) daha fazla yatırım yapılmasını gerektirir. Ekonomik kayıplar (Prasad vd., 2016). doğrudan kayıplar ve (Yılmaz, 2010). dolaylı kayıplar olarak ayrılır. Doğrudan kayıplar, aşınmış yapıların ve makinelerin veya kondansatör tüpleri, susturucular, boru hatları ve metal çatı gibi bileşenlerinin gerekli işçilik dahil değiştirilmesi maliyetlerini içerir. Diğer örnekler, (a) paslanmayı önlemenin birincil amaç olduğu yapıların yeniden boyanması ve (b) sermaye maliyetleri artı yer altı boru hatları için katodik koruma sistemlerinin bakımındır. Büyük doğrudan kayıplar, korozyondan kaynaklanan arızalar nedeniyle her yıl birkaç milyon evsel sıcak su tankının değiştirilmesi gerekliliği ve milyonlarca aşınmış otomobil susturucusunun değiştirilmesi ihtiyacı ile açıklanmaktadır. Doğrudan kayıplar, yeterli mekanik özelliklere sahip olan ancak yeterli korozyon direncine sahip olmayan karbon çeliği yerine korozyona dayanıklı metaller ve alaşımlar kullanmanın ekstra maliyetini içerir; ayrıca çeliğin galvanizlenmesi veya nikel kaplanması, suya korozyon inhibitörleri eklenmesi ve metal ekipman için depolama odalarının nemini alma maliyetleri de vardır. Ekonomik faktör, korozyondaki mevcut araştırmaların çoğu için çok önemli bir motivasyondur. Yakın tarihli bir araştırmaya göre, sanayi ve hükümetler tarafından sürdürülen kayıplar yılda birçok milyarlarca doları, ABD'de yaklaşık 276 milyar doları veya Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'nın (GSYİH) %3,1'ini oluşturuyor (Prasad vd., 2016). Şu anda mevcut olan korozyon teknolojisinin etkin bir şekilde uygulanması durumunda, bu toplamın yaklaşık %25-30'unun önlenilebileceği tahmin edilmektedir (Prasad vd., 2016). Avustralya, Büyük Britanya, Japonya ve diğer ülkelere korozyon maliyeti çalışmaları da yapılmıştır. İncelenen her ülkede korozyon maliyeti, Gayri

Safi Milli Hasıla'nın yaklaşık %3-4'ü kadardır (Yılmaz, 2010). Dolaylı kayıpların değerlendirilmesi daha zordur, ancak bu türden tipik kayıpların kısa bir incelemesi, bunların daha önce belirtilen doğrudan kayıplara birkaç milyar dolar eklediği sonucuna varmayı zorunlu kılar. Dolaylı kayıplara örnekler aşağıdaki gibidir:

1. Kapatma. Bir petrol rafinerisinde paslanmış bir borunun değiştirilmesi birkaç yüz dolara mal olabilir, ancak onarımlar devam ederken ünitenin kapatılması, üretim kaybında saatte 50.000 ABD Doları veya daha fazlasına mal olabilir. Benzer şekilde, büyük bir elektrik santralinde paslanmış bir kazanın veya kondenser borularının değiştirilmesi, kazan arızalıyken müşterilere tedarik etmek için enterkonnekte elektrik sistemlerinden satın alınan elektriğin günlük 1.000.000 \$ veya daha fazlasını gerektirebilir. Bu tür kayıplar, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki elektrik hizmetlerine yılda on milyonlarca dolara mal oluyor.
2. Ürün Kaybı. Onarımlar yapılana kadar paslanmış bir boru sisteminden yağ, gaz veya su kayıpları meydana gelir. Antifriz, paslanmış bir oto radyatöründen kaybolabilir veya paslanmış bir borudan sızan gaz binanın bodrum katına girerek patlamaya neden olabilir.
3. Verimlilik kaybı. Birikmiş korozyon ürünleri yoluyla azalan ısı transferi nedeniyle veya artan pompalama kapasitesi gerektiren boruların pasla tıkanması nedeniyle verimlilik kaybı meydana gelebilir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, su şebekelerinin kısmen pasla tıkanması nedeniyle artan pompalama kapasitesinin yılda milyonlarca dolara mal olduğu tahmin edilmektedir. Başka bir örnek, piston segmanlarının ve silindir duvarlarının yanma gazları ve yoğunlaşma sıvıları tarafından sürekli olarak aşındığı içten yanmalı otomobil motorları tarafından sağlanır. Aşırı benzin ve yağ tüketimine yol açan kritik boyutların kaybı, aşınmadan kaynaklanana eşit veya daha büyük ölçüde korozyondan kaynaklanabilir. Korozyon süreçleri, milyarlarca doları bulan kayıpları temsil eden enerji dönüştürme sistemlerinin verimliliğine sınırlar getirebilir.
4. Ürünün Kirlenmesi. Bakır boruların veya aksi takdirde dayanıklı olan pirinç ekipmanın hafif aşınmasıyla toplanan az miktarda bakır, tüm sabun partisine zarar verebilir. Bakır tuzları, sabunların acılaşmasını hızlandırır ve kullanılmadan önce saklanabilecekleri süreyi kısaltır. Eser miktarda metal benzer şekilde boyaların rengini değiştirebilir. Çok küçük miktarlarda kurşun

tuzlarının sağladığı toksik özellikler nedeniyle, aksi takdirde dayanıklı olan kurşun ekipmanın yiyecek ve içeceklerin hazırlanmasında kullanılmasına izin verilmez. Örneğin ABD Gıda ve İlaç Bürosu, şişelenmiş içme suyunda 1 ppb'den fazla kurşuna izin vermez (Revive ve Uhling, 2008). Benzer şekilde, kurşun borulardan geçen yumuşak sular da içme amaçlı olarak güvenli değildir. Az miktarda kurşunun zehirli etkileri uzun zamandır bilinmektedir. 31 Temmuz 1786 tarihli Benjamin Vaughn'a yazdığı bir mektupta, Benjamin Franklin (URL-6, 2024) kurşun çatılardan toplanan yağmur sularının veya kurşuna maruz kalan alkollü içeceklerin tüketilmesinin olası kötü etkilerine karşı uyarıda bulunmuştur. Semptomlar onun zamanında "kuru karın ağrısı" olarak adlandırılıyordu ve uzuvlarda felç eşlik ediyordu. Hastalık, New England rom damıtıcılarının kurşun bobin kondansatörleri kullanması nedeniyle ortaya çıktı. Sebebi kabul ettikten sonra, Massachusetts Yasama Meclisi bu amaçla kurşun kullanımını yasaklayan bir yasa çıkardı. Diğer bir kontaminasyon şekli, gıdaların paslanmış metal kaplarda bozulmasıdır. Bir meyve ve sebze konserve fabrikası, yerel korozyona neden olan metalurjik faktörler analiz edilip düzeltilmeden önce bir yılda 1 milyon dolardan fazla zarar etti. Cam gıda kavanozlarında metal kapak kullanan başka bir şirket, kapakların çukurlaşma tipi bir korozyonla delinmesi ve böylece içeriğin bakteriyel kontaminasyonuna izin vermesi nedeniyle bir yılda 0,5 milyon dolar zarar etti.

5. Aşırı tasarım. Reaksiyon kaplarının, kazanların, kondenser tüplerinin, petrol kuyusu enayi çubuklarının, yüksek basınçlı petrol ve gaz taşıyan boru hatlarının, su tanklarının ve deniz yapılarının tasarımında aşırı tasarım yaygındır. Ekipman, makul bir ömür sağlamak için genellikle normal çalışma basınçlarından veya uygulanan baskılardan çok daha ağır tasarlanır. Yeterli korozyon bilgisi ile, ekipman ömrüne ilişkin daha güvenilir tahminler yapılabilir ve malzeme ve işçilik açısından tasarım basitleştirilebilir. Örneğin, petrol kuyusu enayi çubukları, korozyon yorgunluğundan kaynaklanan arızalar oluşmadan önce hizmet ömrünü uzatmak için normalde gereğinden fazla tasarlanır. Korozyon faktörü ortadan kaldırılırsa, kayıplar en az yarı yarıya azalır. Hafif bir çubuğu çalıştırmak için daha az güç gerekeceğinden ve hafif bir çubuğun kırılmadan sonra geri kazanılmasının maliyeti daha düşük olacağından daha fazla tasarruf olacaktır. Dolaylı kayıplar, toplam kayıpların makul bir tahminine varmak zor olsa da, korozyonun getirdiği ekonomik verginin önemli bir bölümünü oluşturur.

Bir patlama nedeniyle sağlık veya yaşam kaybı, kimyasal ekipmanın öngörülemez arızası veya kritik parçaların korozyonu nedeniyle uçak, tren veya otomobil enkazı durumunda, dolaylı kayıpların değeriendirilmesi hala daha zordur ve dolar cinsinden yorumlanamaz (Revive ve Uhling, 2008).

2.2.3 Korozyon Çeşitleri

Korozyon problemlerini çözmek için değeri bilgileri genellikle aşınmış test numunelerinin veya arızalı ekipmanın dikkatli bir şekilde gözlemlenmesiyle elde edilebilir. Aslında korozyon, gösterme biçimine göre sınıflandırılır. Çeşitli formları, görsel gözlemler tanımlanan korozyon formları ile aşınmış metalin görünümüne göre gruplandırılır. Çoğu durumda çıplak göz yeterlidir, ancak bazen büyütme yardımcı olur veya gerekli olur.

Bu çalışmada, okuyucuların varlıklarındaki potansiyel korozyon sorunlarını belirlemesine ve ele almasına yardımcı olmak için, her bir türün resimleri ve ayrıntılı açıklamaları da dahil olmak üzere, metalde 12 korozyon türünün kapsamlı bir sınıflandırmasını bulabilirsiniz.

2.2.3.1 Üniform Korozyon

Buna genel korozyon da denir. Çoğu doğrudan kimyasal saldırının (örneğin bir asit tarafından olduğu gibi) ürettiği yüzey etkisi, metalin düzgün bir şekilde dağlanmasıdır. Cilalı bir yüzeyde, bu tür korozyon ilk olarak yüzeyin genel olarak donuklaşması olarak görülür ve devam etmesine izin verilirse yüzey pürüzlü hale gelir ve muhtemelen donmuş bir görünüm kazanır.



Şekil 2.2: Üniform korozyon (URL-6, 2024).

Metalin yüksek sıcaklıklara maruz kalması sonucu oluşan renk bozulması veya genel matlaşması, tek biçimli dağlama korozyonu olarak kabul edilmemelidir. Kimyasallara dayanıklı koruyucu kaplamaların veya daha dayanıklı malzemelerin kullanılması bu sorunları kontrol altına alacaktır. Bu, korozyonun en yaygın şekli olsa da, genellikle mühendislik açısından çok az öneme sahiptir, çünkü yapılar normalde çirkin hale gelir ve yapısal olarak etkilenmeden çok önce bakım gerektirir. Şekil 3’de gösterilen tesisler, kontrol önlemleri alınmadığı takdirde bu korozyonun nasıl ilerleyebileceğini göstermektedir.



Şekil 2.3: Üniform korozyona uğramış tesis (URL-7, 2024).

2.2.3.2 Galvanik Korozyon

İki farklı metal aşındırıcı bir ortama maruz kaldığında elektriksel potansiyel farkı oluşacaktır. İki metal elektriksel olarak bağlanırsa, daha aktif olan metal, ortaya çıkan galvanik hücrede anot haline gelecek ve korozyonu artacaktır.



Şekil 2.4: Galvanik korozyon (URL-6, 2024).

Böyle bir korozyon hücresinin bir örneği, Şekil 4’teki gibi alüminyum levhaları bir arada tutmak için paslanmaz çelik cıvataların kullanılmasıdır.



Şekil 2.5: Paslanmaz çelik civata ile alüminyum levha arasında gerçekleşen galvanik korozyon (URL-7, 2024).

Her galvanik korozyon zararlı değildir. Çinko kaplı çelik veya galvanizleme çeliği korumak için kullanılır, çeliğin korozyona dayanıklı olması nedeniyle değil, çelik için anodik olan zine tercihen paslanır. Bu nedenle, çeliğin açıkta kalan alanları katotlara dönüştürülerek çelik katodik olarak korunur.

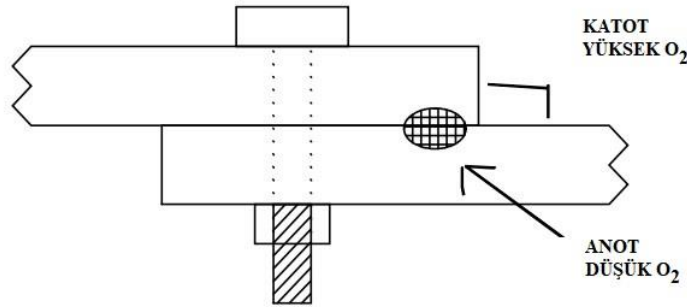
Gerekmedikçe farklı metallerin kullanılmaması genellikle iyi bir uygulamadır, ancak gerekliyse aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

- Metalleri elektriksel olarak yalıtmaya çalışın.
- Metal yüzeylerde, genellikle katotta koruyucu kaplamalar kullanın
- Daha az soy metali katodik olarak koruyun.
- Sisteme korozyon inhibitörleri koyun.
- Anodik parçanın kolayca değiştirilebileceği bir tasarım kullanın.
- Nemi dışarıda tutun.
- Galvanik seride birbirine yakın metaller kullanın.
- Anot/katot alan oranı yüksek olacak şekilde tasarlayın.
- Korozyonu hesaba katmak için tasarım ödeneklerini kullanın. (6)

2.2.3.3 Çatlak Korozyonu

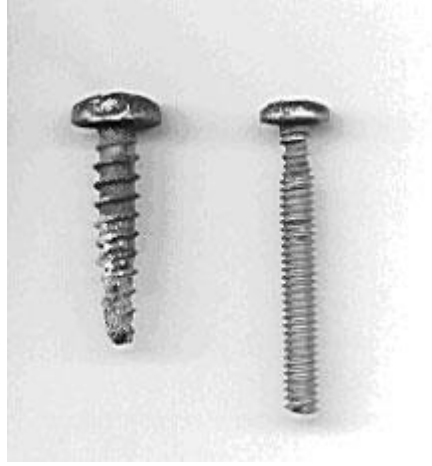
Çatlak korozyonu, bindirilmiş derzlerin oluşturduğu yarıklar veya kısmi korumalı alanlar aşındırıcı ortamlara maruz kaldığında meydana gelen lokalize bir saldıdır. Ortaya çıkan bu tür hücelere konsantrasyon hücreleri denir. İki yaygın durum oksijen hücreleri ve metal iyon hücreleridir.

Oksijen konsantrasyon hücreleri, korunan alan oksijen açısından tükendiğinde ve alan oksit bölgeye göre bir anot görevi gördüğünde meydana gelir. Şekil 6'da gösterildiği gibi, korumasız alana kıyasla küçük korumalı alan nedeniyle korozyon oldukça hızlı hale gelir. Bir oksijen hücresi durumunda, oksijen seviyelerine göre anot ve katot oluşumunu zorlayan bir oksijen "gradyanına" sahibiz.



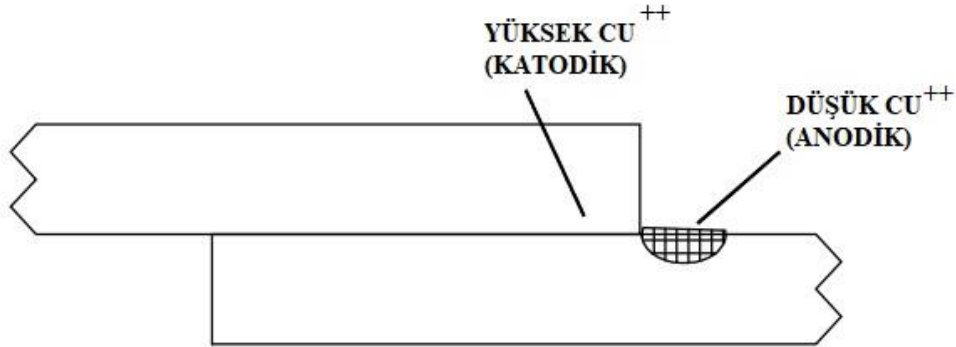
Şekil 2.6: Çatlak korozyonu

Bu tür korozyonun ilk itici gücü oksijen hücresidir. Devam eden büyüme, yarık içinde asidik, hidrolize tuzların birikmesiyle (genellikle düşük oksijen seviyesini oluşturan aynı faktörlerin neden olduğu) desteklenir. 18-8 paslanmaz çelikler gibi alaşımlar, oksijen hücresi çatlak korozyonuna tabidir.



Şekil 2.7: Paslanmaz çelik civatada oluşan çatlak korozyonu (URL-7, 2024)

Metal iyon hücreleri, esas olarak bakır alaşımları ile oluşturulur. Korumalı alan korozyon ürünlerini biriktirir ve korozyon ürünlerinin yıkanıp uzak tutulduğu yarığın dışındaki bölgelere katodik hale gelir. Aşağıdaki şekil, bu tür bir konsantrasyon hücrelerini göstermektedir.



Şekil 2.8: Konsantrasyon hücrelerinin gösterimi

Metal-iyon hücre korozyonunun başka bir örneği, metal yüzey üzerindeki elektrolitin bağlı hızlarının bir noktada diğerine göre daha yüksek olması ve dolayısıyla metal-iyon çatlak korozyonuna neden olması durumunda meydana gelir. İyi bir örnek, bir metal diskin deniz suyuyla yüksek hızda dönmesidir. Korozyon, doğrusal hızların ($v=\omega r$) en yüksek ve metal iyonu konsantrasyonunun düşük olduğu (iyonlar tekrar tekrar süpürüldüğü için) kenara yakın meydana gelir. Diskin göbeğine yakın bölgelere göre daha yüksek olan yüksek hız, metal iyonlarını uzaklaştırarak anot bölgelerini oluşturur. Hızların daha düşük olduğu diskin merkezinde, metal bir katot görevi görür ve korunur.

Bununla birlikte, iki konsantrasyon hücresi çatlağın farklı bölgelerinde paslanır. Oksijen hücresi korumalı alanın altında paslanırken, metal iyon hücresi alanın dışında paslanır. Daha önce belirtildiği gibi, korozyonun arkasındaki ilk itici güç ya oksijen ya da metal-iyon hücresidir. Devam eden büyümesi, çatlak içindeki korozyon ürünleri, kireçli birikintiler ve tuzların birikmesiyle yönetilir.

2.2.3.4 Çukur Korozyonu

Çukur korozyonu, malzemede boşlukların veya "deliklerin" üretildiği lokalize bir korozyon şeklidir. Çukurlaşmanın tespit edilmesi, tahmin edilmesi ve buna karşı tasarım yapılması daha zor olduğundan, üniform korozyon hasarından daha tehlikeli olduğu düşünülür. Korozyon ürünleri genellikle çukurları kaplar. Minimum toplam metal kaybına sahip küçük, dar bir çukur, tüm mühendislik sisteminin arızalanmasına yol açabilir. Örneğin, tüm yerel korozyon ataklarının neredeyse ortak bir paydası olan oyuk korozyonu, farklı şekiller alabilir. Çukurlaşma korozyonu, ağızları açık (kaplanmamış) veya yarı geçirgen bir korozyon ürünleri zarı ile kaplı çukurlar oluşturabilir. Çukurlar yarım küre veya fincan şeklinde olabilir.



Şekil 2.9: Çukur korozyonu (URL-7, 2024)

Çukurlaşmanın başlaması aşağıdakilerden herhangi birinin sonucu olabilir:

- a) Koruyucu oksit filmde lokalize kimyasal veya mekanik hasar; Pasif bir filmin bozulmasına neden olabilen su kimyası faktörleri asitlik, düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonları (koruyucu bir oksit filmi daha az kararlı hale getirme eğilimindedir) ve yüksek klorür konsantrasyonlarıdır (deniz suyunda olduğu gibi)
- b) Koruyucu bir kaplamanın lokal olarak hasar görmesi veya kötü uygulanması

- c) Bileşenin metal yapısında düzensizliklerin varlığı, örn. metalik olmayan kapanımlar

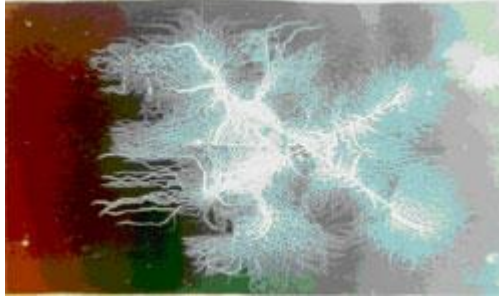
Teorik olarak, bir çukurun başlamasına yol açan bir yerel hücre, katot görevi gören normal bir yüzeyle çevrili anormal bir anodik bölge veya korozyon nedeniyle bir çukurun kaybolacağı normal bir yüzeyle çevrili anormal bir katodik bölgenin varlığından kaynaklanabilir.

İkinci durumda, görüntüde gösterilen bir alüminyum numunenin resminde olduğu gibi korozyon saldırısına karşı dayanıklı kalacağından, inceleme sonrası yerel katodu ortaya çıkarmalıdır. Çukurlaşma vakalarının çoğunun, normalde normal olan bir yüzeydeki yerel katodik bölgelerden kaynaklandığına inanılmaktadır.

Korozyon çukurları, bölgesel kalınlık kaybının yanı sıra stres yükselticiler gibi davranarak zararlı olabilir. Yorulma ve gerilimli korozyon çatlaması, korozyon çukurlarının tabanında başlayabilir. Büyük bir sistemdeki bir çukur, o sistemin feci bir şekilde başarısız olmasına neden olmak için yeterli olabilir. Böyle feci bir başarısızlığın aşırı bir örneği yakın zamanda Meksika'da yaşandı. Kanalizasyon hattının üzerinden geçen benzin hattındaki tek bir çukur, Guadalajara'da 215 kişinin ölümüne neden olarak bir şehirde büyük bir tahribat yaratmaya yetti(URL-8, 2024).

2.2.3.5 Filiform Korozyon

Bu tür korozyon, kaplamaya nem nüfuz ettiğinde boyalı veya kaplanmış yüzeyler altında meydana gelir. Cilalar ve "çabuk kuruyan" boyalar, soruna en duyarlı olanlardır. Bir yan etkinin olmadığı saha deneyimi ile kanıtlanmadıkça kullanımlarından kaçınılmalıdır. Bir kaplama gerektiğinde, düşük su buharı geçirgenliği ve mükemmel yapışma özelliği göstermelidir. Katodik koruma kaliteleri nedeniyle karbon çeliği kaplamak için çinko bakımından zengin kaplamalar da düşünülmelidir.



Şekil 2.10: Filiform korozyon (URL-7, 2024)

Filiform korozyon normalde kaplamadaki küçük, bazen mikroskobik kusurlarda başlar.



Şekil 2.11: Endüstriyel uygulamalarda filiform korozyon örnekleri (URL-7, 2024)

Soldaki resim, kaynaklı bir tankta sızıntıya neden olan filiform korozyonu göstermektedir. Sağdaki resim, Atmosferik Test Sahasında bir kaplamanın altında oluşan "kurtçuk benzeri" filiform korozyon tünellerini göstermektedir.

Filiform korozyon, kaplamadan önce dikkatli yüzey hazırlığıyla, bu tür korozyona dayanıklı kaplamaların kullanılmasıyla ve kaplamadaki boşlukların veya deliklerin en aza indirilmesini sağlamak için kaplamaların dikkatli bir şekilde incelenmesiyle en aza indirilir.

2.2.3.6 Seçimli Korozyon

Seçilim korozyonu, bir metal yüzeyin diğer bitişik alanlardan metalurjik olarak farklı olan alanlarından kaynaklanır. Örneğin pirinç, "katı çözelti" içinde çinko ve bakır içeren bir alaşımdır. Çinko alaşımdan seçici olarak çıkarılarak bakırın geride kalmasıyla paslanabilir. Alaşımı gözenekli hale getirir ve mekanik özelliklerini tehlikeye atar. Pirinçte, sarı doğal

renginin kırmızımsı veya bakırımsı bir görünüm kazanmasıyla tanımlanabilir. Alaşımın dağılmasını önlemek için alaşıma az miktarda kalay eklemek faydalıdır.

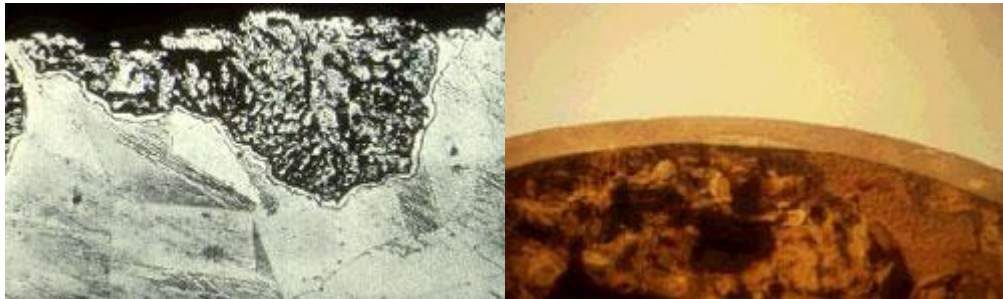
Bu tür seçimli "çinkosuzlaştırma" olarak bilinir. Dökme demirler, demirin seçici olarak aşınarak geride yumuşak bir grafit tabakası bırakacağı şekilde paslanabilir. Buna "grafitleşme" denir. Diğer örnekler, alüminyumdan arındırma, nikelden arındırma, dekobaltlaştırma, vb. olarak anılır, burada terimler, seçici olarak aşındırılan metalik elementi ifade eder.

Bir pirinç alaşımı için seçimli korozyon mekanizması şu şekilde açıklanmıştır:

- a) pirinç paslanır
- b) çinko iyonları çözeltide kalır
- c) bakır plakalar katı bir katman haline geri döner

Bu teorinin sorunu, korozyonun, bakır iyonunun plakadan çıkmadan önce süpürüleceğini tahmin ettiği yüksek elektrolit akış hızlarında bile meydana gelmesidir.

Yine pirinç için ikinci bir teori, çinkonun tercihen bir kafes yapısında bakırın arkasında bırakarak paslanmasıdır. Bir alaşımdaki daha az asil metalin tercihen saldırıya uğradığı ve matriste katodik ürünlerle değiştirildiği bir korozyon işlemi. Bunun en yaygın örneği pirinçte görülür ve çinkosuzlaşma olarak adlandırılır. Pirincin çinkosuzlaştırılmasında, alaşımın matrisindeki çinko saldırıya uğrar ve bakır kalır.



Şekil 2.12: Bakır ve gri dökme demir malzemeler üzerinde seçimli korozyon (URL-7, 2024)

2.2.3.7 Erozyon Korozyonu

Erozyon korozyonu, agresif bir kimyasal ortamın ve yüksek sıvı yüzeyi hızlarının bir kombinasyonunun sonucudur. Bu, aşağıda solda gösterilen petrol sahası kontrol vanasında olduğu gibi, sabit bir nesneden geçen hızlı sıvı akışının bir sonucu olabilir veya bir nesnenin sabit bir sıvı içindeki hızlı hareketinden kaynaklanabilir, örneğin: bir geminin pervanesi okyanusu çalkaladığında.



Şekil 2.13: Petrol sahası kontrol vanası ve iletim borusunda oluşan erozyon korozyonu (URL-7, 2024).

Erozyon korozyonuna uğrayan yüzeyler, diğer birçok korozyon biçimindeki yüzeylerin aksine, genellikle oldukça temizdir.

Erozyon korozyonu, daha sert alaşımların kullanımıyla (alevle püskürtülen veya kaynaklı sert kaplamalar dahil) veya daha korozyona dayanıklı bir alaşım kullanılarak kontrol edilebilir. Akışkan hızındaki değişiklikler ve akış modellerindeki değişiklikler de erozyon-korozyonun etkilerini azaltabilir.

Erozyon korozyonu genellikle metal yüzey üzerindeki koruyucu bir pulun veya kaplamanın aşınmasının sonucudur. Yukarıda sağda gösterilen petrol sahası üretim borusu, kuyudaki basınç çok fazlî sıvı akışına neden olacak kadar düştüğünde paslandı. Çöken gaz kabarcıklarının etkisi, boruların bağılı olduğu ve türbülansın daha fazla olduğu bağlantı yerlerinde hasara neden oldu.

Birçok kişi erozyon-korozyonun türbülanslı akışla ilişkili olduğunu varsayar. Bu doğrudur, çünkü tüm pratik boru sistemleri türbülanslı akış gerektirir- katmanlı (türbülanssız) akış korunursa sıvı yeterince hızlı akmaz. Hepsi olmasa da çoğu erozyon korozyonu, çok fazlî sıvı akışına bağlanabilir. Yukarıda soldaki çek valf, normalde aşındırıcı olmayan bir sıvıdaki kum ve diğer parçacıklar nedeniyle arızalandı. Sağdaki boru, gaz kabarcıklarının boru duvarına çarpması ve korozyonu sınırlayan koruyucu mineral ölçeğı yok etmesi sonucu oluşan basınç farkları nedeniyle arızalandı. (URL-7, 2024)

2.2.3.8 Gerilmeli/Stres Korozyon (SCC)

Gerilmeli korozyon, aşağıdaki eşik koşulları altında belirli alaşımlarda meydana gelir:

- a) Spesifik aşındırıcı ortam solüsyonu bileşimi
- b) Minimum çekme gerilimi seviyeleri
- c) Sıcaklık
- d) Metal bileşimi
- e) Metal yapı

Bazı gerilmeli korozyon örnekleri pirinç ve paslanmaz çelik alaşımlarıdır. Belirli pirinç alaşımları, amonyak içeren ortamlarda minimum eşik gerilme gerilimine ulaşıldığında çatlayacaktır. Paslanmaz çelik alaşımları amonyak ortamlarında çatlamaz, ancak klorür çözeltilerinde çatlar.

Gerilmeli korozyona yol açan koşulların etkileşimi iyi anlaşılmamıştır. Korozyonun, metal üzerinde bir çukur veya yüzey süreksizliğinin oluşmasına neden olduğuna ve bunun daha sonra bir stres yoğunlaştırıcı olarak işlev gördüğüne inanılmaktadır. Minimum eşik çekme geriliminin varlığı, korozyonla birleştğinde çatlağın ilerlemesine neden olur. Ek olarak, ilk

korozyon sırasında, çekme gerilmeleri yüzeydeki koruyucu filmlerin yırtılmasına ve böylece metalin aşındırıcı bir ortama maruz kalmasına neden olabilir.

Bu özellikle tehlikeli korozyon türü, çevresel faktörlerin veya döngüsel gerilimlerin sonucu olabilir. Aşağıdakiler başlıca kırma saldırısı türleridir:

- Korozyon yorgunluğu- aşındırıcı bir ortamda bulunması nedeniyle döngüsel yüklemeye maruz kalan bir metalin hızlandırılmış arızası.
- Gerilmeli korozyon çatlaması (SCC) - yüksek çekme gerilimi altındaki alaşımlarda meydana gelen korozyon kaynaklı çatlama. Çatlaklar yüzeyde başlar ve içe doğru gider. Gerilmenin soğuk işleme, şekillendirme veya harici yüklemenin sonucu olabileceğine dikkat edilmelidir.
- Hidrojen kırılabilirliği- tane sınırlarında atomik hidrojenin doygunluğu nedeniyle bir metalin sünekliğindeki kayıp. Yerel katodik bölgelerde meydana gelir ve stresle şiddetlenir ve hidrojen sülfid gibi bileşikler oluşturur.
- Sıvı metal çatlaması- eşzamanlı çekme gerilimine maruz kalan metaller ve belirli erimiş metaller bu tür çatlamaya maruz kalabilir. Cıva/bakır alaşımlı sistemlerde en yaygın olanıdır. (6)



Şekil 2.14: Gerilmeli korozyon (URL-7, 2024).

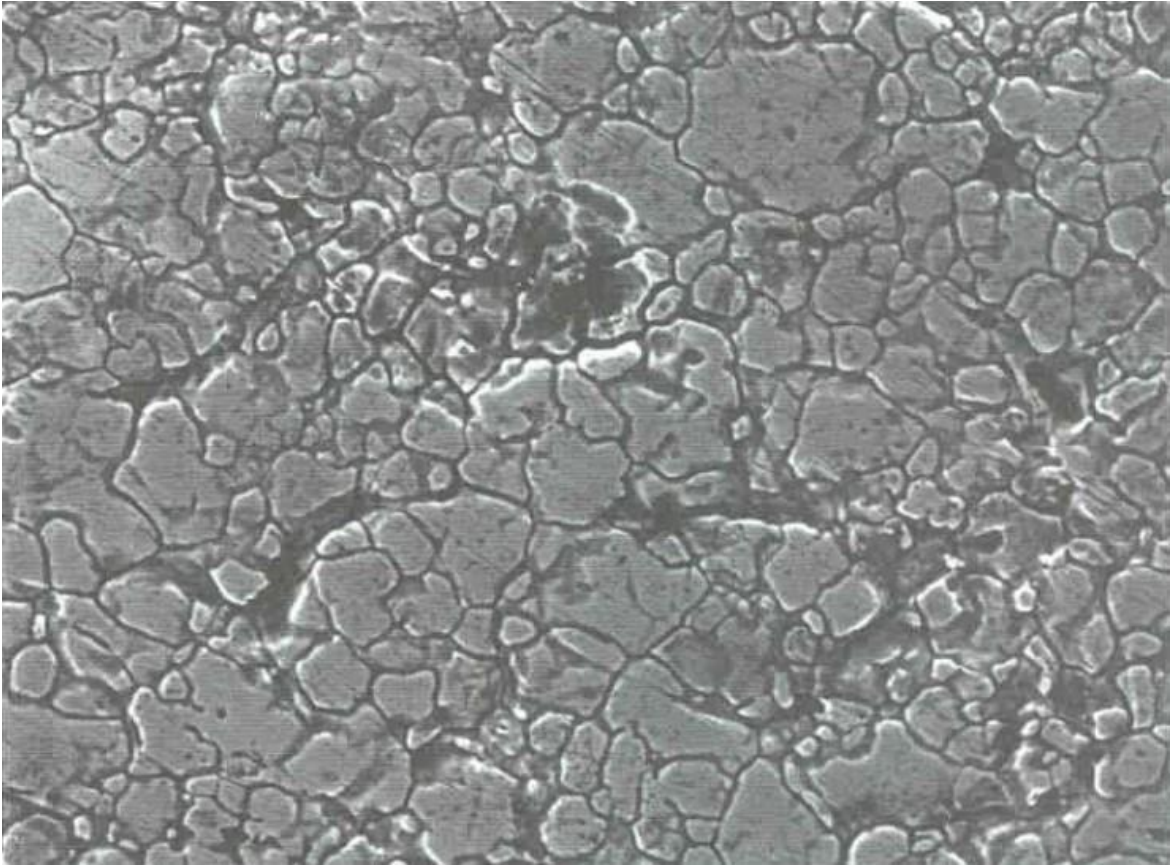
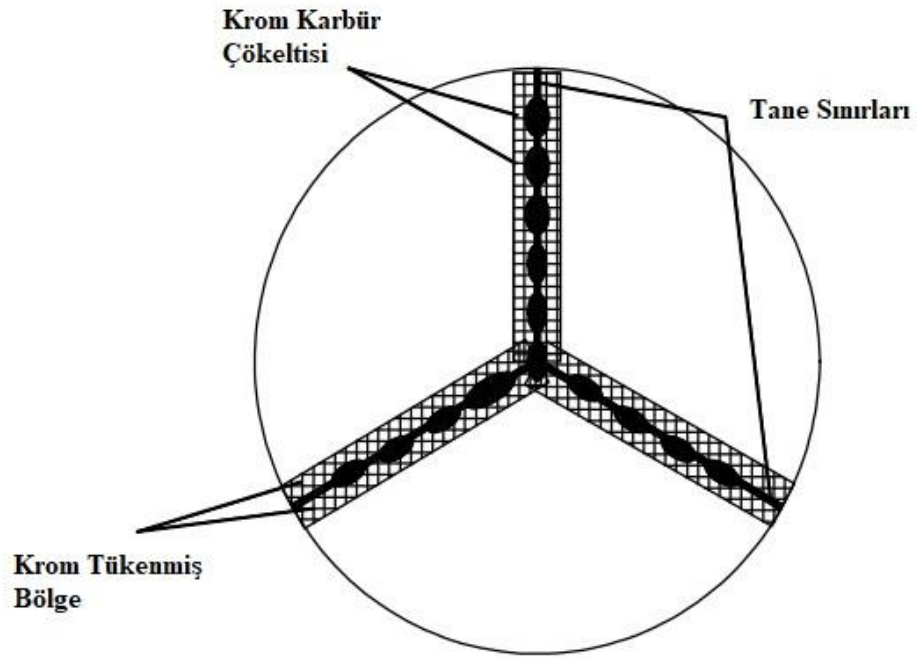
2.2.3.9 Tanelerarası Korozyon

Mikroskobik düzeyde, metaller ve alaşımları, tane adı verilen küçük, ayırt edilebilir bölgelere sahiptir. Tek bir tane içinde, atomik düzenlemenin yönü (kafes olarak adlandırılır) aynıdır. Tek tek tanelerin farklı yönelimleri vardır ve taneler arasındaki sınır tane sınırı olarak

adlandırılır. Normalde, tane sınırları korozyonda tanenin kendisinden daha reaktif değildir. Bununla birlikte, belirli koşullar altında, tane sınırları, alaşım elementlerinden birinin safsızlıkları ve/veya zenginleşmesi (veya tükenmesi) nedeniyle tanenin kendisinden değiştirilir.

Isıl işlem ve kaynak, metal bileşiminde taneler arası korozyona neden olabilecek değişikliklere yol açabilir. Şiddetli durumlarda, taneler arası korozyon, mekanik özelliklerde belirgin bir azalmaya yol açabilir ve aşırı durumlarda, metali tek tek tanelerden oluşan bir yığına dönüştürebilir.

Taneler arası korozyonun en yaygın örneklerinden biri paslanmaz çelikte görülür. Alaşımın kaynaklanması veya 950°F ila 1450°F sıcaklık aralığında ısıtılması sırasında, alaşım Şekil 15'de gösterildiği gibi hassaslaşır veya taneler arası korozyona duyarlı hale gelir. Krom karbür (Cr_{23}C_6) bu sıcaklık aralığında çözünmez ve taneden tane sınırına doğru çöker. Sonuç olarak, tane sınırına bitişik tane alanı kromdan arındırılır ve tanenin geri kalanına ve tane sınırına göre anodik hale gelir. Bu tükenmiş tane sınırı bölgesinin korozyonu çok şiddetlidir ve alaşımın normalde korozyona uğramadığı ortamlarda ve asitlerde meydana gelir. Paslanmaz çelik taneler arası korozyon probleminin en basit çözümü, karbon içeriği %0,03'ün altında olan alaşımları dökmektir. (Bu, krom karbür oluşumunu engeller ve krom çözeltide kalır).



Şekil 2.15: Tanelerarası korozyon

2.2.3.10 Aşındırma Korozyon

Hafif titreşimli hareketlere maruz kaldığında, temas halindeki yüksek yüklü metal yüzeyler arasındaki arayüzde meydana gelen hızlı korozyon, aşındırma korozyonu olarak bilinir.

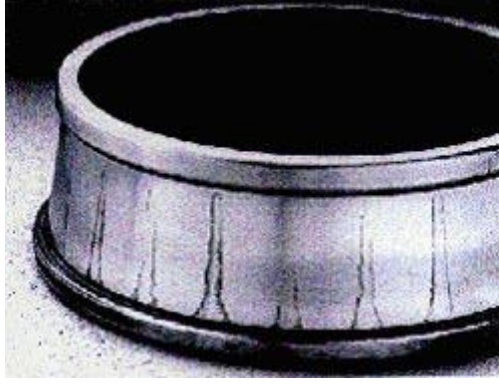


Şekil 2.16: Aşındırma korozyonuna uğramış çit direği (URL-7, 2024).

Şekil 2.16’da, bir çit direğinin ve rüzgarda sallanan ve direğe karşı aşınan tellerin sürtünme korozyonunu göstermektedir. Hem çit direği hem de bağlantı telleri aşındırma korozyonu yaşıyor.

Bu tür korozyon, en çok bağlantı çubukları, yivli miller ve yatak destekleri gibi makinelerdeki yatak yüzeylerinde görülür ve genellikle bir yorulma arızasına neden olur. Yüksek yüklü cıvataların kullanıldığı ve cıvatalı elemanlar arasında bir miktar göreceli hareketin meydana geldiği kafes kirişler gibi yapısal elemanlarda meydana gelebilir.

Temas eden yüzeyler, hava ile doğrudan teması engellemek için makine yatak yüzeylerinde olduğu gibi iyi yağlanabildiğinde sürtünme korozyonu büyük ölçüde geciktirilir.



Şekil 2.17: Aşındırma korozyonuna uğramış yatak yuvası (URL-7, 2024).

Yukarıdaki yatak yuvası, aşındırma korozyonunun klasik bir örneğidir. Bu, temas eden yüzeyler, hava ile doğrudan teması önlemek için makine yatak yüzeylerinde olduğu gibi iyi yağlanabildiğinde büyük ölçüde geciktirilir.

Büyük bir alüminyum parça (sol üstte) üzerindeki aşınma, döküntü birikintilerine yol açtı (sağdaki enine kesitlerde gösterilmektedir). İleri geri sürtünen titreşimli hareketler, yorulma korozyonu bölümünde gösterilen yorulma çatlaklarını da üretti (URL-7, 2024).

2.2.3.11 Biyolojik Korozyon

Biyolojik organizmalar metal saldırılarında önemli bir rol oynayabilir. Bu saldırı genellikle aşağıdaki iki başlıkta sınıflandırılır:

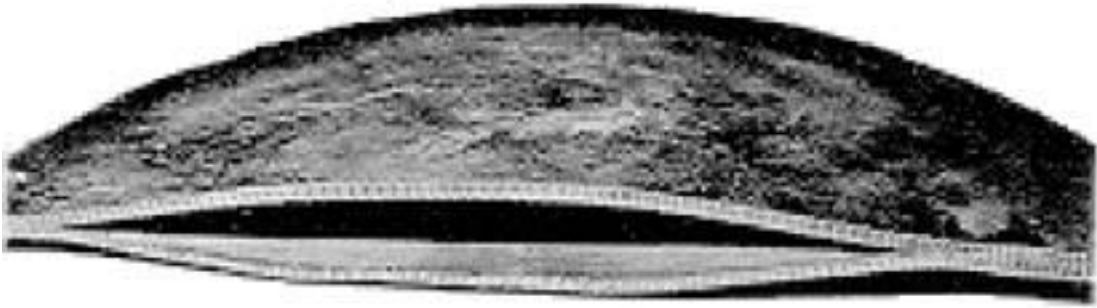
Mikrobiyal kaynaklı korozyon (MIC) - aerobik ve anaerobik bakteriler ve diğer mikroorganizmalar enzimler içerir ve korozyonu hızlandıran metabolitler üretebilir. Bu, metal yüzeyin oyuk tipi korozyonunda kendini gösterebilir.

Makro kirlenme etkileri - kısıpçalar, istiridyeler ve diğer makro kirleticiler, genellikle asidik olan ve korozyonu hızlandırabilen yan ürünler üretir. Bu organizmalar ayrıca bağlantı noktalarında çatlak korozyonuna yol açabilen çatlaklar oluşturur.

2.2.3.12 Hidrojen Kırılmalığı

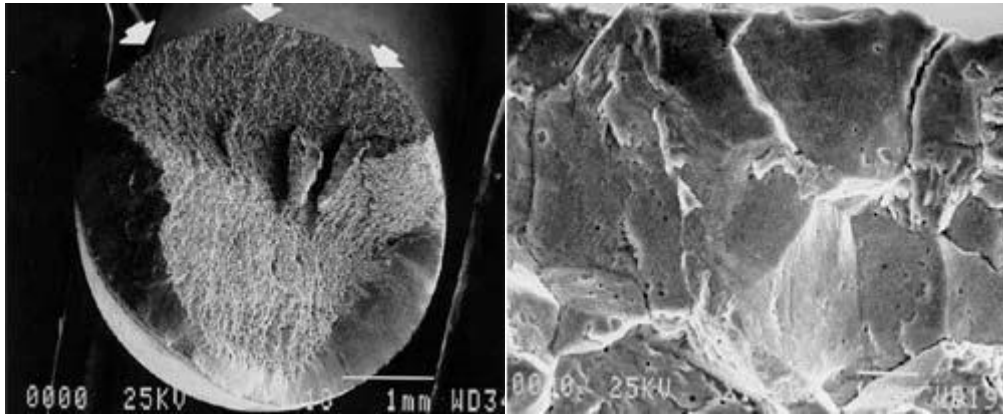
Hidrojen bir dizi korozyon sorununa neden olabilir. Hidrojen kırılmalığı, yüksek mukavemetli elik, titanyum ve diğler bazı metallerde görülen bir sorundur. Kontrol, çevreden hidrojeni ortadan kaldırmak veya dirençli alaşımlar kullanmaktır.

Bir metal katot üzerindeki indirgeme reaksiyonunun bir sonucu olarak hidrojen eliğle girdiğinde hidrojen kabarması meydana gelebilir. Tek atomlu yeni oluşan hidrojen atomları daha sonra, genellikle metaldeki inklzyonlarda veya kusurlarda başka bir atomla buluşana kadar metal boyunca yayılır. Ortaya çıkan iki atomlu hidrojen molekülleri daha sonra hareket edemeyecek kadar büyüktür ve kapana kısıılır. Sonunda, bir gaz kabarcığı oluşur ve aşağıdaki resimde gösterildiğı gibi metali parçalayabilir.



şekil 2.18: Hidrojen hasarına uğramış metal (URL-7, 2024).

Hidrojen kabarması, asidik ortamlarda korozyonu en aza indirerek kontrol edilir. Nötr veya kostik ortamlarda veya düşük safsızlık ve inklüzyon seviyelerine sahip yüksek kaliteli çeliklerde sorun değıldir.



şekil 2.19: Hidrojen destekli çatlamanın taramalı elektron mikroskobu altındaki görüntüsü

Şekil 2.19'daki taramalı elektron mikroskopunda yüksek büyütmede yapılan inceleme, hidrojen destekli çatlamanın (hidrojen kırılmalığı) taneler arası bölünme özelliklerini ortaya koymaktadır. (URL-7, 2024).

2.3 Yüzey Hazırlama

Herhangi bir koruyucu kaplama planının başarısı için uygun yüzey hazırlığı şarttır. Yağ, gres, eski kaplamalar ve yüzey kirleticilerinin (çelik üzerindeki hadde tufalı ve pas, beton üzerindeki şerbet ve galvanizli yüzeylerdeki çinko tuzları gibi) uzaklaştırılmasının önemi ne kadar vurgulansa azdır.

Hangi boya kaplama türünü seçerseniz seçin, kaplamanın performansı, kaplama yapmadan önce yüzeyin tam ve düzgün bir biçimde hazırlanmasına doğrudan bağlıdır. Her ne kadar pahalı ve teknolojik anlamda en son teknolojiye sahip olan kaplama sistemi kullanılıyor olsa da, yüzey hazırlama işlemlerinin yanlış veya eksik olması durumunda başarısız olur.

2.3.1 Kimyasal Yüzey Hazırlama

Yüzey hazırlama işlemlerinin kullanılmasının asıl sebebi, seçilen boya kaplamanın verimliliğini arttırmaktır. Uygun olan yüzey hazırlama işlemi, yüzey ile boya arasında iyi bir yapışma ve arttırılmış bir korozyon direnci sağlar. Metallerin ön terbiyesi sonraki uygulamalardan çok daha önemlidir. Yüzey yağ, pas veya oksidasyondan arındırılmadan, hatta boyama sistemi düzgün ve iyi çalışır durumda olmadan, uzun ömürlü, yüksek kaliteli ürünler elde edilmesi beklenemez. Kimyasal Yüzey hazırlama uygulamaları Şekil 20'de, genel yüzey işlem adımları ve amaçları Tablo 1'de gösterilmiştir. Yüzey ile boya arasındaki dış unsurlar yapışma performansını engelleyecek ve kaplama prosesi üzerinde olumsuz yönde etki oluşturacaktır (Mahoney, 2013).

Kimyasal yüzey hazırlama kaplamaları, bir yüzeyin korozyona karşı olan direncini arttırır ve yüzeydeki boya yapışmasını iyileştirir.



Şekil 2.20: Kimyasal yüzey hazırlama banyoları

Tablo 2.1: Genel Yüzey İşlem Aşamaları ve Amaçları [9].

YAYGIN YÜZEY HAZIRLAMA ADIMLARI (BANYOLAR)	AMAÇ
YAĞ ALMA Alkalik Temizleyiciler Asitli Temizleyiciler Solvent Daldırma	Yağ ve kirin temizlenmesi.
EROZYON Asitle Aşındırma	Demir ve kalamın (demir oksit içeren az miktarda çinko oksit ile) ve çıplak homojen yüzey korozyonu sağlar.
DÖNÜŞTÜRME Demir Fosfat Çinko Fosfat İnce bir çözünür tuz tabakası	Korozyon direncini artırmak için yapılan kimyasal reaksiyonlar.
PASİVASYON Krom Asit Çözeltisi Organik Reçine	Aktif tuzun birikmesi giderilir. Başlangıçta Kromik Asit Çözeltileri kullananlar, artık organik reçineler kullanıyor.
DURULAMA Ardışık her banyodan sonra	Bir önceki banyodan kalan kimyasalları bir sonraki banyoya taşımaktan kaçınmak için.

2.3.2 Mekanik Yüzey Hazırlama

Kumlama ya da kum püskürtme, Şekil 21'de gösterildiği gibi herhangi bir yüzeyi aşındırmak veya temizlemek için çok ince yapıdaki malzeme parçacıklarını yüksek hızda itme eylemini belirtmek için kullanılan bir terimdir. Eskiden en yaygın olarak kullanılan malzeme kumdu, ancak akciğer hastalığı, silikoz kumunun proste kullanılırken oluşturduğu tozun operatörler tarafından uzun süre boyunca solunmasından kaynaklandığından, artık onun yerine farklı malzemeler kullanılmaktadır. Çelik taneciği, ceviz kabuğu, bakır cürufu, toz halindeki aşındırıcılar ve hatta hindistan cevizinin dış kabuğunun parçaları gibi küçük, görece tek tip parçacıklar iş görecektir. Proses sırasında açığa çıkan tozun solunmasının tehlikeleri nedeniyle kum püskürtme, harici bir hava kaynağı, kişisel koruyucu giysi ve proses sahasına bu tozları çekmeye elverişli havalandırma sistemleri kullanılarak kontrollü bir şekilde uygulanır.



Şekil 2.21: Kumlama prosesi (URL-9, 2024).

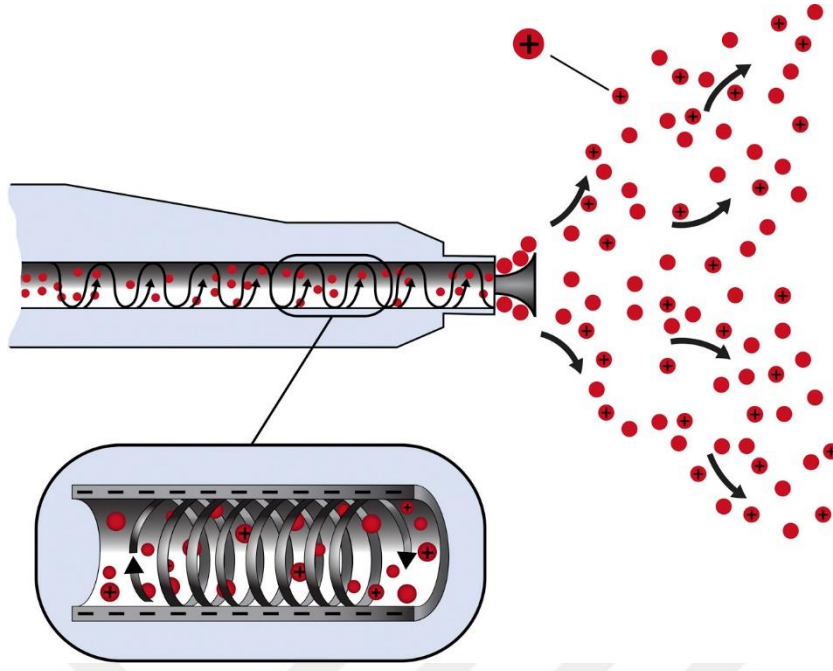
2.4 Elektrostatik Toz Boya

Son işlem endüstrisinin temel uygulaması olan kaplamalar, öncelikle, özellikle aşırı sıcaklık ve nemin olduğu ortam şartlarında metallerin korozyona uğramasını engellemek adına geliştirilmiştir. Artan verimlilik ve azalan işleme sürelerinin yanı sıra elektrostatik

kaplamanın sağladığı çevre ve yasal düzenlemelere uygun çalışma koşulları sebebi ile azalan maliyetler paha biçilmezdir. Son 45-50 yılda, elektronik ürünler için korozyona dayanıklı ve yarı iletken kaplamalar geliştirme, sıcaklık direncini iyileştirme, verimliliği daha da artırma ve estetik amaçlar için kaplama tabakasının görünümünü iyileştirme gibi diğer kaplama zorluklarını ele almak için geliştirme çabaları sürdü. Bu tekniğin, plastik, kağıt ve hatta ahşap gibi diğer alt tabakaların da işlenmesi için daha da geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu teknolojinin sahip olduğu geniş uygulama alanları sebebiyle, elektrostatik toz boyanın kullanımıyla ilgili olarak kayda değer miktarda bilgi mevcuttur. Çalışmanın bu bölümünde, elektrostatik toz boyanın ilkelerini, özellikle elektrostatik yükleme, film oluşumu ve bu filmin alt tabakaya yapışma mekanizmalarını özetlemeye hizmet edecektir.

2.4.1 Elektrostatik Prensibi

Toz parçacıkları iki sistem ile şarj edilebilir. Bunlar triboelektrik ve korona şarjıdır. Triboelektrik şarj, sürtünme ile oluşan yük birikimini belirtir. "Tribo-", teriminin kökü Yunanca "ovmak" anlamına gelen kelimeye dayanmaktadır. Bu yükleme mekanizması, birbirinden farklı iki yüzeyin temasından ya da sürtünmesinden, elektronların bir yüzeyden diğer bir yüzeye transferinden ve hemen ardından bu iki yüzeyin ayrılmasından, zıt yüklü yüzeyler veya yük ayrımından kaynaklanır. Triboelektrifikasyon, sac-metal üretim proseslerinde yaygın olarak incelenen bir fenomen olan toz işleme sırasında elektrostatik yük oluşumunun birincil mekanizmasıdır. Triboelektrik tabancalar, maksimum parçacık-tabanca duvar etkileşimlerini veya temaslarını kolaylaştıracak ve bu nedenle Şekil 22'de gösterildiği gibi akışkanlaştırılmış parçacıkların yük birikimini artıracak şekilde tasarlanmıştır. Tabanca duvarı genellikle, negatif yüklü olma eğiliminde olan ve pozitif yüklü parçacıklara yol açan PTFE'den oluşur; ancak, negatif yüklü parçacıklar isteniyorsa bu değiştirilebilir.



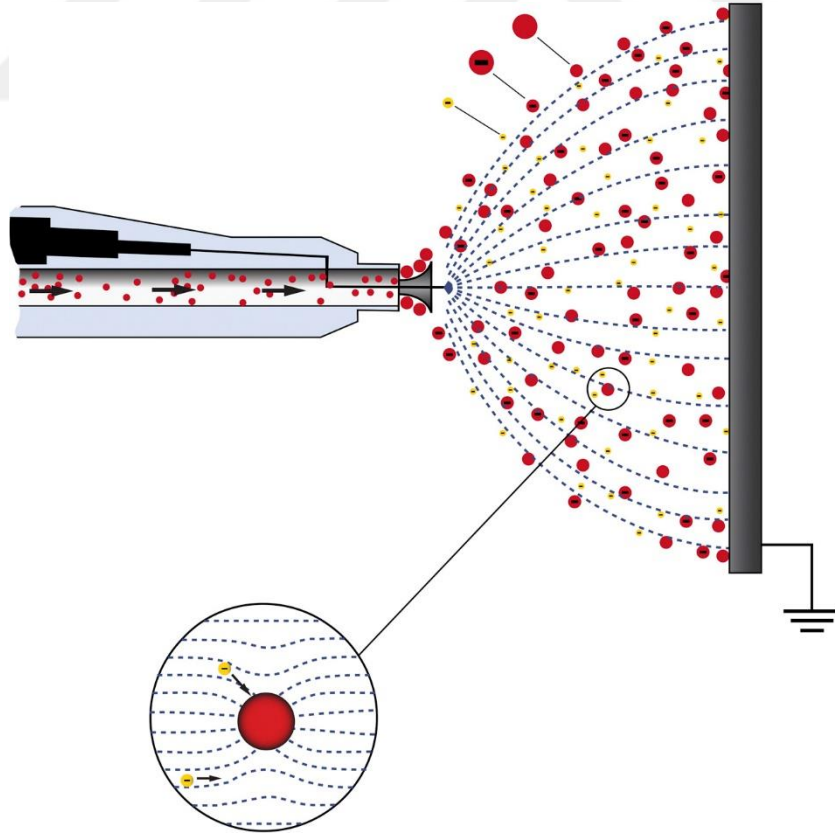
Şekil 2.22: Triboelektrik tabancanın şeması

Triboşarj son derece karmaşıktır ve tahmin edilmesi zor olabilir. Triboelektrik şarjdan parçacık yükü birikimi, başlangıçta metaller arasındaki temas şarjına dayanan bir iş fonksiyonu teorisi kullanılarak yaklaşıldı ve modelin yinelemeleri, elektrostatik kaplama işlemlerinde kullanılan yalıtım malzemelerinin şarjını daha iyi tahmin etmek için geliştirildi. Daha yakın zamanlarda, triboelektrik şarj sırasında yük transferini daha iyi modellemek için kavramlar ve teoriler hakkında kapsamlı bir inceleme sağlandı; bu nedenle, bu teoriler bu incelemede daha fazla tartışılmayacaktır. Triboşarj, çevresel koşullar (bağıl nem, sıcaklık), çarpışma sayısı ve temas süresi ve elektrik özdirenci (genel olarak gerekli olan $10^{12} \Omega\text{m}$ 'den büyük) ve yüzey pürüzlülüğü gibi parçacık özellikleri dahil olmak üzere çok sayıda faktörden güçlü bir şekilde etkilenir.

Korona şarjı, parçacıkların serbest iyonların varlığında bir elektrik alanından geçirilerek yüklenmesini tanımlar, bu duruma koronadeşarjı da denir. Bir koronadeşarjı, akımın, genellikle bir gaz aracılığıyla, yüksek potansiyelli bir noktadan nötr veya topraklanmış bir alt tabakaya aktığı ve işlemde yüksek potansiyelli bölgenin etrafında serbest iyonlar üreten bir süreçtir. Şekil 23'de gösterilmekte olan korona tabancası gibi bir korona kaynağı, genellikle oldukça eğimli bir çubuk olan bir elektrottan ya da en büyük potansiyel gradyanı oluşturmak için küçük çapa sahip bir tel ve serbest iyonlar üretmek için çevredeki gaz

moleküllerinden elektronları ayırmak için yüksek uygulanan voltajdan oluşur (genel olarak 60-100 kV).

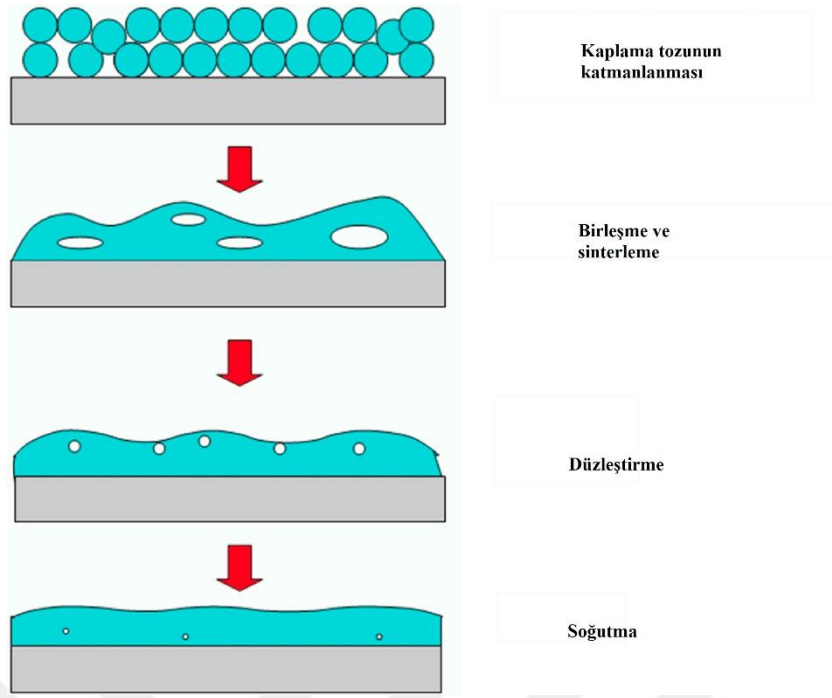
Yüksek potansiyele sahip yayan elektrot ile genel olarak bir silindir ya da plaka olan topraklanmış substrat arasındaki alan, deşarj olgusunu kolay hale getirmek için kuvvetli bir elektrik alanı oluşturur. Parçacıklar, serbest iyonların varlığında iki şekilde yüklenebilir. Bunlar alan yüklemesi ve difüzyon yüklemesidir. Elektrik alanına bir parçacığın dahil edilmesi, alanı değiştirerek, Şekil 23'ün ekinde gösterildiği gibi, serbest iyonların parçacığa yönlendirilmesi ve parçacık tarafından adsorbe edilmesiyle sonuçlanır; buna saha şarjı denir. Difüzyon şarjı, gazdaki iyonların rastgele hareketinden dolayı iyonlar ve parçacıklar arasındaki çarpışmalarla indüklenir. Difüzyon yüklemesi, bir elektrik alanının yokluğunda ve genel olarak çok küçük olan parçacık boyutlarında ($0,2\ \mu\text{m}$ 'den küçük) meydana gelme eğilimindedir. Korona deşarjının ürettiği kuvvetli elektrik alanı ve korona tabancalarıyla kullanılması adına tavsiye edilen parçacık boyutu aralığı ($1\text{--}100\ \mu\text{m}$) sebebiyle, alan şarjı, korona şarjı yöntemini kullanan elektrostatik toz boya kaplama prosesleri için en çok kullanılan yükleme sistemidir.



Şekil 2.23: Corona tabancasının şeması

2.4.2 Film Oluşturma Prensibi

Klasik çözücü temelli kaplama proseslerinde, çözücü ve çözücünün buharlaşması sırasıyla kalıcı olmayan bir plastikleştirici vazifesi görür ve film oluşumunun sağlanması için kılcal kuvvetler sağlar. Çözücünün olmadığı durumda, film oluşumu, Şekil 24'te gösterildiği gibi, öncelikle ayrı toz parçacıklarının birleşmesi ve birleşmiş parçacıkların düzgün bir film tabakası oluşturmak üzere dengelenmesiyle sağlanır. Biriken kuru toz, parçacık deformasyonunu ve çevreleyen parçacıklarla füzyonu desteklemek adına ısıya maruz bırakılır. Zamanla daha fazla parçacık bir araya geldikçe, film tabakasındaki serbest hacimde genel anlamda bir azalmaya sebebiyet veren boş alanlarda bir azalma olur; bu işleme ise tesviye işlemi denir. Tesviye diğer bir adı ile yayma işlemi, filmin nihai kalınlığının haricinde film tabakasının yüzeyinin pürüzsüzlüğünü de belirleyecektir. Yüzeyi kaplanan malzeme ısı kaynağından uzaklaştırıldığında, kaynaşmış ve düzleştirilmiş film tabakası yüzeyde nihai bir kuru film tabakası oluşturmak için sertleşecektir. Yukarıda açıklandığı gibi parçacıkların ısı ve kaynaştırma uygulamasıyla kürlenene polimerler, termoplastik polimerler olarak sınıflandırılır. Isıya ilave olarak ya da ısı haricinde farklı yöntemler ile kürlenene fazlaca başka polimer çeşidi vardır. Örnek olarak, termoset polimerler çoğunluklu olarak terbiye endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu polimer partikülleri birleşir, fakat ek olarak nihai film tabakasını ortaya çıkarmak için kimyasal çapraz bağlanmaya maruz kalır. Bu ısıyla sertleşen polimerlerin çoğu, daha az süren proses sürelerine izin vererek, onları elektronik ve otomotiv sektörlerinin de aralarında olduğu birçok yüksek verimli imalat sektörleri için arzulanan hale getirir. İlave olarak, serbest radikal veya UV polimerizasyonu vasıtasıyla film tabakaları oluşturabilen polimerler vardır. Bununla birlikte, bu kimyasal olarak reaksiyona giren polimerlerin birçoğu farmasötik uygulamalar için geçerli olmadığından, bu derlemede daha fazla tartışılmayacaktır.



Şekil 2.24: Kuru toz kaplama parçacıklarının film oluşum mekanizması.

Termoplastik polimerler için, partikül deformasyonu, malzemenin katı formdan sıvı forma geçtiği bir polimerin erime noktasında veya daha yukarıdaki sıcaklık değerlerinde ya da katının artan moleküler hareketliliğinin olduğu bir polimerin camsı geçişinin üzerindeki sıcaklıklarda görülmektedir. Kaplama proseslerinde kullanılmak için tercih edilen polimerlerin çoğunluğu sentetik veya yarı sentetiktir ve doğada amorf veya yarı kristal olma olasılığı daha yüksek olan nispeten büyük moleküler yapılardır. Bu nedenle, cam geçiş sıcaklığı, T_g , kürlenme prosesi için şartlar belirlenirken fazlaca dikkate alınır. T_g 'nin üzerindeki sıcaklıklarda, polimerin viskozitesi azalarak partikül deformasyonunun gerçekleşmesine izin verir. Yüksek moleküler ağırlıklı polimerler oldukça viskoz olma eğilimindedir ve partikül deformasyonunu ve birleşmesini kolaylaştırmak için T_g 'den açık bir şekilde daha yüksek sıcaklıklar gerektirebilir. Başka bir seçenek olarak, daha düşük kürlenme sıcaklıkları sağlamak adına T_g 'yi azaltmak için bir plastikleştirici eklenebilir. Partikül deformasyonunu sağlamak adına gerekli olan viskoziteye ilave olarak, partikül birleşmesini ve düzleşmeyi kolay bir biçimde gerçekleştirmek için artan yüzey enerjisine ihtiyaç vardır. Eriyik akışını teşvik etmek için plastikleştiricilerin kullanımında olduğu gibi, gerekirse yüzeyde oluşan gerilimi azaltmak adına kaplama materyaline çeşitli katkı maddeleri eklenebilir.

Polimer viskozitesinin, yüzey geriliminin ve partikül boyutunun, aşağıdaki denklemde de gösterildiği gibi, film birleşmesi için gereken süreyi etkilediği gösterilmiştir. Polimerin viskozitesi, polimerin moleküler ağırlığının ve filmi sertleştirmek için kullanılan sıcaklığın bir faktörüdür; sıcaklık ayrıca polimerin yüzey enerjisini de etkileyebilir.

Kuru toz kaplamada film birleşmesi için gereken süre

$$t = \frac{k_{\mu r}}{\gamma}$$

burada k bir sabittir, μ polimer viskozitesidir, r toz parçacığının yarıçapıdır ve γ yüzey gerilimidir.

2.4.3 Kürlenme Prensibi

Termoset toz malzemeler, gücü bir filme çapraz bağlamak için gereken kimyasal reaksiyonu üretmek için belirli bir süre boyunca uygulanan belirli miktarda termal enerji gerektirir. Toz malzeme ısıya maruz kaldığında eriyecek, düz bir filme akacak ve daha sonra nihai olarak tam sertleşmeye ulaşmadan önce kimyasal olarak çapraz bağlanmaya başlayacaktır. Tedavi için gerekli enerjiyi sağlamak için çeşitli yöntemler kullanılabilir.

Konveksiyonlu fırınlar, havayı fırın içindeki bir kanaldan dağıtmak ve sirküle etmek için bir ısı kaynağı (genellikle doğal gaz) ve fan kullanır. Isıtılan hava sırasıyla parçayı ve ardından kaplamayı ısıtır. Konveksiyonlu fırınlar, toz için kullanılan en yaygın kür fırın türüdür. Parça en yüksek sıcaklığa ulaştığında, ısıyı kaplamaya iletcek ve tozun sertleşmesine neden olacaktır.

Enerji kaynağı olarak gaz veya elektrik kullanan kızılötesi (IR) fırınlar, IR dalga boyu bandında radyasyon yayar. Bu yayılan enerji, kürleme sıcaklığına kadar tüm parçayı ısıtmadan tozun hemen altındaki toz ve substrat tarafından emilir. Bu, nispeten hızlı bir ısı artışına izin vererek tozun yeterli bir süre maruz kaldığında akmasına ve sertleşmesine neden olur. Parçalar bir IR fırında daha kısa sürede sertleştirilebilir, ancak parçanın şekli ve yoğunluğu sertleşme homojenliğini etkileyebilir.

Kombine fırınlar, tozu hızlı bir şekilde eritmek için genellikle birinci bölgede IR kullanır. Aşağıdaki konveksiyon bölgesi, tozu bozmadan nispeten daha yüksek hava akışlarını kullanabilir. Bu daha yüksek akışlar, daha hızlı ısı transferine ve daha kısa kürlenme süresine izin verir.

Yakın kızılötesi, ultraviyole (UV) ve elektron ışını (EB) dahil olmak üzere çeşitli radyasyon kürleme teknolojileri mevcuttur. Bu prosesler, ahşap, plastik parçalar ve ısıya duyarlı detaylara sahip birleştirilmiş bileşenler gibi ısıya duyarlı alt tabakaların toz boya ile kaplanması için yeni uygulamalar açma potansiyeline sahiptir.

UV ile kürleme, ultraviyole ışığa maruz bırakılarak kürlenebilen özel olarak formüle edilmiş tozlar gerektirir. Tozun UV enerjisine maruz kaldığında eriyebilmesi için önce yeterli ısıya maruz bırakılması gerekir; ilk ısı kaynağı tipik olarak kızılötesidir, ancak konveksiyonla ısıtma da kullanılabilir. Kaplama daha sonra bir UV lambasına maruz bırakılır. Kaplama malzemesindeki bir foto başlatıcı, UV enerjisini emer ve erimiş filmi birkaç saniye içinde sertleşmiş bir yüzeye dönüştürür.

Yakın kızılötesi kürleme ayrıca, toz kaplama ve kürleme sürecini birkaç saniye içinde tamamlamak için yüksek enerjili ışık kaynakları ve yüksek odaklı reflektör sistemleri ile birleştirilmiş özel olarak formüle edilmiş tozlar kullanır. İç contalar, hidrolik silindirler ve hava yastığı kutuları gibi ısıya duyarlı montajlı parçalar bu teknolojiye faydalanabilir. İndüksiyonlu fırınlar normalde film oluşumunu hızlandırmaya yardımcı olmak için toz kaplamadan önce parçaları önceden ısıtmak için kullanılır. Genellikle beton donatı ve gaz iletimi için kullanılan boruların kaplanması gibi füzyonla bağlı epoksi kaplama uygulamalarında kullanılırlar. Bu tür sistemler yüksek hat hızlarında çalışır. (URL-10, 2024).

2.4.4 Yapışma Prensibi

Son işlem endüstrisinin büyük çoğunluğu, metal yüzeylerin kaplama işlemleri için elektrostatik toz kaplamayı tercih eder; ancak bu, plastik ve ahşap malzemeler gibi alt tabakaların yüzey işlemlerini içerisine alacak şekilde genişledi. Yapışma, birbirine benzemeyen iki farklı yüzeyin bir arada tutulma derecesini veya eğilimini tanımlar. Yapışma, en dışta kaplama ile oluşan ince film tabakanın alt-tabakaya yarı-kalıcı veya kalıcı olarak yapışması ile alakalıdır. Kürlenme sonrası durum buna örnek olarak verilebilir. Polimerden

metale yapışmanın mekanizmaları, kimyasal bağlanma, mekanik kilitleme, sınır tabakası kuvvetleri ve elektrostatik etkileşimleri içerir. Mekanik kenetlenme, kaplamanın metal yüzey üzerindeki makroskobik gözeneklere nüfuz etmesi nedeniyle oluşur; sertleşme üzerine, metalin yüzeyi boyunca bu kenetlenme, kaplama sonrası yüzeyde oluşan tabakanın malzeme yüzeyine yapışma gücünü artırır. Mekanik olarak kaplamanın malzeme yüzeyine kenetlenmesini kolaylaştırmak adına, birçok metalin bu türde kuvvetli bir yapışma için gerekli olan pürüzlü bir yüzeyi elde etmek üzere aşındırıcı raspaya tabi tutulması gerekir.

Metal parçalara kimyasal olarak uygulanan ön işlemler, fonksiyonel grupları metalin yüzeyine hafif bir şekilde aşındırmak ve çöktürmek için yapılır. Fonksiyonel gruplar ile yapılan bu uygulama ilerleyen safhalarda yapışmayı güçlendirmek adına kaplama malzemesi ile kimyasal bağlar oluşturmak üzere kullanılabilme fırsatı sunar. Bu kimyasal işlemler krom, çinko fosfatlar, silanlar veya benzeri kimyasallar yardımı ile yapılabilir. Metal parçaların yüzeylerinin kaplanmaya başlandığı ilk yıllardan günümüze kadar kimyasal ön işlemler kullanılmış olsa da, çevreye dostu ve kaplamayı yapan operatörler için mümkün olan en az seviyede tehlike arz eden ön işlemleri belirlemeye yönelik geliştirme çabaları sürmektedir. Son iki adezyon mekanizması, sınır tabakası ve elektrostatik etkileşimler nispeten zayıftır ve genellikle mevcut olsa da, uzun süreli veya kalıcı adezyon için birincil mekanizmalar değildir.

Yapışma mukavemetini ölçmek sanıldığı kadar zor olabilir ve endüstri genelinde kullanılmakta olan farklı ölçme metodları vardır. Yapışma performansını ölçmek için erken dönem doğrudan ölçüm teknikleri, sıyırma testlerini ve bant sıyırma testlerini içeriyordu. Sıyırma testi, kaplamayı alt tabakadan sıyırmak için gereken kuvveti niceliksel veya niteliksel olarak ölçmektir. Bu test, farklı hızlarda ve açılarda yapılabilir; ancak doğru bir ölçüm yapabilmek için filmin uygulanan kuvvete karşı bozulmadan kalacak kadar kuvvetli olması gerekir. Bu test metodu, bir çekme testi aparatı ile beraber kullanılacak şekilde geliştirilmiştir. Bazen "scotch bant" testi olarak adlandırılan bant sıyırma testi, malzeme yüzeyindeki film tabakasına uygulanan yapışkan bir bant kullanılan sıyırma testinin bir türüdür. Yüzeye uygulanan bant yapıştırılıp bir süre bekletildikten sonra sıyırılır ve testin uygulandığı yüzeyde gözlemler yapılır. Bu testin, kullanılan bandın özellikleri ve kaplamanın olduğu yüzeye tekrar tekrar yapışma yeteneğine sahip olarak üretilmesi dahil olmak üzere, yapılan testin sonuçlarını etkileyebilecek çok sayıda faktörü vardır, bu da bu

testin, sahip olduğu yeteneklere göre niteliklerini arttırır. Yapışma mukavemetini nicel olarak ölçmek adına bir çekme testi geliştirilmiştir, bu sayede kaplama tabakasına bir test çivisi takılmıştır. Test  ivisi daha sonra bir çekme testi aleti kullanılarak üst düzey kontrollü koşullarda çekilir ve kırılmaya kadar olan kuvvet ölçülür.

Özellikle ince film kaplamalarda, yapışma mukavemetini ölçmek için birden fazla yüzey karakterizasyon tekniği oluşturulmuştur. Polimer yapışması üzerine nispeten yakın tarihli bir incelemede bu yöntemlerin çoğunu özetledi. Özetlenen yöntemler arasında X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS), uçuş süresi ikincil iyon kütle spektrometresi (ToF-SIMS), ikincil elektron mikroskobu (SEM), zayıflatılmış toplam yansıma kızılötesi spektroskopisi (ATR-IR), atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve diğer mikroskopi teknikler yer alır. Kaplamaların yapışma mukavemetini test etmek için kullanılan kapsamlı bir yöntem listesi ayrıca Paint and Coating Testing Manual: 15. baskı (Koleske, 2012) ve Adhesion Measurements Methods: Theory and Practice (Lacombe, 2005) belgelerinde bulunabilir.

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Kazel, Abdulkerim (2020), toz boyanın galvanizli sac yüzeyine tutunma performansını iyileştirmek için kaplama öncesi pasivasyonun etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışmada seçmiş olduğu numunelere formik asit, sitrik asit ve nitrik asit çeşitleri ile pasivasyon işlemi yaptıktan sonra elektrostatik toz boya kaplama uygulaması yapmıştır. Daha sonra numunelere toz boyanın yapışma performansını ölçmesine yardımcı olacak testler uygulamış olup bulguları değerlendirmiştir.

Shibli vd., (2010) fosfatlama işleminin, korozyona karşı korunma ve toz boyanın daha iyi yapışması için astar amacı ile kullanılan en önemli kimyasal ön işlemlerinden biri olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada sıcak daldırma galvanizli çinko yüzey üzerine nano TiO₂ içeren bir fosfat kaplama uygulamışlardır. Yaptıkları ön çalışmalarda elde ettikleri sonuçlara dayanarak, fosfatlama kimyasal banyosuna eklenen nano TiO₂ miktarı, 0,1 g olarak belirlemişlerdir. TiO₂ eklenmesi ile, fosfatlama uygulaması sırasında çinko çözünme derecesini belirgin bir şekilde azaltmış ve beklenen kaplama ağırlığını normaline göre nispeten hızlı bir şekilde oluşmasını sağlamışlardır. Ayrıca normal fosfat kaplama kalınlığına göre daha fazla kalınlıkta bir kaplama kalınlığı yakalamışlardır. TiO₂ birleşmesi, büyük kristal boyutu ve daha fazla yüzey kaplaması ile iyi kristalleşmiş bir fosfat kaplaması ile sonuçlandırmışlardır. Elektrokimyasal analizden edinilen sonuçlar ile TiO₂ içeren bir fosfat kaplamanın normal fosfat kaplamalar üzerinde daha iyi bariyer koruma karakteristikleri ve korozyon direncinin daha iyi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sevil, Buket (2020), özellikle galvanizli sac ve alüminyum metal yüzeylerin korozyon direncini ve boyanabilme özelliğini arttırmak adına kromat kaplama yerine daha çevreci, yenilikçi ve endüstriye kolay adapte olabilecek bir yöntem geliştirilmesi gerektiğini düşünmüş ve bu alanda çalışmalar yapmıştır. 3 farklı silan içere çözelti sol-jol yöntemi kullanılarak hazırlamıştır. Bu çözelti boya kaplama öncesi galvaniz çelik ve alüminyum metal yüzeylere uygulamıştır. Seçilen uygulamanın karşılaştırılması yapılabilmesi için fosfat bazlı yüzey hazırlamaya tabi tutulmuş numuneler hazırlamıştır. İki numune grubunu uygulamalardan sonra test etmiş olup yeni bulunan yöntemi mevcut yöntemler ile kıyaslamıştır. Yapılan testlerin sonucu olarak bu yeni yöntemin mevcut fosfat içeren yüzey hazırlama yöntemine yakın sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmıştır.

Yılmaz, Merve (2010), elektrostatik toz boya kaplamanın korozyon direncini arttırmak adına toz boya kaplama prosesi öncesi farklı kimyasal yüzey hazırlama teknikleri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Yapılan bu çalışmada Demir-Fosfat, Çinko-Fosfat ve bir nano kaplama türü olan Oksilan ile numuneler üretmiş ve bu numunelere ilgili testleri uygulamıştır. Uygulama sonucunda gerekli analizleri yapmış olup optimum kimyasal yüzey hazırlama metodunun hangisi olduğuna karar vermiştir.

Kızılkaya ve Gizli (2018), kromatlı ve kromatsız yüzey hazırlama işlemlerinin boyalı yüzeylerin performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Ayrıca, sıcak daldırma galvaniz ve alüminyum substratlarında kromatlı ve kromatsız ön işlemlerin neden olduğu farklı yüzey yapılarının morfolojik ve kimyasal özelliklerini de karşılaştırmıştır. XPS ölçümleri sonucunda, kromatlı ön işlemten sonra yüzeyde Al-Cr kompleks oksitler oluşurken, kromatsız ön işlemten sonra polimerik yapı oluşmuştur. Kromatlı ve kromatsız ön işlemler sonucunda alüminyum yüzeylerde yapışma ve korozyon direnci açısından önemli bir fark gözlenmemiştir. Öte yandan, kromatlı ön işlemle boyanmış sıcak daldırma galvaniz kaplı malzeme yüzeyinin daha iyi yapışma ve daha yüksek korozyon direnci gösterdiğini ortaya çıkardılar.

Maliyetlerin en önemli konu hale geldiği günümüzde, endüstride kullanılan ürünlerin yaşam sürelerini arttırmak ve bakım maliyetlerini azaltmak adına günümüze kadar üretim aşamalarında çeşitli araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır ve hala da yapılmaya devam edilmektedir.

Özellikle zorlayıcı dış ortam şartlarında kullanılan endüstriyel ürünlerin korozyona karşı direncini arttırmak için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bir tanesi ise elektrostatik toz boya kaplama yöntemidir. Tek başına elektrostatik toz boya kaplama korozyona karşı bir direnç sağlasa da zorlu şartlar karşısında yeterli gelmemektedir. Bu nedenle elektrostatik toz boya kaplamanın hem korozyona karşı direncini hem de mekanik dayanımını arttırmak için toz boyanın yapışma performansını arttırmak gerektiği anlaşılmıştır. Bunun için çeşitli yöntemler denenmiştir.

Bu çalışmada, elektrostatik toz boya kaplamanın galvanizli sac, DKP sac ve alüminyum gibi endüstride birçok alanda yaygın olarak kullanılan çeşitli metallerin korozyona karşı olan direncini arttırmak ve toz boyanın bu metallerin yüzeyine yapışma performansını arttırmak

adına bir nano kaplama çeşidi olan zirkonyum kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmanın performansını kıyaslayabilmek adına herhangi bir kimyasal yüzey hazırlama yapılmamış numuneler ile birlikte toz boya kaplama sektöründe klasik bir yöntem olan demir-fosfat içerik kimyasal yüzey hazırlamaya tabi tutulmuş numuneler hazırlanmıştır.

Yapılan bu çalışma ile elektrostatik toz boya kaplama uygulamasını geliştirmeye yönelik literatüre yeni bir çalışma daha eklenmek istenmiştir.



4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmanın bu aşamasında deneylerin yapılabilmesi için farklı materyallerden farklı metotlar ile numuneler hazırlanmış ve sonuca varılabilmesi için bu numunelere ilgili testler uygulanmıştır.

4.1 Materyal

Yapılan bu çalışmanın endüstriye faydalı olması açısından imalat sektöründe en yaygın olarak kullanılan ve aşağıda özellikleri belirtilen DKP, galvanizli sac ve alüminyum olmak üzere 3 farklı materyalden 2mm kalınlığında 200x60mm ölçülerinde numuneler hazırlanmıştır. Yüzey hazırlama aşamalarında ise 2 farklı kimyasal kullanılmıştır.

Alüminyum:

Çalışmada aşağıda kimyasal kompozisyonu verilen ve EN 485-515-573 standartlarına göre üretilen 5754 alaşımlı alüminyum plakalar kullanılmıştır.

Fe (Demir): %0,3-0,5

Si (Silisyum): %0,3-0,5

Mn (Mangan): %0,4-0,6

Cr (Krom): %0,2-0,4

Ti (Titanyum): %0,1-0,2

Cu (Bakır): %0,05-0,15

Mg (Magnezyum): %2,6-4,2

Zn (Çinko): %0,1-0,3

Diğer: %0,15

Al (Alüminyum): %93-95,8

Galvanizli Sac:

Galvanizli sac olarak aşağıdaki kimyasal kompozisyona sahip ve EN 10346:2015 standardına göre üretilen DX51D+Z kalitesinde sac tercih edilmiştir.

C (Karbon): %0,05-0,1

Mn (Mangan): %0,25-0,3

P (Fosfor): %<0,01
S (Kükürt): %0,01-0,02
Si (Silisyum): %0,01-0,02
Al (Alüminyum): %0,05-0,06
Ti (Titanyum): %<0,01

DKP:

DKP sac numunesini üretmek için S235JR kalitesinde ve EN 10025-2:2019 standardına göre üretilen sac tercih edilmiştir. Kompozisyonu aşağıdaki gibidir.

C (Karbon): %0,03-0,05
Si (Silisyum): %0,03-0,05
Mn (Mangan): %0,1-0,2
P (Fosfor): %<0,01
S (Kükürt): %0,01-0,02
Ni (Nikel): %0,01-0,02
Cr (Krom): %0,05-0,06
Mo (Molibden): %0,01-0,02
V (Vanadyum): %<0,01
Cu (Bakır): %0,3-0,4
Al (Alüminyum): %0,02-0,03
Ti (Titanyum): %<0,01
Nb (Niyobyum): %<0,01
N (Azot): %<0,01

Demir Fosfat:

Fosforik asit ve inorganik tuz karışımı yapısında olan demir fosfat, berrak bir sıvı görünümündedir. pH derecesi 4,0 olan bu kimyasal karışım su ile her oranda çözülebilmektedir. Karışımın içerisindeki bileşen oranları aşağıda verilmiştir.

Sodyum Klorat: <%10
Ortofosforik Asit: <%10
Sodyum Asit Pirofosfat: <%10

Sodyum Lauril Eter Sülfat: <%10

Sodyum Hidroksit: <%10

Zirkonyum:

Zirkonyum nano kaplama çelik, galvaniz ve alüminyum yüzeylerde, mükemmel korozyon dayanımı sağlaması için formüle edilmiş, bir kaplama malzemesidir. Zehirli ağır metaller içermeyen bu kaplama, konvansiyonel mevcut sprej sistemlerde uygulanabilmektedir. Düşük sıcaklık seviyelerinde yüksek kalitede zirkonyum film kaplaması oluşturulabilmektedir. Zirkonyum kaplama yapıldıktan sonra herhangi bir pasivasyon ihtiyacı oluşmamaktadır. Birden fazla metal yüzeyde kullanılabilmesi, proseste farklı metaller için farklı banyolar oluşturma zorunluluğunu ortadan kaldırarak yerden ve zamandan kazanım sağlamaktadır.

Sıvı formda şeffaf bir görünüme sahip ve pH değeri 1.4-1.9 aralığında olan zirkonyum bazlı nano kaplama su ile karıştırılarak pH değeri 4.4-5.2 aralığında bir banyo elde edilerek kullanılır. Zirkonyumun bazlı nano kaplamanın bu karışımdaki oranı hacimce %2-3 şeklinde olmalıdır. Karışımın uygun performans gösterebilmesi için çalışma sıcaklığının 15°C-46°C arasında olması gerekmektedir.

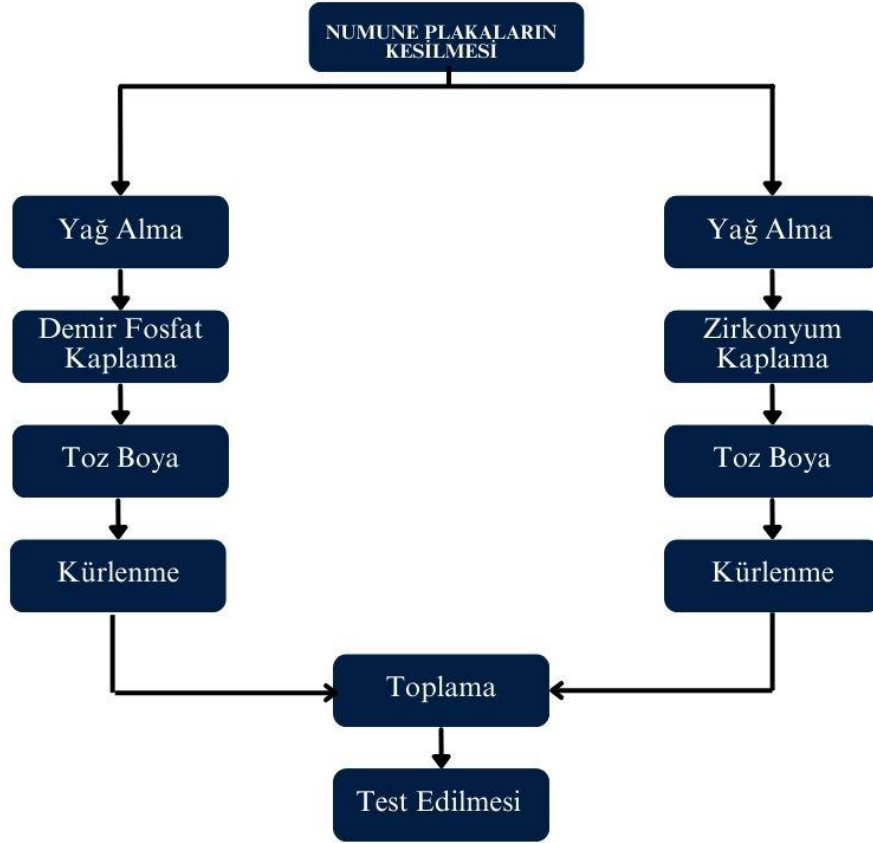
Toz Boya:

Toz boyalar küratifler, pigmentler, tesviye maddeleri, akış değiştiriciler ve diğer katkı maddeleri ile birleştirilmiş polimer reçine sistemlerine dayanmaktadır. Bu bileşenler eritilerek karıştırılır, soğutulur ve un ununa benzer şekilde tekdüze bir toz halinde öğütülür (URL-11, 2024). Bu çalışmada tercih edilen toz boya, fırın kürlendirmeli polyester reçine ile yapılan ve özellikle dış ortam uygulamaları için tasarlanmış, UV ışınlarına ve sararmaya dirençli renk ve parlaklık kaybı yaşamayan bir toz boyadır. Yayılma özelliği mükemmel olan bu boya parlak bir görünüme sahiptir. Boya yoğunluğu 1.5-1.8 gr/cm³'dür.

4.2 Metod

Deneysel çalışmanın akış şeması Şekil 25'te verilmiştir. Deneysel çalışmalar kablo kanalı sektöründe son ürünün üzerine yapmış olduğu elektrostatik toz boya kaplamanın öncesinde

demir fosfat kaplama uygulayan bir firmanın boyahane bölümünde gerçekleştirilmiştir. Kaplama ve testlerin bir kısmı firma bünyesinde yapılırken bazı testler ise toz boya tedarik firmalarının bünyesindeki test merkezlerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler üç malzeme grubunda iki paralel numune olarak çalışılmıştır.



Şekil 4.1: Akış şeması

Numunelerin Hazırlanması:

Deneyisel çalışma yapılacak numune parçalar tesis bünyesinde bulunan ve Şekil 26’da gösterilen MEKOTEK marka hava ve oksijen ile kesim yapabilen lazer kesim makinesinde Şekil 27’de gösterildiği gibi 60x200mm ölçülerinde kesilmiştir.



Şekil 4.2: MEKOTEK lazer kesim makinesi



Şekil 4.3: Deneysel çalışma yapılacak numuneler 1) Pregalveniz 2) DKP 3) Alüminyum

Lazer makinesinde kesilen 60x200mm ölçülerindeki parçalar kaplama uygulamalarının yapılabilmesi için işletmenin boyahane tesisine gönderilmiştir. Pregalvaniz, DKP ve alüminyum olmak üzere 3 grupta iki paralel numune şeklinde hazırlanan parçalardan demir fosfat kaplama uygulanacak parçalar elektrostatik toz boya kaplama sisteminde bulunan ön işlem tankında hali hazırda kullanıldığı için direkt olarak Şekil 28'deki gibi konveyör banda asılmış ve Şekil 4.4'de gösterildiği gibi demir fosfat kaplama uygulaması yapılmıştır.



Şekil 4.4: Konveyör bandına asılan deney numuneleri



Şekil 4.5: Demir fosfat uygulaması

Zirkonyum nano kaplama uygulanacak numuneler için ise daldırma yöntemi kullanılacağı için Şekil 30'daki gibi yağ alma ve zirkonyum nano kaplama banyoları hazırlanmıştır. Banyo hazırlanırken karışımdaki zirkonyum oranı %2-3 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Hazırlanan banyoya numuneler daldırılarak yüzey işlemi yapılmıştır. Ürünlerin yağ almada bekleme süresi 1 dakika, zirkonyum nano kaplamalı karışımın olduğu banyoda bekleme süresi ise 45 saniyedir. Banyodan çıkarılan numuneler taze su ile durulandıktan sonra Şekil 4.5'deki gibi konveyöre asılmıştır.



Şekil 4.6: Yağ alma ve zirkonyum nano kaplama banyosu



Şekil 4.7: Elektrostatik toz boya kaplama için konveyöre asılan parçalar

Numune plakalar konveyör yardımı ile boyama işleminin yapılacağı kabine alındı ve Micron marka corona tabanca ile toz boyanın bütün yüzeylere homojen bir şekilde yayılacak şekilde toz boya ile Şekil 4.7’de görüldüğü gibi kaplandı.



Şekil 4.8: Elektrostatik toz boya kaplama uygulaması

Boyanan parçalar 200°C'deki fırında 15 dakika boyunca tutularak kurlenmesi sağlandı. Kurlenme işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 33'teki gibi kaplanmış bir şekilde fırından çıkan parçalar konveyörden alınarak hava ile soğuması için dış ortamda bekletildi. Bu adımla birlikte numune parçaların kaplama işlemi tamamlanmış oldu. Parçalar için test aşamasına geçildi.



Şekil 4.9: K r lenmiş şekilde fırından çıkan parçalar

Numunelere Uygulanacak Testler:

Numuneye TS EN ISO 12944- Boyalar ve Vernikler-  elik yapıların koruyucu boya sistemlerinin korozyona karşı korunması standardına uygun değerlendirilecektir. Bu standart, karbon veya düşük alaşım çeliğinden mamul yapıların aşağıdaki tiplerini ve yüzey hazırlama sistemlerini kapsamaktadır: (URL-12, 2024).

- Kaplanmış yüzeyler
- Çinko, alüminyum ve bunların alaşımları
- Termal püskürtme suretiyle hazırlanmış yüzeyler
- Sıcak daldırma ve galvanizlenmiş yüzeyler
- Elektrolize  inko kaplanmış yüzeyler
- Sherardize yüzeyler

- Fabrikada astarlanmış yüzeyler
- Diğer boyanmış yüzeyler

Bu standart, muhtelif yüzey hazırlama sınıflarını tanımlar. Boyanın veya verniğin uygulanacağı taban malzemenin yüzey hazırlama işleminden önceki durumuyla ilgili kriterleri vermemektedir.

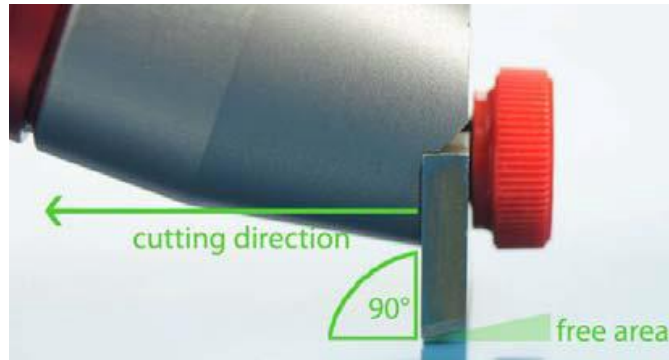
TS EN ISO 2409 / DIN 53151 / ASTM D3359 / BS 3900 – Çapraz kesme deneyi:

Elektrostatik toz boya ile kaplanan numune plakalar TS EN ISO 2409 standardı kapsamında imal edilen alet ile test edildi. Test aletinin özel kesme bıçakları mevcuttur. Yapılan malzeme ve boya kalınlığına uygun diş aralığına sahip özel kesme bıçağı aletin ucuna takıldı.



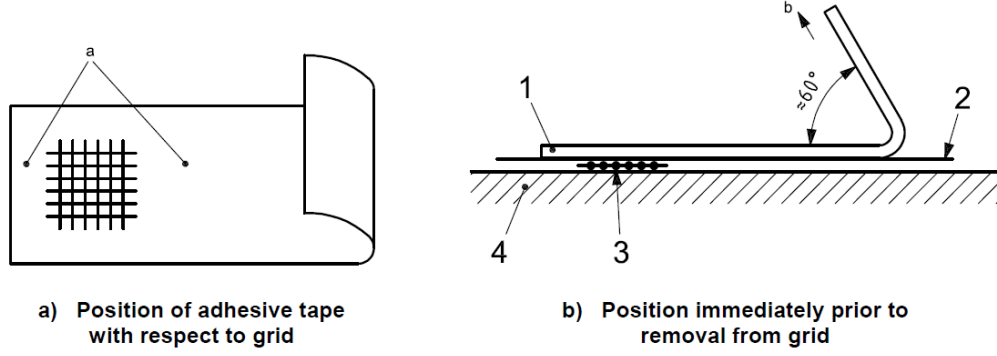
Şekil 4.10: Cross-cut testi bıçak pozisyonu

Test etmeden önce boyalı yüzey fırçalandı ve temiz bir bez ile silindi. Kesme aleti, bıçak test panelinin yüzeyine dik olacak şekilde Şekil 4.10'da uygun gösterilen pozisyonda tutuldu. Düzgün ve eşit basınç ile kesme aletinin kaplama da Şekil 4.10'de gösterildiği gibi dik olacak şekilde iki yönde çizgiler çizildi. Bu çizikler örgü deseni şeklinde olduğu görüldü ve tüm kesiklerin alt tabakaya nüfus ettiği kontrol edildi.



Şekil 4.11: Cross-cut bıçak tutuş şekli

Ortaya çıkan işlem sonrasında boyalı yüzeyin üzerine 75mm yapışkanlı özel test bandının merkezi örgü deseninin merkezine gelecek şekilde yapıştırıldı. Kaplama ile iyi temas sağlamak için, bandı bir parmak ucu veya tırnak ile sıkıca ovalandı. Bandı uyguladıktan sonra 5 dakika içinde Şekil 4.12’de gösterildiği gibi 60 derece serbest ucu kavrayıp 0,5-1 saniye içerisinde yüzeyden çekerek çıkartıldı.



Şekil 4.12: Bant tutuş açısı

Yapılan bu adezyon etkinliği sonunda metal yüzeyden kopup bant üzerinde kalan parçalar ile referans olan değerlendirme tablosu ile karşılaştırılarak yaparak sınıflandırma yapıldı.



Şekil 4.13: Cross-cut test cihazı görseli

Çapraz kesme testinin değerlendirme tablosu Şekil 4.12’deki tabloda verilmiştir. (URL-13, 2024).

Sınıf		Tanım	Pullanma olayının gerçekleştiği çapraz kesim yüzeyinin görünümü (6 paralel kesim için örnek)
ISO	ASTM		
0	5B	Kesimin kenarları tamamen pürüzsüzdür: kafesin karelerinin hiçbiri ayrılmaz	
1	4B	Kesiklerin kesişme noktalarında kaplamanın küçük pullanması. Bir çapraz kesimin % 5'inden fazlasını etkilemez.	
2	3B	Kaplama, kenarlar boyunca ve / veya kesiklerin kesişme noktalarında pullanır. % 5'ten büyük, ancak % 15'ten küçük bir çapraz kesim alanı etkilenir.	
3	2B	Kaplama, kesiklerin kenarları boyunca kısmen veya tamamen büyük şeritler halinde pullanmış ve / veya kısmen veya tamamen karelerin farklı bölümlerinde pullanmıştır. % 15'ten büyük, ancak % 35'ten küçük bir çapraz kesim alanı etkilenir.	
4	1B	Kaplama, kesiklerin kenarları boyunca büyük şeritler halinde pullanmış ve / veya bazı kareler kısmen veya tamamen ayrılmıştır. % 35'ten büyük, ancak % 65'ten küçük bir çapraz kesim alanı etkilenir.	
5	0B	Sınıflandırma 4 ile sınıflandırılmayacak kadar çok pullanmış herhangi bir derece.	

Şekil 4.14: Cross-cut testi değerlendirme tablosu

EN ISO 6272-1/ ASTM D2794 – Darbe Testi- Organik kaplamaların hızlı deformasyon etkilerine direnci için standart test yöntemi:

Elektrostatik toz boya ile kaplanan numune plakalar EN ISO 6272-1 standardı kapsamında imal edilen alet ile test edildi. Boyalı plakalar test cihazının uygun alanına yerleştirildi. Belirli bir ağırlığın belirli bir yükseklikten bırakılması ile plaka üzerinde düşen ağırlık ile ters olarak bir çukurluğun oluştuğu görüldü. Plaka üzerinde oluşan darbeye bağlı çatlakların durumu darbenin etkisiyle metal yüzeyindeki toz boyada oluşan deformasyon durumu standartların belirttiği şartlara uygun bir şekilde değerlendirildi. (URL-14, 2024). Şekil 4.15'de örnek olarak test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.15: EN ISO 6272-1 Darbe Testi

EN ISO 9227 -Sprey Tuz Testi:

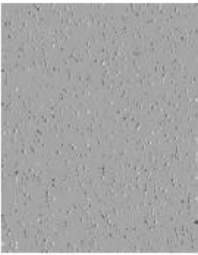
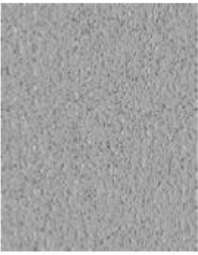
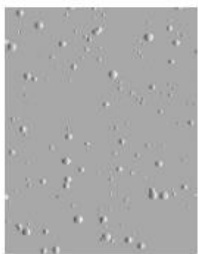
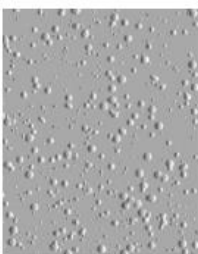
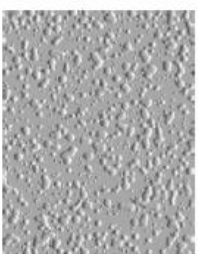
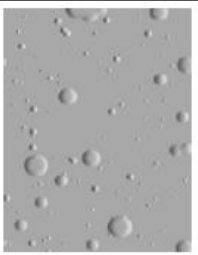
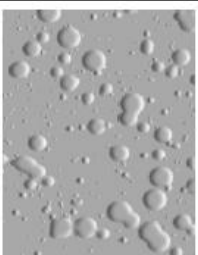
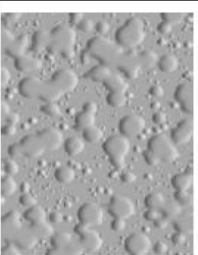
Tuz sprej testi, boyalı kaplı plakaların korozyona karşı direncini öğrenmek için standart olarak kullanılan bir test metodudur. Bu yöntem, koruyucu olarak kullanılan kaplamanın kullanımındaki uygunluğunu tahmin etmek adına kaplanmış olan numune plakalara aşındırıcı saldırılar üretebilen hızlandırılmış bir korozyon testidir.

Test edilecek boyalı plaka üzerine çapraz olarak derin çizikler atılır. Test etme aparatı, tuzlu bir çözeltinin bir meme aracılığı ile atomize edildiği kapalı bir deney odasında gerçekleşir. Deney numuneleri kabine konur ve kabinde, $5\pm0,5$ % konsantrasyonundaki tuzlu su belirlenen test süresince kesintisiz bir şekilde kaplamanın üzerine dikey eksenle 200 ± 50 'lik açı ile püskürtülür. Bu test haznesinde yoğun korozyon şartlara sahip 6,5-7,2 ph değer aralığında ortam elde edilir, kabin içerisinde kalan boyalı test parçaları 0,013-0,025 ml/cm².saat aşındırıcı şartlara maruz bırakıldı.

Deney numuneleri test sonunda, paslanma, çatlama, pullanma ve çizik etrafında tabakalara ayrılma durumlarına göre korozyon derecesi incelendi. Bu inceleme sonuçları aşağıdaki standartlara uygun olarak değerlendirildi: (URL-15, 2024).

ISO 4628-2: Kabarcıklama Derecesi

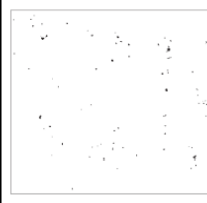
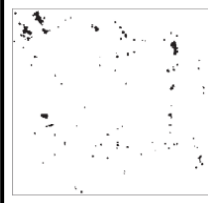
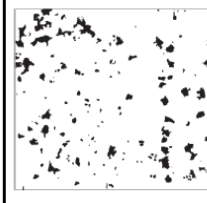
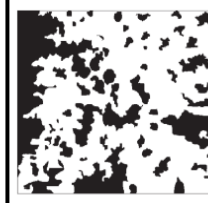
Kaplamalardaki kabarcıklanma derecesinin aşağıdaki Şekil 4.16'daki resim karşılaştırarak değerlendirme metodunu kapsamaktadır.

ISO 4628-2				
	2	3	4	5
S2				
S3				
S4				
S5				

Şekil 4.16:ISO 4628-2 Kabarcıklama Derecesi

ISO 4628-3: Paslanma Derecesi

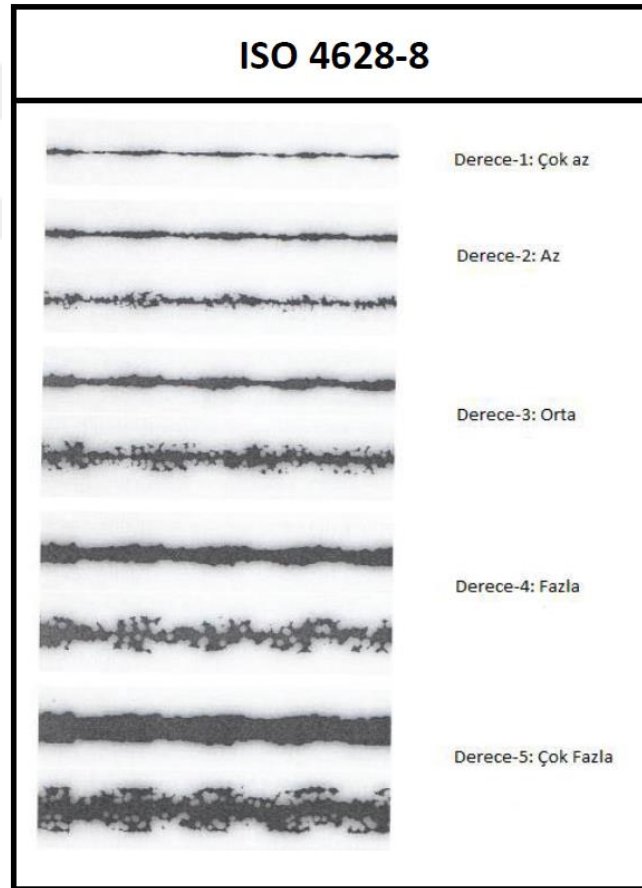
Kaplamalardaki paslanma derecesinin aşağıdaki Şekil 4.17'deki resim karşılaştırarak değerlendirme metodunu kapsamaktadır.

ISO 4628-3				
Ri 1	Ri 2	Ri 3	Ri 4	Ri 5
				
0,05% Paslı Alan	0,5% Paslı Alan	1% Paslı Alan	8% Paslı Alan	40-50 % Paslı Alan

Şekil 4.17: ISO 4628-3 Paslanma Derecesi

ISO 4628-8: Çizik Etrafında Tabakalara Ayrılma ve Korozyon Derecesi

Kaplamalardaki korozyon derecesinin aşağıdaki Şekil 4.18'deki resim karşılaştırarak değerlendirme metodunu kapsamaktadır.



Şekil 4.18: ISO 4628-8 Korozyon Derecesi

Tuz testinde deneyi tamamladıkları saat sonucunda aşağıdaki Şekil 4.19'daki koşullara uygun olarak ömür konusunda değerlendirme yapılabilir.

Korozyon Sınıfı	Dış Ortam	İç Ortam
C1 Very Low/ Çok Düşük		Temiz havalı, ısıtmalı yapılar Örneğin; ofisler, dükkanlar, okullar, otel
C2 Low / Düşük	Hava kirliliğinin az olduğu atmosferler, çoğunlukla kırsal alanlar	Isıtılmayan yapılar, Örneğin; Depolar, spor salonları
C3 Medium / Orta	Orta derecede kirlilik seviyeli endüstriyel ve şehir içi atmosferleri, düşük tuz seviyeli kıyı alanları	Yüksek nemli üretim alanları Örneğin; yiyecek maddesi fabrikaları, çamaşırhaneleri, bira imalathaneleri, mandıralar
C4 High / Yüksek	Orta tuzlulukta sahil bölgeleri ve endüstriyel bölgeler	Kimyasal madde fabrikaları, yüzme havuzları, sahildeki gemi ve yat çekekler
C5 Very High / Çok Yüksek	Yüksek neme sahip endüstriyel alanlar, yüksek tuz seviyeli kıyı alanları	Yüksek kirlilik, yüksek nem ve yoğunlaşmaya sahip binalar
CX Extreme / Çok Yüksek	Çok yüksek tuz ve neme sahip endüstriyel bölgeleri deniz üstü yapılar, açık deniz atmosferleri	Çok yüksek nem ve tuzluluğa sahip endüstriyel bölgeler

Şekil 4.19: Ortam- Korozyon sınıfı tablosu

SAAT / ÖMÜR	<7 yıl	7-15 yıl	15-25 yıl	>25 yıl
120	C3-L			
240	C4-L	C3-M		
480	C5-L	C4-M	C3-H	
720		C5-M	C4-H	C3-VH
1400			C5-H	C4-VH
1650				C5-VH

Şekil 4.20: Ömür-Koşul dengesinde tuz testi saati değerlendirme tablosu

5. BULGULAR

Demir fosfat ve zirkonyum kaplama ile hazırlanan numunelere elektrostatik toz boya kaplama işlemi tamamlandıktan sonra sırası ile cross-cut, darbe ve tuz testleri uygulandı. Uygulanan testlerin sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

Hazırlanan numunelerden cross-cut için ayrılan parçaların yüzeyi test aletinin yanında gelen fırça ile temizlenmiştir. Kaplama kalınlığına göre doğru uç belirlenmiş olup x ve y eksenlerinde parça yüzeyinde TQC sheen marka test aleti ile çizikler çekilerek cross-cut testi uygulanmıştır. Çiziklerin üzerine özel yapışma bandı yapıştırılmış ve bir süre beklenmiştir. Özel bant bir süre sonra yüzeyden hızlı bir şekilde çekilmiştir. Sonrasında yüzey mikroskop altında incelenmiştir. Şekil 5.1’de alüminyum parçalara uygulanan cross-cut testinin sonucuna ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 5.1: a) Demir Fosfat kaplı alüminyum numune b) Zirkonyum kaplı alüminyum numune

Şekil 5.1’de aynı testin DKP sac üzerine uygulandıktan sonra ulaşılan sonuca ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 5.2: a) Demir Fosfat kaplı DKP numune b) Zirkonyum kaplı DKP numune

Şekil 5.2’de ise cross-cut testin pregalvaniz sac üzerine uygulandıktan sonra ulaşılan sonuca ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 5.3: a) Demir Fosfat kaplı pregalvaniz numune b) Zirkonyum kaplı pregalvaniz numune

Numunelere uygulanan diğer bir test ise darbe testidir. Uygun alana yerleştirilen numune plakalara 25 cm ve 50 cm yükseklikten bir cisim bırakılarak yapılan bu test bütün numune tiplerine uygulanmıştır. Darbe testi sonucu Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.4: Darbe testi sonucu

Hazırlanan numunelere uygulanan diğer bir test ise spreyl tuz testidir. Spreyl tuz testi Şekil 5.4’de belirtilen şartlarda gerçekleştirilmiştir.

Uygulama	Sürekli spreyleme
Numunenin Duruş Açısı	Dikey eksenle $200 \pm 50^\circ$ lik açı
Korozif Atmosfer	$(5 \pm 0,5)\%$ tuz-su çözeltisi
pH Değeri	$6,5 - 7,2 / (25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ’de
Test Kabini Sıcaklığı	$(35 \pm 2)^\circ\text{C}$
Tuzlu Su Yağış Miktarı	$0,013 - 0,025 \text{ ml/cm}^2.\text{saat}$
Toplam Test Süresi	1000 saat

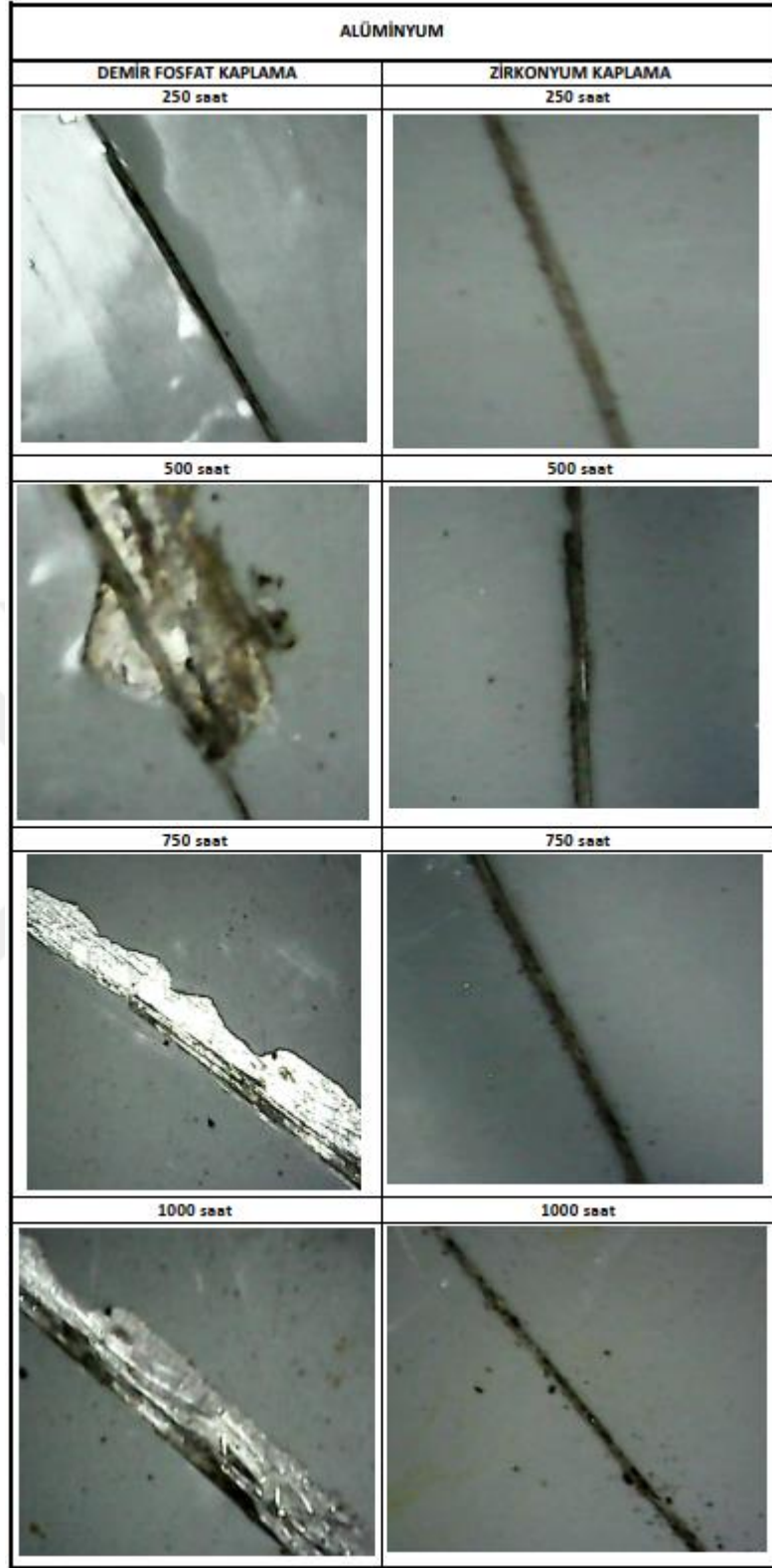
Şekil 5.5: Test şartları

Yukarıda belirtilen şartlar altında 6 farklı numune parçaya uygulanan spreyl tuz testine ait değerlendirme Şekil 5.6’da belirtilmiştir.

					250 SAAT	500 SAAT	750 SAAT	1000 SAAT
ALM	PARÇA-2	Demir Fosfat Kaplama	ISO 4628-2	Kabarcıklama Derecesi	Kabarcık yok	Kabarcık yok	Kabarcık yok	Kabarcık yok
			ISO 4628-3	Paslanma Derecesi	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Korozyon İlerlemesi	Derece-0	Derece-0	Derece-0	Derece-0
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Soyulma	0 mm	3 mm	2 mm	2 mm
	PARÇA-3	Zirkonyum Kaplama	ISO 4628-2	Kabarcıklama Derecesi	Kabarcık yok	Kabarcık yok	Kabarcık yok	Kabarcık yok
			ISO 4628-3	Paslanma Derecesi	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Korozyon İlerlemesi	Derece-0	Derece-0	Derece-0	Derece-0
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Soyulma	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
DKP	PARÇA-5	Demir Fosfat Kaplama	ISO 4628-2	Kabarcıklama Derecesi	Kabarcık yok	Kabarcık yok	Kabarcık Yok	-
			ISO 4628-3	Paslanma Derecesi	Ri 0	Ri 0	Ri 3	-
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Korozyon İlerlemesi	Derece-0	Derece-0	Derece-3	-
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Soyulma	2 mm	3 mm	Yoğun	-
	PARÇA-4	Zirkonyum Kaplama	ISO 4628-2	Kabarcıklama Derecesi	Kabarcık yok	Kabarcık yok	Kabarcık Yok	Kabarcık Yok
			ISO 4628-3	Paslanma Derecesi	Ri 0	Ri 0	Ri 1	Ri 2
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Korozyon İlerlemesi	Derece-0	Derece-0	Derece-0	Derece-1
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Soyulma	0 mm	1 mm	2 mm	3mm
PG	PARÇA-6	Demir Fosfat Kaplama	ISO 4628-2	Kabarcıklama Derecesi	Kabarcık Yok	Kabarcık Yok	Kabarcık Yok	Kabarcık Var
			ISO 4628-3	Paslanma Derecesi	Ri 0	Ri 1	Ri 1	Ri 2
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Korozyon İlerlemesi	Derece-1	Derece-1	Derece-3	Derece-4
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Soyulma	4 mm	5mm	6 mm	Yoğun
	PARÇA-1	Zirkonyum Kaplama	ISO 4628-2	Kabarcıklama Derecesi	Kabarcık Yok	Kabarcık Yok	Kabarcık Yok	Kabarcık Var
			ISO 4628-3	Paslanma Derecesi	Ri 0	Ri 1	Ri 1	Ri 1
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Korozyon İlerlemesi	Derece-0	Derece-1	Derece-1	Derece-3
			ISO 4628-8	Çizik Etrafında Soyulma	2 mm	3 mm	6 mm	9 mm

Şekil 5.6: Tuz testine ait değerlendirme tablosu

Tuz testi uygulanan parçaların mikroskop altındaki görüntüleri alınmıştır. Alüminyum parçalara ait 250, 500, 750 ve 1000 saat kontrollerinin mikroskop altındaki görüntüleri Şekil 50’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.7: Sprey tuz testi uygulanmış alüminyum parçaların mikroskop altındaki görüntüleri

Alüminyum üzeri boyalı parçalar üzerinde;

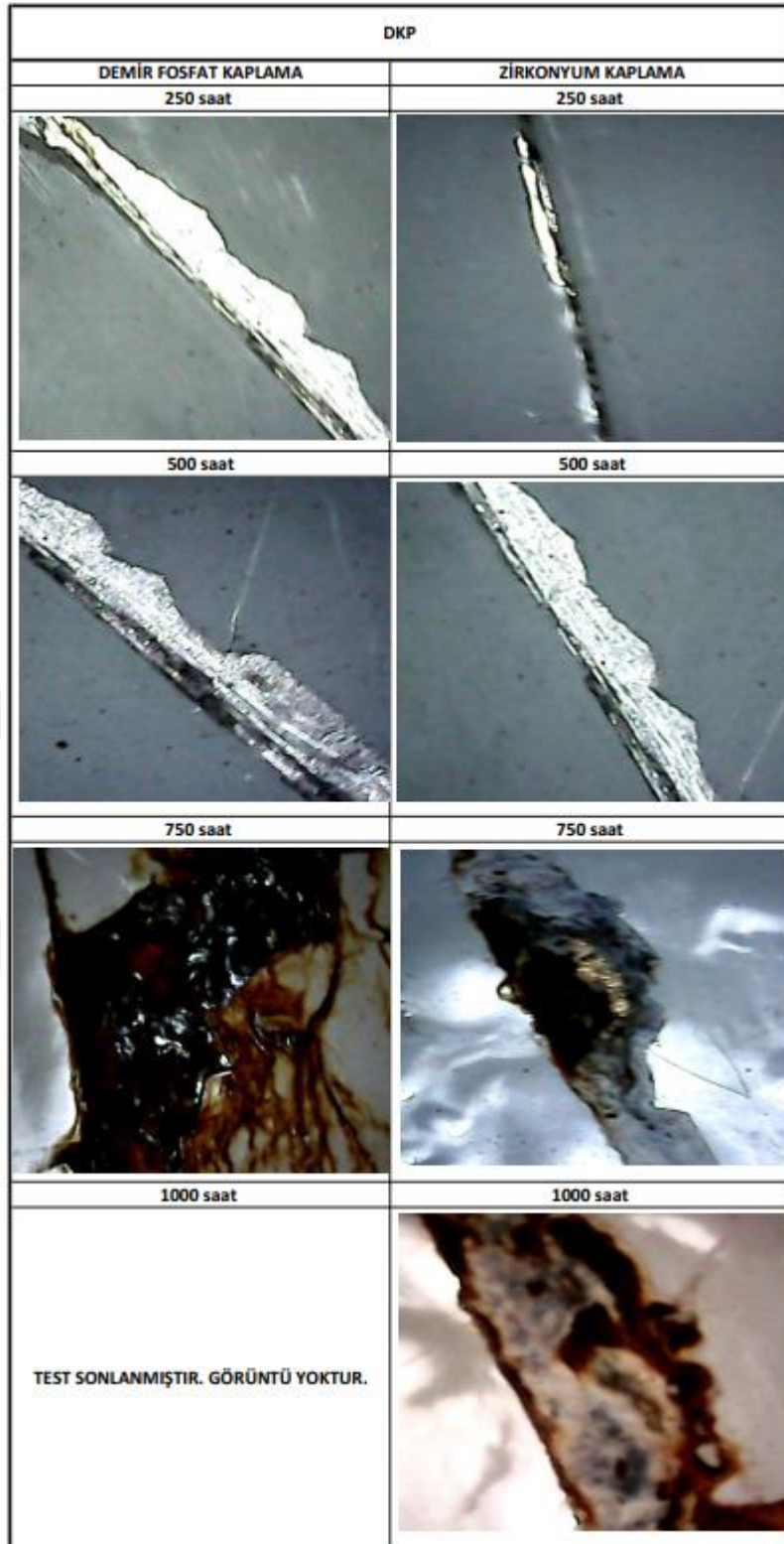
250 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde kabarcıklanma ve soyulma görülmemiştir. Çizik etrafında herhangi bir korozyon ilerlemesi olmadığı gözlemlenmiştir.

500 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde kabarcıklanma görülmemiştir. Test için atılan çizik etrafında herhangi bir korozyon ilerlemesi olmadığı görülmüştür. Ancak demir fosfat kaplı plaka üzerine atılan çizik etrafında 3mm soyulma gerçekleşmiştir.

750 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde kabarcıklanma görülmemiştir. Çizik etrafında herhangi bir korozyon ilerlemesi olmadığı fakat demir fosfat kaplı plaka üzerindeki çizik etrafında 2mm soyulma gerçekleşmiştir.

1000 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde kabarcıklanma görülmemiştir. Çizik etrafında herhangi bir korozyon ilerlemesi olmadığı fakat demir fosfat kaplı plaka üzerindeki çizik etrafında 2mm soyulma gerçekleşmiştir.

Şekil 5.8’de ise DKP numunelere ait mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.8: Sprey tuz testi uygulanmış DKP parçaların mikroskop altındaki görüntüleri

DKP üzeri boyalı parçalar üzerinde;

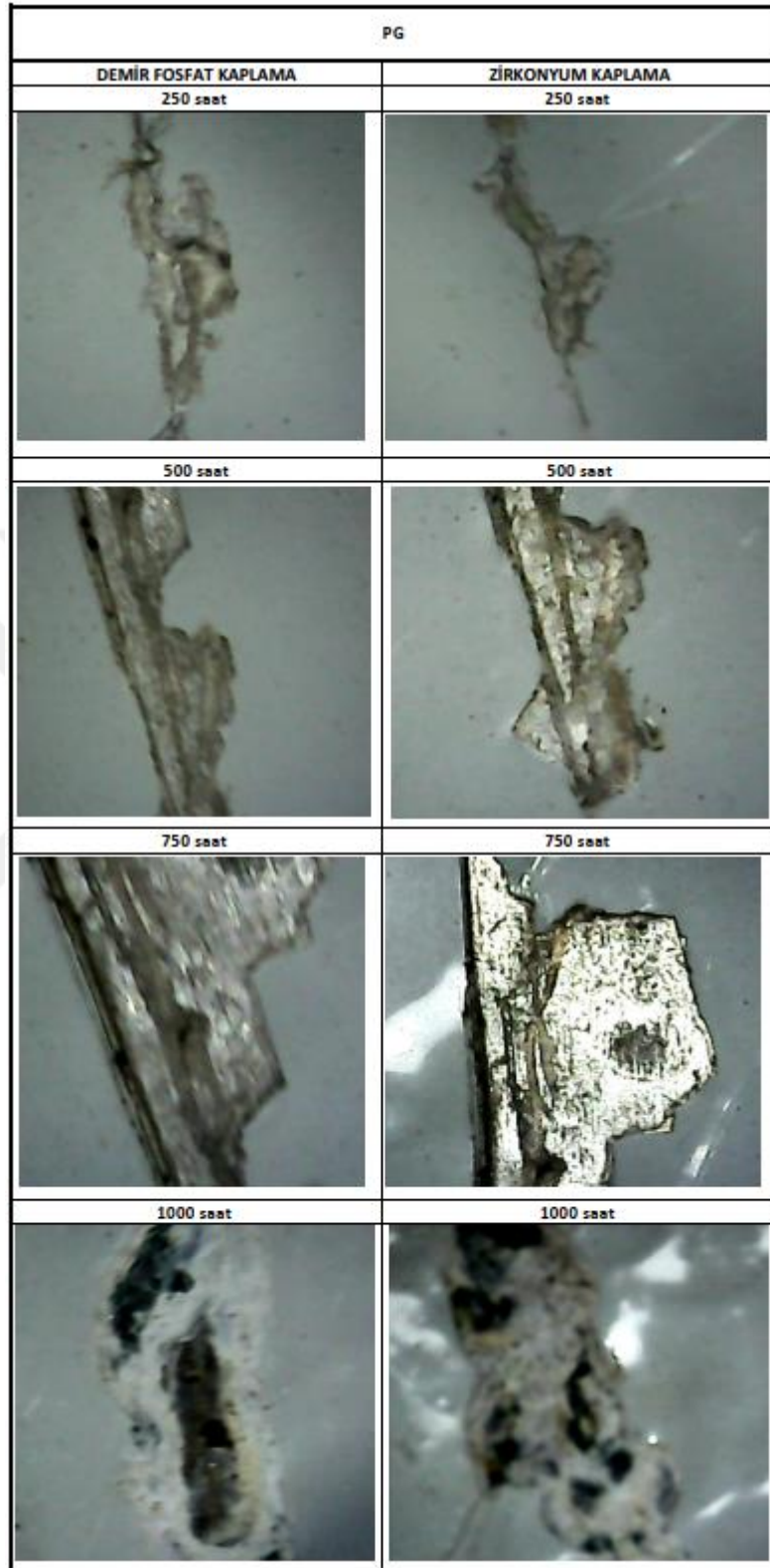
250 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde kabarcıklanma ve çizik etrafında herhangi bir korozyon ilerlemesi görülmemiştir. Fakat demir fosfat kaplı numune plakada çizik etrafında 2mm soyulma görülmüştür.

500 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde kabarcıklanma ve çizik etrafında herhangi bir korozyon ilerlemesi görülmemiştir. Demir fosfat kaplı numune plakada çizik etrafında soyulma 2mm olarak görülürken, zirkonyum kaplı numune plaka üzerinde ise 1 mm olarak ölçülmüştür.

750 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde kabarcıklanma görülmemiştir. Demir fosfat kaplı numune plaka üzerindeki çizik etrafında yoğun derecede soyulma görülmüş ve 3. derecede korozyon ilerlemesi saptanmıştır. Ayrıca numune parça üzerindeki çizikte 3. derecede yoğun pas görülmüştür. Zirkonyum kaplı parçada ise, çizik etrafında 2 mm ilerleme olurken, 1. derecede pasa rastlanmıştır.

1000 saat sonunda; Demir fosfat kaplı numune plaka 1000 saat tuz test süresi içerisinde yoğun pasa maruz kaldığı için bu aşamada test durdurulmuştur. Zirkonyum kaplı numune parça üzerinde kabarcıklanma gözlenmemiştir. Parça üzerinde 2. Derecede paslanma gözlemlenirken, çizik etrafında 3 mm soyulma ve 1. Dereceden korozyon ilerlemesi saptanmıştır.

Pregalvaniz numunelere ait görüntüler ise Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Sprey tuz testi uygulanmış pregalvaniz parçaların mikroskop altındaki görüntüleri

Pregalvaniz üzeri boyalı parçalar üzerinde;

250 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde kabarcıklanma ve paslanma görülmemiştir. Demir fosfat kaplı numune plakadaki çizik üzerinde 4mm soyulma görülürken, zirkonyum kaplı numune plaka üzerindeki çizikteki soyulma 2 mm olarak görülmüştür. Demir fosfat kaplı plaka üzerindeki çizik etrafındaki korozyon ilerlemesi 1. derece iken zirkonyum kaplı numune plaka üzerindeki çizik etrafında korozyon saptanmamıştır.

500 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde kabarcıklanma görülmemiş, çizik etrafında 1. derece korozyon ilerlemesi ve 1. derece paslanma görülmüştür. Çizik etrafında soyulma demir fosfat kaplı numune parça üzerinde 5mm iken, zirkonyum kaplamada ise 3 mm olarak gözlemlenmiştir.

750 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde kabarcıklanma görülmemişken her iki numunede de 1. derece paslanma ve çizik etrafında 6mm soyulma saptanmıştır. Demir fosfat kaplı numune de 3. derece korozyon ilerlemesi var iken, zirkonyum kaplı numune parça üzerinde 1. derece olarak görülmüştür.

1000 saat sonunda; demir fosfat kaplamalı plaka ile zirkonyum kaplı plaka üzerinde bu aşamada kabarcıklanmalar görülmüştür. Demir fosfat kaplı numune parça üzerinde bulunan çizikte yoğun miktarda soyulma ve 4. derece korozyon ilerlemesi ile 2. Derece paslanma görülmüştür. Zirkonyum kaplı numune plaka üzerinde 9mm çizik etrafında soyulma ölçülmüş, 3. derece korozyon ilerlemesi görülmüş ve 1. derece pasa rastlanmıştır.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, alüminyum, DKP ve pregalvaniz saclarda elektrostatik toz boya kaplama öncesi zirkonyum esaslı nano kaplamanın toz boyanın mekanik dayanım, yapışma ve korozyon performansına olan etkileri incelenmiştir. Alüminyum, DKP ve pregalvanizli sacdan üretilen numuneler demir fosfat ve zirkonyum esaslı olmak üzere iki farklı kimyasal yüzey işlemleriyle hazırlandıktan sonra numuneler elektrostatik toz boya ile boyandı. Hızlandırılmış tuz püskürtme korozyon testi, darbe direnci testi ve çapraz kesim yapışma testi, toz boya prosesinin ardından ön işlem kaplamalarının koruyucu ve performans davranışının değerlendirilmesinde faydalı araçlar olmuştur. Bu nedenle 2 farklı yüzey kaplaması ile elde edilen toz boya kaplanmış 3 grupta malzemeye mekanik, yapışma ve korozyon direnci testleri ile boya performans testleri yapılmış ve sonuçlar her bir ön işlem için tartışılmıştır.

Her bir malzeme grubunda da zirkonyum esaslı nano kaplamalı olarak elde edilen numuneler en iyi numune olup, yapılan testler sonucunda demir fosfat kaplı numunelere göre daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Zirkonyum esaslı nano kaplama uygulandıktan sonra elektrostatik toz boya kaplama prosesi uygulanan parçalar zorlu çevre koşullarına karşı daha yüksek dayanıma sahip olduğu anlaşılmıştır. Malzeme cinsi fark etmeden zirkonyum nano kaplama uygulamasının elektrostatik toz boyanın malzeme yüzeyine olan yapışma performansını ve korozyon direncini arttırmaktadır.

Alüminyum numune plakalarda; zirkonyum esaslı nano kaplamalı parçada, demir fosfat kaplamalı parçada oluşan çizik etrafında soyulma gözlemlenmemektedir. Zirkonyum esaslı nano kaplama sayesinde boya yüzeye çok iyi bir şekilde tutunmuştur. Bu nedenle korozyon oluşma fırsatı olmamıştır.

DKP numune plakalarda demir fosfat ve zirkonyum esaslı nano kaplamalı numunelerde bariz olarak farklılık ortaya konmuştur. Yapılan testler ile ömür tablosuna bakıldığında demir fosfat kaplama ile hazırlanan parçalar C4-M(Orta) seviyesinde bir ortamda 7-15 yıl bir ömre sahip iken, zirkonyum kaplama ile hazırlanan parçalar C4-H (Yüksek) seviyesinde bir ortamda 15-25 yıl bir ömre sahip olacaktır. Tuz yoğunluğunun çok yüksek olmadığı sahil bölgeleri ve endüstriyel bölgeler gibi dış ortamlarda, kimyasal üretimi yapılan fabrikaların, yüzme havuzlarının, kaplama yapılan üretim tesislerinin üretim alanları gibi iç ortamlarda

kullanılacak parçaların yüzeyine uygulanacak elektrostatik toz boya kaplama öncesi zirkonyum esaslı nano kaplama tercih edilebilir.

Pregalvaniz numune plakalarda ise zirkonyum esaslı nano kaplama paslanma derecesini, çizik etrafında soyulmayı ve korozyon ilerlemesini büyük ölçüde geciktirmiştir. Darbe testi sonuçları incelendiğinde zirkonyum kaplamalı olarak hazırlanan numune, demir fosfat kaplamalı olarak hazırlanan numuneye göre darbelere daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Çalıştığı ortamda darbelere maruz kalacak olan alanlarda çalışması düşünülen ve pregalvanizli sacdan üretilecek olan elektrostatik toz boya kaplamalı parçaların boya prosesinden önce zirkonyum esaslı nano kaplama uygulanması ömürlerini uzatacaktır.

Literatürde elektrostatik toz boyanın mekanik dayanım, yapışma ve korozyon performanslarını arttırmak adına benzer çalışmalar da yapılmıştır. Bir çalışmada toz boya öncesi kimyasal yüzey işlem için demir fosfat ile başka bir nano kaplama olan oksilan kullanılmıştır. Oksilan nano kaplama ile çapraz kesme testlerinde en fazla 4B seviyelerine çıkılabilişken zirkonyum esaslı nano kaplama ile 5B seviyeleri yakalanabilmiştir. Darbe testlerinde ise yine zirkonyum esaslı nano kaplamanın diğer çalışmalara göre daha başarılı olduğu ortaya konmuştur. Tuz testinde ise zirkonyum esaslı nano kaplama ile yapılan numuneler 1000 saat tuz testinde başarılı olduğu görülürken oksilan ile hazırlanan numuneler 1000 saat tuz testinde başarısız olmuştur.

Başka bir çalışmada ise elektrostatik toz boya öncesi kimyasal pasivasyon yaparak toz boyanın yüzeye yapışma performansı incelenmiştir. Pasivasyon için birden fazla asit çeşidi denenmiştir. Yapılan bu kimyasal pasivasyon sonucunda çapraz kesme testlerinde bütün asit çeşitleri için 5B sonucu elde edilmiştir. Çapraz kesme testleri için bu çalışma ile benzer sonuçlar elde edilirken darbe ve tuz testlerinde ise zirkonyum esaslı nano kaplama daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Yapılan bu çalışmada zirkonyum esaslı nano kaplama ile geleneksel kimyasal yüzey hazırlama yöntemleri ile diğer bazı nano kaplamalara göre performansının ne denli iyi sonuçlar elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Elektrostatik toz boya öncesi zirkonyum esaslı nano kaplama ile yüzey hazırlama işlemi yapılarak toz boyanın performansı ekstra bir maliyet oluşturmada mevcut sistemde basit

bir şekilde uygulanarak kolayca arttırılabilmektedir. Bu yöntem ile ilk yatırım maliyeti ve proses maliyetlerini yükseltmeden daha kaliteli bir kaplama elde etmek mümkündür. Kullanılan bu nano kaplama ile farklı metal malzemeler için farklı kimyasal yüzey hazırlanma banyo ihtiyacı da ortadan kalkmaktadır. Ayrıca bu sistemin çevreci olması da prosesin artı taraflarından yalnızca biridir.

Metal parçaların yüzeyinde daha başarılı bir kaplama son kullanıcının sistemine entegre ettikten sonra da bazı avantajlar getirmektedir. Sisteme entegre edilen parçaların yüzeyine kaplanan elektrostatik toz boya kaplamanın yapışma performansı daha yüksek olduğu için gerek montaj sırasında gerekse sistemin çalışması esnasında oluşabilecek darbelere karşı daha dayanıklı olacaktır ve yüzeye daha iyi tutunacaktır. Yüzeye tutunan kaplama malzemenin korozyona olan direncini arttıracak ve malzemelerin ve dolayısıyla sistemin daha uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır. Bu da son kullanıcının bakım, onarım ve yeniden temin maliyetlerini düşürmesine yardımcı olacaktır.

Bu çalışma, gelecekte başka çalışmalara ışık tutabilir. Yapılan çalışma genişletilerek farklı malzeme çeşitlerinde çalışmalar yapılabilir. Ayrıca farklı kimyasal yüzey hazırlama metotları yada farklı nano kaplama çeşitleri de ayrıca denenebilir.

KAYNAKLAR

- Dawson, T., Johnson, V., Morabito, M., Schultz, M., & Swain, G. W. (2007). *EN380 Naval Materials Science and Engineering Course Notes*. US Naval Academy, 1-250.
- Kazel, A. (2020). Galvanizli Sac Üzerine Toz Boya Tutundurma İşleminde Kimyasal Pasivasyonun Etkisinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilecik, 98 s.*
- Kızılkaya, A.C. ve Gizli, A. (2018). *Bobin boyama sektöründeki metal önilem sürecinin boyalı yüzey performansına etkilerinin araştırılması, Tübitak.*
- Mahoney, C.L. (2013). Based on Surface Preparation Bulletin G-600 and updated references
- Prasad, L.K., McGinity, J.W. ve Williams, R. O. (2016). Electrostatic powder coating: Principles and pharmaceutical applications. *International Journal of Pharmaceutics*, 505 (1–2): 289-302
- Revie, R.W. ve Uhlig, H.H. (2008). *Corrosion and corrosion control 'An introduction to corrosion science and engineering.* 19 s.
- Sevil, B. (2020). Development and characterization of pre-treatment process to enhance dye affinity and corrosion resistance for metal surfaces. *Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 113 s.*
- Shibli, S.M.A., Chacko, F. (2011). *Development of nano TiO₂-incorporated phosphate coatings on hot dip zinc surface for good paintability and corrosion resistance,* Applied Surface Science, 257, 3111-3117.
- World Bank. (1999). *Pollution prevention and abatement handbook, 1998: Toward cleaner production.* The World Bank.
- Yılmaz, M. (2010). Corrosion resistance analysis of electrostatic powder coated low carbon steel sheets. *Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 101 s.*
- URL-1 (2024). <https://sefia.org/arastirmalar/turkiye-celik-sektoru-raporu-uretim-ticaret-ve-karbonsuzlasma-sureci/>, *Türkiye Çelik Sektörü Raporu: Üretim, Ticaret ve Karbonsuzlaşma Süreci*, (10.01.2024).
- URL-2 (2024). <https://kids.britannica.com/students/article/iron-and-steel-industry/275092>, *iron and steel industry*, (10.01.2024).
- URL-3 (2024). <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/iron-and-steel-industry#>, *Iron and Steel Industry*, (10.01.2024).

- URL-4 (2024). <https://www.nipponsteel.com/en/product/sheet/process/>, *Hot-Rolled Steel Sheets and Coils Manufacturing Processes*, (10.01.2024).
- URL-5 (2024). <https://www.rapiddirect.com/blog/hot-rolled-vs-cold-rolled-steel/>, *Hot Rolled vs Cold Rolled Steel: Overview and Differences*, (10.01.2024).
- URL-6 (2024). <https://www.ejot.com/corrosion-guide/types-of-corrosion>, *Types of corrosion Corrosion Guidebook – Part I*, (10.01.2024).
- URL-7 (2024). <https://public.ksc.nasa.gov/corrosion/forms-of-corrosion/>, *Forms of Corrosion*, (10.01.2024).
- URL-8 (2024). <https://www.ampp.org/technical-research/what-is-corrosion/forms-of-corrosion#galvanic>, *Galvanic Corrosion*, (10.01.2024).
- URL-9 (2024). <https://www.protoblast.com.au/blog/where-is-abrasive-blasting-used/>, *Where Is Abrasive Blasting Used?*, (10.01.2024).
- URL-10 (2024). <https://www.pfonline.com/articles/fundamentals-of-powder-coating>, *The Powder Coating Process*, (10.01.2024).
- URL-11 (2024). <https://www.powdercoating.org/page/WhatIsPC>, (10.01.2024).
- URL-12 (2024). <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051041191101040550471051021200881110431131040730830491081220430611782111066049>, *İptal Standard TÜRK STANDARDI*, (10.01.2024).
- URL-13 (2024). <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073097078108111071057087084071054076>, *TÜRK STANDARDI*, (10.01.2024).
- URL-14 (2024). <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073081120121115119099072054079120115#:~:text=Kapsam%20%3A,ampirik%20bir%20deney%20i%C5%9Flemini%20kapsar>, *İptal Standard TÜRK STANDARDI*, (10.01.2024).
- URL-15 (2024). <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073085056087079073116114057069054055>, *İptal Standard TÜRK STANDARDI*, (10.01.2024).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :

Doğum Yeri ve Tarihi :

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi :

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller :

Bilimsel Faaliyet/Yayınlar :

İş Deneyimi

Stajlar :

Projeler ve Kurs Belgeleri :

Çalıştığı Kurumlar :

İletişim

E-Posta Adresi :

Tarih :