

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ ORTAK PROGRAMI

**DÖKÜM MALZEMELERİN PERFORMANS DAYANIMINI ARTIRMAYA
YÖNELİK KAPLAMA ARAŞTIRMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÜNYAMİN EREN

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. NURGÜL ÖZBAY

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ADİFE ŞEYDA YARGIÇ

BİLECİK, 2020

10371128

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ ORTAK PROGRAMI

**DÖKÜM MALZEMELERİN PERFORMANS DAYANIMINI ARTIRMAYA
YÖNELİK KAPLAMA ARAŞTIRMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÜNYAMİN EREN

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. NURGÜL ÖZBAY

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ADİFE ŞEYDA YARGIÇ

BİLECİK, 2020

10371128

T.C.
BILECIK SEYH EDEBALI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCES
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEER
ANADOLU UNIVERSITY JOINT PROGRAM

**INVESTIGATION OF THE COATING TO IMPROVE THE PERFORMANCE
STRENGTH OF THE CAST MATERIALS**

MASTER'S THESIS

BUNYAMIN EREN

THESIS ADVISOR

PROF. DR. NURGUL OZBAY

THESIS CO-ADVISOR

ASSIST. PROF. DR. ADIFE ŞEYDA YARGIÇ

BİLECİK, 2020

10371128

BEYAN

“Döküm Malzemelerin Performans Dayanımını Artırmaya Yönelik Kaplama Araştırılması” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel ahlak kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Bu çalışmamın, Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte beyan edilmelidir.	
DESTEK ALINMIŞTIR	DESTEK ALINMAMIŞTIR
Destek alındı ise;	
Destekleyen Kurum:	
Desteğin Türü	Proje Numarası
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)	
2- TÜBİTAK	
Diğer;	

Bünyamin EREN

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Prof. Dr. Nurgül ÖZBAY' a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

İkinci tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Adife Şeyda YARGIÇ' a çalışmamın son haline gelmesindeki değerli katkıları adına teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Eğitimimiz süresince gereken tüm imkanları sağlayan Sayın Yahya BEYCE' ye saygılarımı sunarım. Çalışmalarımnda ekipmanlarından ve yararlandığım UZMAN KATAFOREZ YÜZEY KAPLAMA SANAYİ TİCARET A.Ş. çalışanlarına ve Ar-Ge Laboratuvarı personellerine destek ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımnda yardımcı olan Semih ULUBAYRAK, Canberk MİNAZ ve Batuhan BAŞDEMİR 'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Ali EREN, annem Gülüzar EREN, ablam Hatice UÇAK, kardeşim İsmail EREN, eşim Alev EREN ve kızım Cansu EREN 'e içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bünyamin EREN

ÖZET

DÖKÜM MALZEMELERİN PERFORMANS DAYANIMINI ARTIRMAYA YÖNELİK KAPLAMA ARAŞTIRILMASI

Döküm ve sıcak dövme parçalarının korozyon performans dayanımının artırılmasında kullanılan alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel kaplama ve kataforez kaplama birbirinden bağımsız uygulanan proseslerdir. Bu çalışmada, iki farklı prosesin bir araya getirilmesiyle her bir prosesten elde edilen ürünlerden daha üstün kaplama özelliklerine sahip bir ürün üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda görsel olarak en uygun kaplama proses türleri belirlenmiştir. Elde edilen nihai kaplamanın, mürekkep, hogabom, şok, pull-off adhezyon, su direnci, tuz sisi, taş çarpma, çevrimsel korozyon ve scab korozyon performansı testleri uygulanmıştır. Ayrıca, x-ışını kırınım cihazında çinko kaplama kalınlık ölçümü yapılmış ve taramalı elektron mikroskopunda da fosfat kristal görünümü alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıcak dövme döküm, döküm, korozyon performansı, alkali/asitli çinko kaplama, kataforez kaplama

ABSTRACT

RESEARCH FOR METAL PARTS TO IMPROVE CORROSION RESISTANCE ORGANIC ZINC-FLAKE COATING APPLICATION ON PHOSPHATE COATING

Alkaline zinc, alkaline zinc-iron, alkaline zinc-nickel coating process and cataphoresis coating processes used to increase the corrosion performance resistance of pouring and hot forging parts are independent processes. In this study, by combining two different processes, a product with superior coating properties than the products obtained from each process was produced. As a result of the studies, the most suitable coating process types visually were determined. Shocking, pull-off adhesion, ink test, water resistance, salt spray, impact test, cyclic corrosion and scab corrosion performance tests were applied to the final coating. In addition, zinc coating thickness was measured in the x-ray diffraction device and the phosphate crystal appearance was obtained in the scanning electron microscope.

Keywords: Hot forging pouring, pouring, corrosion performance, alkali / acid zinc coating, cataphoresis coating

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KOROZYON	3
2.1. Korozyon, Oluşumu ve Zararları	3
2.2. Korozyon Türleri ve Korunma Yöntemleri	3
3. KATAFOREZ KAPLAMA.....	6
3.1. Kataforez Kaplama Tarihi ve Tanımı	6
3.2. Kataforez Prosesinde İş Akışı.....	7
3.2.1. Yüzey Hazırlama Prosesi	8
3.2.1.1. Yağ Alma	8
3.2.1.2. Durulama	10
3.2.1.3. Aktivasyon	10
3.2.1.4. Fosfat Kaplama	11
3.2.1.5. Durulama	20
3.2.1.6. Pasivasyon.....	20
3.2.1.7. Deiyonize Durulama	21
3.2.2. Elektro-Kaplama Prosesi	21

3.2.2.1. Kataforez Kaplama Banyosu	21
3.2.2.2. Ultrafiltrasyon Banyoları	24
3.2.2.3. Anot Sistemi.....	26
3.2.3. Kürlenme Prosesi.....	28
3.2.3.1. Pişirme Fırını.....	28
4. ÇİNKO KAPLAMA PROSESLERİ	30
4.1. Siyanürlü �inko Kaplama	30
4.2. Asit Klorür Kaplama	32
4.3. Alkali Siyanürsüz Kaplama.....	34
4.3.1. Alkali Siyanürsüz �inko Alaşım Kaplama.....	34
4.3.2. Alkali Siyanürsüz �inko-Demir Kaplama	34
4.3.3. Alkali Siyanürsüz �inko-Nikel Kaplama	36
4.4. Alkali �inko Kaplama Prosesi Ve Basamakları.....	38
4.4.1. Alkali Sıcak Ya� Alma	38
4.4.2. Durulama	39
4.4.3. Elektrikli Ya� Alma.....	39
4.4.4. Asidik Ya� Alma	39
4.4.5. Çinko Kaplama	40
4.4.6. Çinko Ala�ımlı Kaplama	42
4.4.7. Nötrleme	42
4.4.8. Pasivasyon.....	42
4.4.9. Kurutma	43
5. LİTERATÜR TARAMASI	44
6. MATERYAL VE METOTLAR.....	47
6.1. Mürekkep Testi.....	47

6.2. Hogabom Testi	47
6.3. Şok Testi	48
6.4. X-Ray Cihazında Çinko Kaplama Kalınlık Ölçümü	49
6.5. SEM Cihazı İle Fosfat Kaplama Görünümü	49
6.6. Pull-Off Adhezyon Testi.....	50
6.7. Su Direnci Testi.....	50
6.8. Tuz Sisi Testi.....	51
6.9. Taş Çarpma Testi	52
6.10. Çevrimsel Korozyon Testi	53
6.11. Scab Korozyon Testi.....	53
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	55
7.1. Kaplama Çalışma Koşulları Ve Kaplama Sırasında Ölçülen Parametreler	55
7.1.1. Kaplama Öncesi Yüzey Temizlik	55
7.1.2. Çinko Kaplama Prosesi Genel Hatları.....	55
7.1.3. 5-8 µm ve 12-15 µm Alkali Çinko Kaplama	56
7.1.4. 5-8 µm ve 12-15 µm Alkali Çinko-Demir Kaplama.....	57
7.1.5. 5-8 µm ve 12-15 µm Alkali Çinko-Nikel Kaplama.....	57
7.1.6. 5-8 µm ve 12-15 µm Asitli Çinko Kaplama	58
7.1.7. 5-8 µm ve 12-15 µm Asitli Çinko-Nikel Kaplama	58
7.1.8. 20-25 µm Kataforez Kaplama.....	59
7.2. Kaplama İşlemi Sırasında ve Kaplama Sonrasında Deneysel Değerlendirmeler	61
7.2.1. Mürekkep Testi.....	61
7.2.2. Hogabom Testi	62
7.2.3. Şok Testi.....	64
7.2.4. X-Işını Cihazında Çinko Kaplama Kalınlık Ölçümü	68

7.2.5. SEM Cihazı İle Fosfat Kaplama Görünümü.....	71
7.2.6. Pull-Off Adhezyon Testi.....	74
7.2.7. Su Direnç Testi.....	77
7.2.8. Tuz Sisi Testi	81
7.2.9. Taş Çarpma Testi.....	84
7.2.10. Çevrimsel Korozyon Testi.....	87
7.2.11. Scab Korozyon Testi.....	90
8. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA.....	94
KAYNAKÇA	96
ÖZGEÇMİŞ.....	99

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Kataforez Kaplama Prosesi İş Akış Şeması.....	7
Tablo 3.2. Çelik, Çinko, Alüminyum Yüzeyler Üzerindeki Kompozisyon Ve Çinko Fosfat Kaplamalar.....	19
Tablo 3.3. Farklı Miktarlarda Krom, Nikel, Bakır İçeren Soğuk Haddelenmiş Çeliklerin Fosfatlanabilirliği.....	20
Tablo 4.1. Alkali Siyanür Çinko Kaplama Banyosu Bileşenleri Ve Derişimleri.....	30
Tablo 4.2. Asit Klorür Çinko Kaplama Banyosu Bileşenleri.....	33
Tablo 4.3. Fe-Zn Denge Diyagramındaki Fazlar Ve Özellikleri.....	35
Tablo 4.4. Siyanür İçermeyen Alkali Banyo Bileşenleri.....	41
Tablo 4.5. Çeşitli Kaplama Proseslerinin Başarılı Olabilmesi İçin Gereksinimler.....	41
Tablo 6.1. Çeşitli Firma Ve Şartnamelere Göre Yapılan Şok Testi Kontrol Yöntemleri.....	48
Tablo 6.2. Yapışma Direnci Sonrası Test Sınıflandırma, Tanım Ve Gösterimleri.....	51
Tablo 6.3. PV1200 Şartnamesi Bir Çevrim Döngüsü.....	53
Tablo 6.4. Scab Korozyon Test Döngüsü.....	54
Tablo 7.1. Yüzey Temizleme Prosesi Teorik Ve Deneysel Analizleri.....	55
Tablo 7.2. Çinko Kaplama Prosesi Genel Hatları İçin Teorik Ve Deneysel Analizleri	56
Tablo 7.3. 5-8 µm Ve 12-15 µm Alkali Çinko Kaplama Prosesi Teorik Ve Deneysel Analizleri.....	56
Tablo 7.4. 5-8 µm Ve 12-15 µm Alkali Çinko-Demir Kaplama Prosesi Teorik Ve Deneysel Analizleri.....	57
Tablo 7.5. 5-8 µm Ve 12-15 µm Alkali Çinko-Nikel Kaplama Prosesi Teorik Ve Deneysel Analizleri.....	57
Tablo 7.6. 5-8 µm Ve 12-15 µm Asitli Çinko Kaplama Prosesi Teorik Ve Deneysel Analizleri.....	58

Tablo 7.7. 5-8 μm Ve 12-15 μm Asitli Çinko-Nikel Kaplama Prosesi Teorik Ve Deneysel Analizleri.....	59
Tablo 7.8. 20-25 μm Kataforez Prosesi Teorik Ve Deneysel Analizleri.....	60
Tablo 7.9. Çinko + Kataforez Kaplama Öncesi Mürekkep Testi Sonuçları.....	61
Tablo 7.10. Çinko + Kataforez Kaplama Öncesi Hogabom Testi Sonuçları.....	63
Tablo 7.11. 5-8 μ Çinko Kaplama Sonrası Şok Testi Sonuçları.....	65
Tablo 7.12. 12-15 μ Çinko Kaplama Sonrası Şok Testi Sonuçları.....	66
Tablo 7.13. 5-8 μ Çinko Kaplama X-Işını Kaplama Kalınlık Ölçüm Sonuçları.....	68
Tablo 7.14. 12-15 μ Çinko Kaplama X-Işını Kaplama Kalınlık Ölçüm Sonuçları.....	70
Tablo 7.15. 5-8 μ Çinko + Fosfat Kaplama Sem Cihazı Görüntü Sonuçları.....	71
Tablo 7.16. 12-15 μ Çinko + Fosfat Kaplama Sem Cihazı Görüntü Sonuçları.....	73
Tablo 7.17. 5-8 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Pull-Off Adhezyon Testi Sonuçları...	74
Tablo 7.18. 12-15 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Pull-Off Adhezyon Testi Sonuçları.....	76
Tablo 7.19. 5-8 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Su Direnci Sonuçları.....	78
Tablo 7.20. 12-15 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Su Direnci Sonuçları.....	79
Tablo 7.21. 5-8 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Tuz Sisi Testi Sonuçları.....	81
Tablo 7.22. 12-15 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Tuz Sisi Testi Sonuçları.....	83
Tablo 7.23. 5-8 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Taş Çarpma Testi Sonuçları.....	85
Tablo 7.24. 12-15 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Taş Çarpma Testi Sonuçları.....	86
Tablo 7.25. 5-8 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Çevrimsel Korozyon Testi Sonuçları..	88
Tablo 7.26. 12-15 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Çevrimsel Korozyon Testi Sonuçları.....	89
Tablo 7.27. 5-8 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Scab Korozyon Testi Sonuçları.....	91
Tablo 7.28. 12-15 μ Çinko + 20-25 μ Kataforez Kaplama Scab Korozyon Testi Sonuçları.....	92

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Partikülün Yüzeyden Ayrılma Mekanizması.....	9
Şekil 3.2. Yağın Yüzeyden Ayrılma Mekanizması.....	9
Şekil 3.3. Soğuk Çekme Sac, Elektrogalvanizli Sac, Sıcak Daldırma Galvanizli Sac, Alüminyum Sacın Düşük Çinkolu Fosfat Kaplamalarının Kristal Morfolojileri.....	19
Şekil 3.4. Kataforez Kaplama Prosesi.....	21
Şekil 3.5. Kataforez Kaplama Banyosunda Gerçekleşen Reaksiyonlar.....	22
Şekil 3.6. Kataforez Kaplama Süresince Elektrottaki OH^- Konsantrasyonunun Profili.....	23
Şekil 3.7. Kataforez Kaplama Potansiyostatik Denemelerinde Akım–Zaman Eğrileri.....	23
Şekil 3.8. Ultrafiltrasyon Çalışma Sistemi.....	25
Şekil 3.9. Kataforez Kaplamanın Ultrafiltrasyon Biriminde Kullanılan Özel Sarınlı Membranlarının Konfigürasyonu.....	26
Şekil 3.10. Boru Şeklindeki Membranla Ultrafiltratın Ayrılma Prosesi.....	26
Şekil 3.11. Kataforez Kaplamanın Yenilenme Proseslerindeki İki Çeşidin Asit Baz Dengesi A) Alt Nötralizasyon B) Tam Nötralizasyon.....	27
Şekil 3.12. (A) Anolit Devresi, (B) Kutu Anot.....	27
Şekil 3.13. Kataforez Kaplamanın İdeal Teorik Kurlenme Diagramı.....	29
Şekil 3.14. Gerçekte Ölçümü Alınmış Fırın Sıcaklık-Zaman Diagramı.....	29
Şekil 4.1. Fe-Zn Faz Diyagramı. İkili Alaşım Faz Diyagramı.....	35
Şekil 4.2. Fe-Zn İkili Faz Diyagramının Çinko Zenginleştirme Bölümü.....	36
Şekil 4.3. Pasivasyonsuz, Gazdan Arındırılmış Asitli Zn-Ni Kaplama Görüntüleri.....	37
Şekil 4.4. Pasivasyonlu, Gazdan Arındırılmış Alkali Zn-Ni Kaplama Görüntüleri.....	37
Şekil 4.5. Alkali Çinko Kaplama Prosesi Basamakları.....	38
Şekil 4.6. Elektrikli Temizleme Sistematiği.....	39
Şekil 4.7. Akım Yoğunluğu Ve Potansiyeli.....	42

Şekil 6.1. X-Ray Cihazı.....	49
Şekil 6.2. SEM Cihazı.....	49
Şekil 6.3. Pull-Off Adhezyon Test Cihazı.....	50
Şekil 6.4. Su Direnci Test Cihazı.....	51
Şekil 6.5. Tuz Sisi Test Cihazı.....	52
Şekil 6.6. Taş Çarpma Test Cihazı.....	52
Şekil 6.7. Çevrimsel Korozyon Test Cihazı.....	53
Şekil 6.8. Scab Korozyon Test Cihazı.....	54
Şekil 7.1. 5–8 µ Alkali Çinko-Demir Kaplanan GGG-40 Numunesi.....	68

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

α : Alfa

γ : Gama

δ : Delta

ζ : Zita

η : Eta

dk: Dakika

ml: Mili Litre

min: Minimum

dm: Desi Metre Kare

sn: Saniye

gr/l: Gram/Litre

μ S: Micro Siemens

cm: Santimetre

ms: Metre/Saniye

μ m: Mikrometre

l/dk: Litre/Dakika

$^{\circ}$ C: Derece Santigrat

$^{\circ}$ F: Derece Fahrenheit

ppm: Parts Per Million

A/dm: Amper/Desi Metre

EPD: Electrophoretic Deposition

KTL: Cathodic Lacquer

ED: Electro Deposition

EO: Etoksi

PO: Propoksi

EDS: Enerji Dağıtıcı Spektroskop

ESCA: Elektron Spektroskop

XRD: X-Işın Kırınımı

SRIRA: Specular Reflectanc Infrared Absorption

ESR: Electro Spin Resonance

SEM: Scanning Electronic Micrographs

CRS: Cold Rolled Steel

UF: Ultrafiltrat

DI: Deiyonize

PVC: Poli Vinil Klorür

DIN: Deutsche Institute Norm

IR: İnfrared

VOC: Volatile Organic Compound

ZN: Çinko

AL: Alüminyum

ISO: International Standart Organization

EN: European Norm

CR: Krom

AD: Yapışma Derecesi (Adhesion Derecesi)

ASTM: American Standart Test Method

HV: Vickers Sertliği

1. GİRİŞ

Kataforez kaplama otomotiv ana sanayii sektöründe ilk kat (astar) olarak metal yüzeye uygulanır. Bununla beraber kataforez kaplama otomotiv yan sanayilerinin gelişmesiyle birlikte yaygınlaşmış olup, fason üretim olarak da çok değişik hacim boyutlarında (1 ton-500 ton) çalışılmaktadır. 2000’li yıllardan sonra, kataforez kaplama otomotiv sektörü dışında beyaz eşya, mobilya, savunma, genel endüstri, tarım ekipmanları gibi sanayilerde de aktif olarak her geçen gün yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaplama yöntemi metal parçaları korozyona karşı korumada en etkili sistem olmakla beraber parça ömrünün de uzamasını sağlanmaktadır.

Çinko kaplamalar, birçok yapısal ve genel mühendislik uygulamalarında malzemelerin korozyondan korunması için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kaplamalar iyi bir korozyon direnci göstermesinin yanı sıra malzeme üzerinde iyi mekanik özellikler göstermekte, kaynak yapılmasına olanak sağlamakta ve boyanabilmektedir. Öte yandan, yüksek çözünme hızı çinko kaplamaların kullanımını kısıtlamaktadır. Çinko kaplamaların kullanım ömrü, fosfatlama, üç değerlikli krom pasivasyonu ve silisleme prosesleri gibi pasivasyon süreçleri ile uzatılabilmektedir. Çinko korozyon dirençlerinin özellikleri; Ni, Co, Sn ve Cr gibi geçiş metalleriyle birlikte alaşımlandırılarak önemli ölçüde iyileştirilebilir. (Ganesan vd., 2014:143)

Bu teknolojinin gelişmesindeki en büyük nedeni, özellikle otomotiv endüstrisindeki yüksek korozyon performansı beklentisidir. Bir diğer neden de birçok gelişmiş ülkelerde yasaklanan ve aşırı zehirli olan kadmiyumun yerine çözüm olarak çinko kaplama ihtiyacına gerek duyulmuş olmasıdır.

Çinko alaşım kaplamalarının kullanımı birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Bunun avantajı elektrokimyasal olarak, alaşımların bileşimindeki elementlere göre farklı korozyon potansiyellerine sahip olmasıdır. (Kılınç, 2019:3)

Günümüzde birçok çinko alaşım süreci ticari olarak kullanılmaktadır. Belirli bir prosesin seçimi, son ürünün gereksinimlerine ve kullanım koşullarına bağlıdır. Çinko- demir, çinko-kobalt, çinko-nikel ve çinko-kalay en çok tercih edilen alaşımlardır. (Nabil, 1994:23)

Bu çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, tez konusunun seçilmesinin nedenleri sırasıyla;

- i) Soğuk iklimlerde kullanılan ve darbeye maruz kalan otomotiv parçalarının çevrimsel korozyon ve darbe dayanımı performansını aynı anda artıracak kaplama çeşitlerine

- ihtiyaç duyulması (özellikle araç iskeletinin altında yer alan parçalar için),
- ii) Yüksek film kalınlığına sahip, 300-500 μ , özel formüle edilmiş boyalar ile istenilen dayanımın sağlanması için uygulanan yöntemlerin ekonomik olmaması,
- iii) Uygulanan yöntemler sonrası parçaların montajı sırasında ekstra işçiliğin gerekmesidir.

Yukarıda belirtilen nedenlere ek olarak, 2010 yılından sonra otomotiv sektöründe kilit menteşe grupları, bağlantı elemanları ve akü bağlantı elemanları gibi parçalarda yüksek korozyon direnci, yüksek kimyasal dirençten dolayı yeni bir kaplama yönteminin geliştirilmesine ilişkin çalışmalar da bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesine öncü olmuştur.

Bu çalışmanın literatürde yer alan diğer çalışmalardan farkı; en iyi yöntem olarak kataforez kaplamanın yüksek korozyon, yapışma, penetrasyon gibi özellikleriyle birlikte çinko alaşımlı kaplamanın kimyasal direnç, sürtünme katsayısı, ince ve homojen kaplama kalınlığı gibi özellikleri bir araya getirilmesidir.

2. KOROZYON

2.1. Korozyon, Oluşumu ve Zararları

Korozyon, metal ya da metal alaşımlarının çevresiyle etkileşime girerek kimyasal veya elektrokimyasal olarak aşınmaları, bünyelerinde fiziksel ve kimyasal değişik oluşmasıdır. Korozyon, bir malzemede gerçekleşen ve zamanla malzemenin kademeli olarak bozulmasına neden olan radikal bir yıkıcı işlemdir. Korozyon aynı zamanda çürüme, aşınma ve bozulma anlamlarına da gelir (Kalan, 2019:36-42).

Metaller normal kullanım ortamlarında da kolaylıkla korozyona uğrayabilmektedirler. Bunun temel nedeni metallerin sahip oldukları kararlı yapıya dönme eğilimleridir. Bir ortamda korozyon olayının gerçekleşmesi için anot, katot ve elektrolit olmak üzere üç unsur bulunmalıdır. Elektrolit, korozyon olayının gerçekleşebilmesi için bulunması gereken elektriksel olarak iletken olan bir çözeltilidir. Elektrotlar ise anot ve katot olmak üzere farklı metallerden veya farklı elektrokimyasal gerilime sahip bölgeleri olan aynı metalden oluşmaktadır. Korozyon, iki elektrot arasındaki elektrik potansiyelinde bir fark olduğu takdirde meydana gelmektedir (Kalan, 2019:36-42).

2.2. Korozyon Türleri ve Korunma Yöntemleri

Korozyon türlerinin bulundukları ortamın farklılık göstermesi sebebiyle, malzemenin sahip olduğu korozyon oluşum önem derecesi de her korozyon türü için birbirinden farklıdır.

Korozyon olayı çevreye bağlı olarak kimyasal ve elektrokimyasal olarak sınıflandırılabilir. Kimyasal korozyon, sıvı yokluğunda ve ortamın çığlenme noktasının üzerinde genellikle paslandırıcı yapıda bulunan buharlar ve gazlar tarafından yüksek bir sıcaklıkta meydana gelmektedir. Elektrokimyasal korozyon ise bir sıvı varlığında ortaya çıkar ve genellikle sulu bir solüsyon veya elektrolit içerir. Elektrokimyasal korozyon olayının çokça gerçekleşmesinin sebebi, atmosferde bulunan çözünmüş su buharından kaynaklanmaktadır. Genel olarak sulu ortamlardaki metallerin korozyonu elektrokimyasal proseslere atfedilmiştir. Yani metallerin elektrokimyasal korozyonu, anodik bir oksidasyon ve katodik bir redüksiyon reaksiyonunun kombinasyonu olarak tanımlanmıştır. Korozyona maruz kalmış malzemelerde kütle kayıpların oluşması malzemelerin dayanımlarının düşmesine ve ömürlerinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca meydana getirdiği kimyasal reaksiyonlar sonucunda malzemelerin mekanik özelliklerinin değişmesine sebep olmaktadır (Duysak, 2019:21-25).

Genel olarak korozyon türleri,

- Homojen dağılımlı korozyon-üniform korozyon:

Genel olarak tüm malzeme yüzeyinde eşit bir hızda gerçekleşen korozyon olarak tanımlanabilmektedir (Topal, 2016:3-10).

- Galvanik korozyon-metal çifti korozyonu:

Bu korozyon genellikle bir elektrolit ortamda, birbirine benzemeyen iletkenlerin aralarında meydana gelen, elektriksel iletkenliğe bağlı olarak oluşan temasın meydana getirdiği korozyon olarak tanımlanabilir (Topal, 2016:3-10).

- Aralık korozyonu-çatlak korozyonu:

Farklı isimlerde oluşan bu korozyon türleri genellikle mekanik olayların etkisi altında çatlak oluşumuyla meydana gelmektedir (Topal, 2016:3-10).

- Çukur korozyonu:

Sadece belirli bir bölgede meydana gelen korozyon olarak tanımlanabilir (Topal, 2016:3-10).

- Taneler arası korozyon:

Metal malzemenin iç yapısındaki atomlar arasında meydana gelen korozyondur (Topal, 2016:3-10).

- Hız etkili Korozyon:

Bir akışkan içerisinde meydana gelen korozyon çeşididir. Akış durumuna göre farklı şekillerde oluşur. Akışın hızlı seyrettiği bölümlerde erozyon korozyonu, daha yüksek hızlarda seyrettiği bölümlerde ise kavitasyon korozyonu meydana gelir (Topal, 2016:3-10).

- Aşınma Korozyonu:

Yük altında meydana gelen bu korozyonda, temas halindeki yüzey ile yük arasında meydana gelen titreşimlerin yol açtığı kayıplara, aşınma korozyonu adı verilmektedir (Topal, 2016:3-10).

- Yüksek sıcaklık korozyonu:

İki farklı durumda meydana gelen bu korozyon yüksek sıcaklıktan kaynaklanan

korozyonlar olarak bilinmektedir (Topal, 2016:3-10).

Korozyon hasarının hem fiziksel hem kimyasal bir değişim olması oluşacak hasarın önemini vurgulamaktadır. Korozyon, metallerde kütle kaybına sebebiyet vererek dayanımda ve kullanım ömründe azalma meydana getirmekte ve oluşan kimyasal reaksiyonlarla da malzemenin özelliklerini değiştirebilmektedir (Topal, 2016:3-10).

Korozyondan korunma türleri,

- Koruyucu Kaplama
- Malzeme Seçimi
- Tasarım

Bu üç yöntemle korozyon oluşumunun önüne geçilebilmektedir (Topal, 2016:3-10).

3. KATAFOREZ KAPLAMA

3.1. Kataforez Kaplama Tarihi ve Tanımı

Elektroforez, aynı zamanda kataforez olarak da adlandırılır, elektrik yüklü parçacıkların bir akışkanın bir elektrik alanının etkisi altında hareketidir. Parçacıklar yerine sıvının harekete geçmesi durumunda (örneğin sabit bir diyafram aracılığıyla), bu olguya elektroozmoz denir. Elektroforez, kolloidler (örneğin proteinleri) analiz etmek ve ayırmak veya elektron tüplerinde kullanılan elementlerde olduğu gibi kaplamaları biriktirmek için kullanılır. 1930'da İsveçli kimyager Arne Tiselius, elektroforezin analitik bir teknik olarak kullanılmasını sağlamıştır. Tiselius, koloidal parçacıklar içeren aynı sıvının bir miktarının üzerine bir saf sıvı tabakasının (yani parçacıklar olmadan) yerleştirildiği hareketli-sınırlı bir gözlem metodunu başlatmış; iki sıvı tabakası arasındaki sınırın görünür olduğunu ve elektroforez esnasında parçacıkların hareket ettiğini bulmuştur (Lawrance, 1963:27-39).

Kataforez kaplama, Dr. George E. F. Brewer ve Ford Motor Company ekibinin, otomobillerin kaplanması sürecini geliştirmek için 1950'lerin sonunda yaptıkları çalışmadan sonra bugünkü şeklini almaya başlamıştır. İlk ticari anodik otomotiv sistemi 1963 yılında faaliyete geçmiştir. Katodik bir elektroforetik depolama (Electrophoretic Deposition, EPD) ürünü için ilk patent 1965'te yayınlanmış ve BASF AG'ye verilmiştir. 1970 yılında ticari olarak katodik EPD'yi ilk tanıtan firma PPG Industries Incorporation olmuş, otomotiv endüstrisinde ise ilk katodik EPD kullanımı 1975'te gerçekleşmiştir. Bugün dünyada kullanılan EPD hacminin yaklaşık %70'i katodik EPD tipidir ve bunu sağlayan ise büyük ölçüde otomotiv endüstrisinin de teknolojinin yüksek kullanımıdır. Muhtemelen şimdiye kadar geliştirilen en iyi sistemdir ve otomotiv endüstrisinde parça ömrünün uzamasına neden olmuştur. Çeşitli EPD kompozisyonları, EPD işlemleri ve EPD ile kaplanmış eşyalarla ilgili olarak verilen binlerce patent vardır. Her ne kadar patentler çeşitli devlet patent ofisleri tarafından verilmiş olsa da ABD Patent ve Ticari Marka Ofisi tarafından yayınlanan patentler gözden geçirilerek hemen hemen bütün önemli gelişmeler takip edilebilir (Lawrance, 1963:27-39).

Kataforez ile kompleks yapıdaki parçalar kaplanabildiği için sanayide çok geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu alanlar:

- Otomobiller ve otomotiv yan sanayi
- Tarım aletleri ve tarım sektöründe kullanılan araçlar

- Büyük taşıtlar (otobüs, kamyon, treyler) ve iş makinaları
- Beyaz eşya ve radyatör
- Deniz aletleri
- Ofis alet ve gereçleri
- Ve daha birçok alanlarda

Günümüzde kataforez dört farklı isim ile anılmaktadır. Bunlar:

- Elektro kaplama (E-Coat)
- Katotik cilalama (Cathodic lacquer, KTL)
- Elektro depolama (Electro deposition, ED)
- Kataforez (Cathaphoresis)

3.2. Kataforez Prosesinde İş Akışı

İdeal bir kataforez kaplama prosesi aşağıdaki Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Kataforez kaplama prosesi iş akış şeması

Y YÜZEY HAZIRLAMA PROSESİ							ELEKTRO KAPLAMA PROSESİ		KÜRLENME PROSESİ
YAĞ ALMA	DURULAMA	AKTİVASYON	FOSFAT KAPLAMA	DURULAMA	PASİVASYON	DEİYONİZE DURULAMA	KATAFOREZ KAPLAMA	ULTRAFİLTREANT DURULMA	PİŞİRME FIRINI

Tablo 3.1.'de de gösterildiği kataforez kaplama prosesi;

- Yüzey hazırlama prosesi
- Elektro-kaplama prosesi
- Kürlenme prosesi olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

3.2.1. Yüzey Hazırlama Prosesi

Yüzey hazırlama, tüm kaplama proseslerinde olduğu gibi kataforez kaplama yapılacak malzemenin üzerindeki yağın, metal tozunun ve diğer kirliliğin uzaklaştırılıp kaplamaya uygun hale getirilmesi için standart olarak uygulanan yüzey hazırlama prosesidir ve aşağıdaki aşamaları kapsamaktadır.

3.2.1.1. Yağ Alma

Yağ almanın görevi metalden tüm kirlilik çeşitlerini uzaklaştırmaktır. Kataforez kaplama hatlarında kullanılan alkali temizleyiciler, sıvı veya toz şeklindeki kimyasallardan oluşur. Sıvı kimyasallar genellikle yüzey aktif madde ve ayırıcı bileşenlerden oluşur. Bileşikler inorganik tuzlardan, yüzey aktif maddeler de organik bileşenlerden meydana gelmektedir. Bileşiklerin en etkin görevi metal taneleri, kaynak rengi gibi pigment kirlitici maddeleri ve inorganikleri metalden uzaklaştırmaktır. Yüzey aktif maddelerin görevi ise yağ, gres yağı ve organik atıkları metalden uzaklaştırmaktır (Kılınç, 2019:4-7).

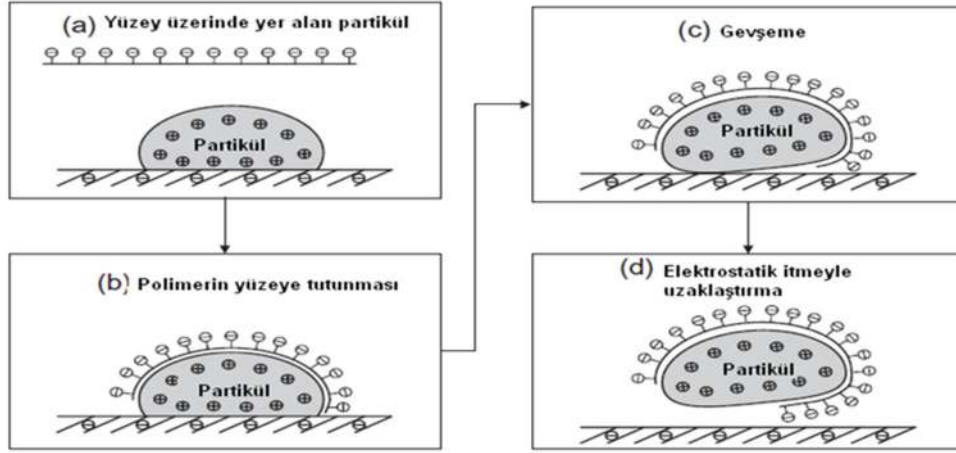
Alkali temizleyiciler içerisinde kullanılan tipik bileşikler aşağıdaki gibidir.

- NaOH, KOH, Na₂CO₃, K₂CO₃ → Alkaliliğin sürekliliğini sağlama
- Silikatlar → Partikül uzaklaştırma, inhibitör, buffer (tampon)
- Orthofosfat → Temizleme
- Yoğunlaştırılmış fosfatlar → Yağ alma + Kompleks oluşumu
- Kompleks ajanları → Kompleks oluşumu

Yüzey aktif maddeler hidrofilik ve hidrofobik gruplar içerir. Bunlar:

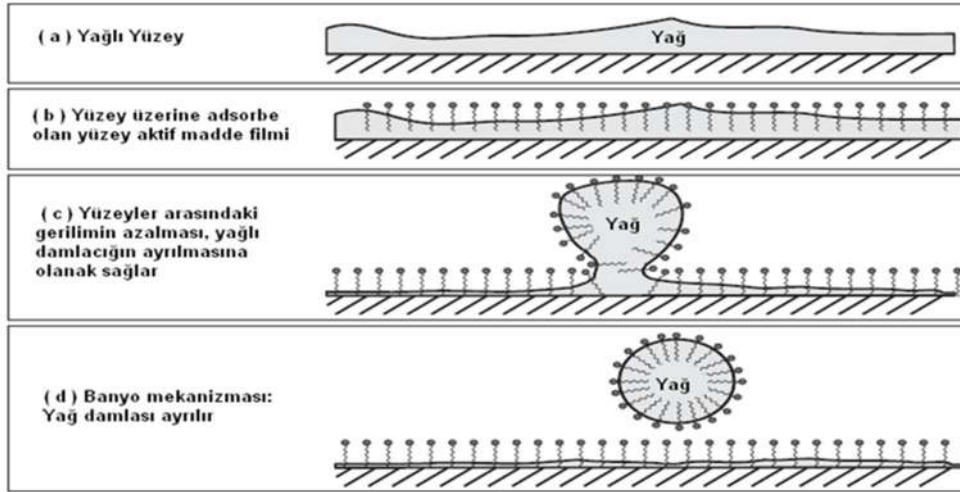
- Hidrofilik gruplar etoksinin (EO) uzun zinciri veya propoksi (PO) molekülünün zinciridir.
- Hidrofobik gruplar özel uzun bir alkali zincirdir.

Yüzey aktif maddeler anyonik, katyonik, non-iyonik ve amfoter yüzey aktif maddeler olarak sınıflandırılabilir. Kataforez kaplama proseslerinde yüzey aktif madde olarak çevresel uyumu en iyi olan çeşitli non-iyonik yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır (Kılınç, 2019:4-7).



Şekil 3.1. Partikülün yüzeyden ayrılma mekanizması

Kaynak: (Kılınç, 2019:4-7)



Şekil 3.2. Yağın yüzeyden ayrılma mekanizması

Kaynak: (Kılınç, 2019:4-7)

Yağ alma çözeltileri hem sprej hem de daldırma yöntemiyle uygulanabilir.

i) Sprej uygulamanın avantajları aşağıdaki gibidir:

- Kısa uygulama zamanı
- Basit geometrili parçalar için uygundur.
- Partikülü uzaklaştırmak için mükemmeldir.
- Düşük sıcaklık uygulamaları açısından sınırlıdır. Yüzey aktif maddeler düşük sıcaklıkta köpürme eğilimindedir.

- Fırçalama işlemleri ile birlikte kullanılabilir.

ii) Daldırma uygulamaların avantajları aşağıdaki gibidir:

- Bağlantılı zor alanların mükemmel temizlenmesini sağlar (kutu kesiti, kenar bağlantısı).
- Sprey uygulamalarla karşılaştırıldığında yüksek konsantrasyon ve uygulama zamanı gereksinimi vardır.
- Büyük banyo hacminden dolayı stabilitesi yüksektir.
- Yağ alma banyosunun kontrolü çoğunlukla titrasyon yöntemiyle yapılır. Toplam ve serbest alkalite farklı titrasyon metotları ile belirlenir.
- Alüminyum ve çinko kaplı çelik yüzeyler, alkali yağ alma banyolarında aşındırılır. Borat ve silikat gibi inorganik inhibitörler, alüminyum ve çinko kaplı çelik yüzeyler üzerinden aşırı aşınmaya karşı yüzeyi korumak için kullanılır. Borat ve silikat gibi inhibitörlerin eksikliği veya bulunmaması aşırı lokal aşınmalara sebep olur ve bu da beyaz leke oluşumuna yol açar (Kılınç, 2019:4-7).

3.2.1.2. Durulama

Durulamanın görevi, metal yüzeyinde kalan kirlilikleri ve kimyasalları gidererek bu kimyasalların sonraki kimyasal banyolarına aktarılmasını engellemektir. Metal yüzeyinde kalan kimyasallar sonraki adımda problemlerin oluşmasına yol açmaktadır.

3.2.1.3. Aktivasyon

Aktivasyon, metal yüzeyi üzerinde oluşan kristal çekirdeklerin sayısını attırır. Bunun sonucu olarak birim yüzey alanı başına düşen fosfat kristali sayısı artar. Aktivasyon yüzeyi kısa zamanda homojen kristallerle kaplar ve uygulandığı yüzeydeki fosfat kaplama ağırlığını azaltır. Aktivasyon işlemi fosfat prosesinin etkinliğini artırır.

Çinko fosfatlamadan önce yer almasından dolayı, aktivasyon işleminde pH'ı 7 ila 11 aralığında olan titanyum ortofosfatın sulu dispersiyonları kullanılmaktadır. Titanyum fosfat aktivatörleri piyasada toz ve sıvı formda bulunur. Sulu dispersion içerisindeki kolloidler, $\text{Na}_4\text{TiO}(\text{PO}_4)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ kompozisyonuna sahip yuvarlak biçimli taneciklerdir. Bu tanecikler, kolloidal dispersion uygulaması boyunca metal yüzey üzerine fiziksel olarak tutulur. Aktif substrat (aktivasyon işlemi yapılmış malzeme) çinko fosfat banyosu ile temas ettiği zaman,

titanyum fosfat yüzeyi üzerindeki sodyum iyonları ile fosfat çözeltisinde yer alan çinko iyonları arasında bir iyon değişimi olur. İyon değiştiren parçacıklar çinko fosfat kristalleri için çekirdekleşme ajanı görevi görür. Bunun nedeni, reaksiyonun yaklaşık aynı stokiometriye sahip olmasıdır ve epitaksiyel gelişim için bir kristalografik yüzeye sunulmasıdır. Fosfat kaplamanın çekirdekleşme hızı metal yüzeyine uygulanmış olan aktivasyonla belirgin olarak artar.

Aktivasyon banyosunun etkinliği işlem hacminden (aktivasyon banyosundan geçen malzeme miktarı) bağımsız olarak zamanla azalır. Banyo etkinliği, spesifik ürün formülasyonuna da bağlı olarak büyük miktarda değişmektedir. Titanyum fosfat kolloidinin negatif yüklü olması, iki ve üç değerli katyonlarla indirgenmesiyle açıklanabilir. Özellikle Ca(II) ve Mg(II) iyonları sert sular içerisinde kontrol altında tutulabilmektedir. Çift değerlikli iyonlarla indirgenmeyi azaltmak için çoğu aktivatör ürün, sözü edilen katyonlar ile kompleks oluşturan derişik polifosfatları içerir (Kılınç, 2019:7-9).

Aktivasyon banyolarının saf su ile kurulması ve kayıpların da aynı kalitede su ile tamamlanması özellikle tavsiye edilmektedir. Aktivatör ürüne, banyo içerisinde kirlenmenin düzeyine, istenilen kristal boyutu ve kaplama ağırlığına bağlı olarak belirli sürelerde aktivasyon banyosuna %25 oranında atılıp kimyasal ilavesi yapılmalı veya tüm banyo atılıp yeniden kurulmalıdır.

Sıvı aktivatör ürünler tank içerisine direk olarak beslenir. Bu ürünler yüksek viskoziteli olduğundan dozajlama işlemi için özel pompalara ihtiyaç vardır. Toz ürünler ön karıştırma tanklarında ağırlıkça %0,5-1'lik olarak hazırlanır ve ürün çalışan banyo içerisine dozajlanır. Titanyum fosfat dispersiyonunun çökmesini önlemek için aktivasyon banyosunun sürekli karıştırılması tavsiye edilir. Aktivasyon banyolarında karıştırma işlemleri hava karıştırılmalı ve pompa yardımı ile karıştırma olmak üzere iki şekilde gerçekleşebilir. Karıştırma işleminde karıştırma hızı önem taşımaktadır. Bu hareket doğrudan fosfat kristal yapısını etkilediği için pompa ile karıştırmada, banyo saatte maksimum 5 tur dönmelidir. Hava karıştırmada ise hava basıncı 3-5 bar arasında olmalıdır (Kılınç, 2019:7-9).

3.2.1.4. Fosfat Kaplama

Demir ve demir dışı metallerin son işlem ve yüzey işlemi için, metal ön işlem proseslerinde fosfat çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekonomik olması, operasyon hızının yüksek olması, mükemmel korozyon direnci ve aşınma direnci göstermesi, adezyon ve yağlama

özelliklerinden dolayı fosfat kaplama, otomotiv endüstrisinde ve cihaz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Fosfat kaplamanın kristal şekli ve büyüklüğü, uygulama metoduna (sprey veya daldırma), banyonun karıştırılma derecesine, banyo kimyasallarına, banyo kimyasal çeşitlerine, hızlandırıcının kalitesine ve diğer metal iyonlarının varlığı gibi faktöre bağlı olarak değişmektedir. Chamberlain ve Eisler metal yüzeyi ile fosfat banyosunun birkaç saniye temasında metale saldırarak, çok ince film oluşturacak radyoaktif izotopları bulmuştur. Oluşacak olan bu film metalin fosfatlarını ve oksitlerini içermektedir. Metal olarak çelik kullanıldığında Fe(III) fosfatın oluşması çok muhtemeldir. Fosfat kaplamanın gelişimi alt kristal yüzeyinin oluşumu ile başlar ve fosfat kristalleri bu alt kristal yüzeyi üzerinde hızla oluşur. Gelişmekte olan kristallerin sayısı zamanla sabitlenir, çünkü çekirdeklenme ve gelişme yalnızca alanın sabit sayısı ile sınırlanmıştır. Kristal yapısı ve boyutu; yüzey ön hazırlama metodu, sıcaklık ve banyo kompozisyonu gibi birçok faktöre bağlı olarak değişir.

Çoğu enstrümantal metot fosfat kaplama bileşenlerinin kontrolü için kullanılmaktadır. Bunlar enerji dağıtıcı spektroskop (energy distribution spectroscopy, EDS), kimyasal analizler için elektron spektroskopu (electron spectroscopy, ESCA) ve x-ışını kırınımı (x-ray diffraction, XRD). Neuhaus XRD analizleri raporlarına göre, fosfolitler $Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ve hepoitler $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ demir üzerine çinko fosfat kaplamada önemli bileşenlerdir. Temel metal ile temas eden yüzeyde fosfolit oluşur. Fosfolit veya hepoit halin sayısal oranı değişkendir ve çözeltinin içerdiği toplam demir miktarına bağlıdır. Çözelti içerisindeki Fe(II) miktarı yükseldiği zaman demir $Fe_5H_2(PO_4)_4 \cdot 4H_2O$ formunda yer alır. Demir zararlı etkilere sahip olduğundan dolayı kaplama içerisindeki demir miktarının oranı önemlidir. Bu nedenle, fosfat kaplama içerisindeki fosfolit ve hepoit halin niceliksel bakımdan açıklanması için P oranı belirlenmelidir (Sankara N, 2005:2-48).

$$P \text{ Oranı} = \frac{\text{Fosfolit}}{\text{Fosfolit} + \text{Hepoit}} \quad (3.1)$$

Kristallerarası boşluklar ihmal edilip, düzensiz yüzey ve fosfat kaplamalı yüzeyin tam olarak homojen olduğu kabul edilirse, fosfat tabakasının kaplama kalınlığı ölçülebilir. Fosfat kaplama çeşidine göre kalınlık 1-50 μm arasında değişir. Pratik amaç için kalınlık genellikle birim alan başına düşen ağırlığa göre belirlenir ve genellikle kaplama ağırlığı olarak isimlendirilir. Kaplama kalınlığı ve kaplama ağırlığı arasındaki bu oran Lorin'e göre çoğu endüstriyel fosfat için 1,5–3,5 μm arasında değişir. Düşük ve orta ağırlıklı kaplamalarda 1,0

um kalınlık 1,5–2,0 g/m²'ye eşdeğerdir. Kaplama ağırlığının belirlenmesi tahrip edici bir testtir. Bu testte önce standart test plakası tartılır, sonra bir çözelti içerisinde kaplama sökölür ve kaplama yok olur, aradaki farktan kaplama ağırlığını hesaplanır. Yaygın fosfat sökme metotları inhibitör olarak 20 g/L Sb(III) oksit içeren konsantre kromik asit çözeltisi (%5) veya sodyum hidroksit (%15'lik) çözeltisidir (Sankara N, 2005:2-48).

Tahribatsız çinko fosfat kaplama ağırlığını belirlemek için speküler yansıma kızılötesi emilimi (Specular Reflectance Infrared Absorption, SRIRA) cihazı Cheever tarafından geliştirilmiştir. Cihaz metal üzerindeki kaplama kalınlığını direk olarak belirleyebilmektedir. Fosfat endüstrisinde genellikle kaplama ağırlığı bir kalite kontrol metodu olarak kullanılır. Fakat fosfat kaplama ağırlığı direkt olarak korozyon performansı ile ilişkili değildir. Fosfat kaplama ağırlığı, kaplamanın kalitesini değerlendirmede yalnızca bir değerdir. Kaplama kalınlığı, viskozite, yapı homojenliği vs. gibi fosfat kaplamanın diğer karakteristikleriyle beraber dikkate alınmalıdır.

Kaplama gözenekliliği kaplamanın kimyasal kompozisyonuna, banyonun demir miktarına, uygulama süresine ve fosfat çözeltisinin çeşidine bağlı olarak değişir. Yüzey sadece fosfat kaplı olduğunda, kaplamanın gözenekliliğinin fazla olması fosfat kaplamanın korozyon performansını olumsuz etkiler.

Fosfat kaplama gözenekliliği bazı durumlarda büyük avantaj sağlar. Çünkü fosfat kaplama içerisindeki boşluklar büyük bir rezervuar (depo) gibi davranarak organik maddelerin (kataforez ve toz boya) biriktirilmesinde önemli rol oynar. Homojen kristalli fosfat kaplamalar, boya filminin adezyonunu arttırdığı için kataforez ve toz boya kaplama öncesi yüzey hazırlama prosesinde tercih edilir. Bundan başka; iri kristal taneli fosfat kaplamalar, yağlama ve vernik işlemi yapılacak malzemelerin ön işleminde de tercih edilmektedir.

Fosfat kaplamanın kararlılığı önemli bir karakteristik özelliktir. Fosfat kaplama, takibinde yapılacak boya prosesleri için bir ön işlemdir. Son zamanlarda boya ile ilgili çalışmalarda çok sayıda gelişme yaşanmıştır. Kataforez kaplama öncesi ön işlem proseslerinde çinko fosfat kaplama yerine, üç katyonlu çinko fosfat kaplamanın geliştirilmesinin sebepleri aşağıdaki gibidir:

i) Fosfat kaplamanın gözenekliliğini azaltmak: Kataforez kaplama süresince su, hidroksil iyonlarına ayrışır. Hidroksil iyonlarının oluşumu, fosfat kaplamanın ayrışmasına sebep olduğu için kritik olarak değerlendirilir. Bazı araştırmacılar yüksek pH ortamında fosfat

tabakasının çözünebileceğini doğrulayıp, kataforez kaplama süresince fosfat kaplamanın da yaklaşık %30-40 oranında çözülebileceğini belirtmişler, bu çözünmeye fosfat kaplamanın yüksek kaplama gözenekliliğinin sebep olduğunu bildirmişlerdir (Sankara N, 2005:2-48)

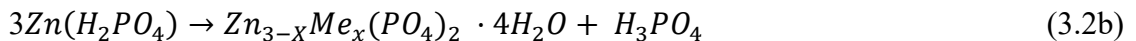
ii) Fosfat kaplamadaki ağırlık kaybının azaltılması: Kataforez kaplamanın kürlenmesi için gerekli olan sıcaklık ve zaman değerleri yaklaşık 180 °C ve 20 dakikadır. Kojima, Sugaya ve Kondo'ya göre bu gibi kürlenme şartları altında fosfat kaplamayı oluşturan kristaller yapı değişimine uğrar, bu nedenle fosfat kaplamada belirgin bir ağırlık kaybı olur. Bu ağırlık kaybının %15' den daha az olacak şekilde kısıtlanması gerekir. Aksi takdirde fosfat kaplamanın bozunmasına sebep olur ve bu durum da korozyon dayanımını azaltır (Kojima vd., 1982:145).

iii) Fosfolit içeriği zengin fosfat kaplama elde etme: Fosfat kaplamanın termal stabilitesi belirlenirken kataforez kaplamanın normal pişirme şartları göz önünde bulundurulmuştur. Bu durumda fosfatlı yüzeyde hepoit ve fosfolit bihidrat kristalleri oluşacaktır. Bu bihidrat hepoit ve fosfolitin rehidratasyonu ıslak adezyon özelliklerini belirlemede oldukça önemli bir rol oynar. Sulu çözelti içerisine daldırma (su banyosunda bekletme) veya yüksek nemli atmosfere maruz kalma gibi dehidratasyon şartları altında hepoit bihidrat kristalleri, çinko oksidin oluşumuyla birlikte tetrahidrat halde rehidratasyona uğrar. Bu ürünlerin oluşumu, gerilim oluşturarak boya ile fosfat arasındaki bağları gevşetmektedir. Bu süreç, boyanın ıslak adezyonu hakkında bilgi vermektedir. Fosfolit bihidrat kristalleri rehidrat fenomenunun direncini belirler. Kataforez kaplama, kürlenme ve kullanım şartları altında en uygun olan fosfat, fosfolit halce en zengin olan fosfattır. Fosfolit hal olarak en zengin fosfat kaplamalar elde etmek için fosfatın formülasyonu modifiye edilmektedir (Kojima vd., 1982:145).

iv) Çinko ve çinko alaşım kaplamalı çelikler üzerinde hepoit hal bakımından zengin olmayan fosfat tabakası elde etme: Otomobil araç iskeletlerinde çinko, çinko alaşım kaplamalı çelikler gibi önceden kaplanmış çeliklerin kullanımıyla beraber, fosfat kaplamanın stabilitesi ile ilgili olarak çözünmeye gereken sorular ortaya çıkarmıştır. Fosfat kaplamada çinko fosfat banyosu kullanıldığı zaman, çinko ve çinko alaşım kaplamalı çelik yüzey üzerinde oluşan fosfat kaplama yalnızca hepoit halden oluşur. Daha önce belirtildiği gibi, hepoitçe zengin fosfat kaplamalar daha sonraki kataforez kaplama için istenmemektedir. Bu nedenle, fosfat kaplamanın formülasyonu hepoit bakımından zengin olmayan kaplama ürünleri ile modifiye edilmiştir (Kojima vd., 1982:145).

Tüm bu sebepler göz önüne alındığında, fosfat kaplama önemli amorf malzemelere sahip olmalıdır, fosfolitçe zengin olması önemli bir şart değildir. Mangan ve nikelin içerisinde girmesiyle modifiye olan düşük çinkolu fosfatlar kataforez kaplamalara uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır. Fosfat banyosundaki Mn^{+2} ve Ni^{+2} iyonlarının varlığı otomotiv endüstrisine çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Mn^{+2} iyonlarının kristal çekirdeklenmede Ni^{+2} iyonlarından daha çok etkin olduğu rapor edilmiştir. Mn^{+2} iyonlarının eklenmesi diğer faktörlere de yarar sağlamış ve Mn^{+2} iyonlarının varlığının fosfat kaplamalarda korozyon direncini arttırdığı ispatlanmıştır. Çinko fosfat banyoları içerisindeki Mn^{+2} iyonlarının varlığı fosfat kaplamanın oluşum hızını da arttırmaktadır. Bu da düşük banyo sıcaklığında çalışmaya olanak vererek, ısıtma maliyetlerinden büyük miktarda tasarruf edilmesini sağlamıştır. Ayrıca çinko fosfat kaplama içerisindeki Mn^{+2} iyonlarının varlığı galvanizli çelikler üzerinde beyaz beneklerin oluşmasını engellemektedir. Ancak mangan içeriğinin belirli bir miktarı aşmasından sakınılmalıdır. Bu durum korozyon direncinin azalmasına sebep olmaktadır. Çok gelişmiş analitik teknikler manganın kaplamanın her tarafına dağıldığını, oysa nikelin ara yüzeyde toplandığını ve ikisinin varlığının maksimum performansa katkıda bulunduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar Elektro Spin Rezonansı (Electro Spin Resonance, ESR) tekniğine dayanılarak doğrulanmaktadır. Fosfat banyosuna Ni^{+2} 'nin eklenmesi korozyon dayanımını arttırmanın yanı sıra kaplama yüzeyindeki adezyonu da artırır. Bu durum, fosfat kaplamanın gözeneklerin tabanında Ni^{+2} iyonlarının yer almasından kaynaklanmaktadır. Çinko kaplı çeliğin fosfatlanmasında, nikelin boya adezyonunu arttırması, yüzeyi korozyondan koruması, mikro kristalli fosfat yüzeyinin oluşumuna dayanmaktadır. Nikel, gözeneklerin tabanında yalnızca korozyon direncini arttırmada değil, fosfatlama boyunca yüzey reaksiyonlarını da hızlandırmada önemli rol oynar. Ayrıca nikel, fosfatın yapısında fosfat kristallerinin modifikasyonuna katılır ve nükleon merkezi olarak rol oynar (Zimmermann vd., 2003:20-22).

Nikel ve mangan hepoit yapıya girmekte ve aşağıdaki denklemlere göre oluşmaktadır.



Modifiye hepoit kristallerinin kimyasal yapısı $Zn_{3-x}Me_x(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ şeklindedir. Burada $Me = Ni$ veya Mn 'ı simgelemektedir. Nikel ve mangan bir arada olduğu zaman hepoit karışımının kimyasal yapısı $Zn_{3-x-z}Ni_xMn_z(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ şeklindedir. Böyle bir yapının olduğu ESR, kapsamlı x-ışını absorpsiyonu ince yapı spektroskopisi (Extended X-Ray Absorption Fine

Structure Spectroscopy, EXAFS), lazer raman spektroskopisi (Lazer Raman Spectroscopy, LRS) gibi farklı analitik tekniklerle doğrulanmıştır (Zimmermann vd., 2003:20-22).

Tüm fosfat kaplama uygulamalarının birinci adımı serbest fosforik asit ile metal yüzeyinin aşındırılmasıdır. Hızlandırıcı, aşındırma reaksiyonunu hızlandırdığı için fosfat kaplama banyosuna ilave edilir. Bu işlem, oluşan hidrojeni oksitleyerek bertaraf etmek ve banyoda biriken demiri iki değerlikli halden üç değerlikli hale getirip çöktürerek gerçekleşir. Hidrojen iyonunun tüketimi metal yüzeyine komşu difüzyon yüzeyindeki pH'ın değişimine yol açar. Çözünürlük limiti aşılar ve takibinde çinko fosfat çöker. Soğuk haddelenmiş çelik tabakasından, çinko kaplı çelik tabakasından ve alüminyum yüzeylerden 0,5-2,0 g/m² arasında metal aşınır (Zimmermann vd., 2003:20-22).

Çinko fosfat çözeltileri genellikle çinkonun dehidrojen fosfatlarını, nikel, mangan, serbest fosforik asit, sodyum nitrat, florsilisik asit, bir veya birkaç oksidasyon bileşiklerinden (sodyum nitrit, hidrojen peroksit, hidroksilamin, sodyum klorat, nitroguanidin (CN₄), N-metilmorpholin-N-oksit (NMMO), asetaldoksim, nitrobenzen sulfonat gibi) oluşur.

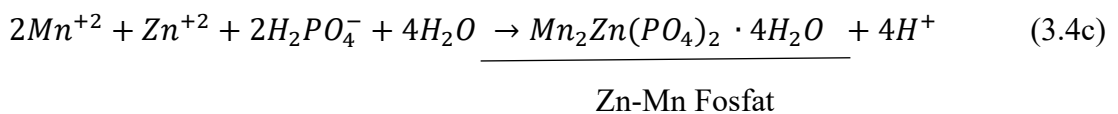
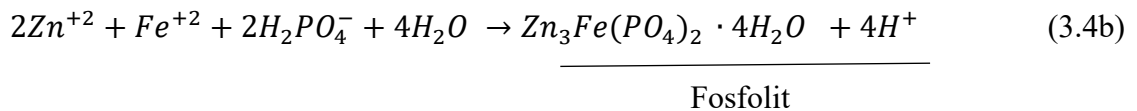
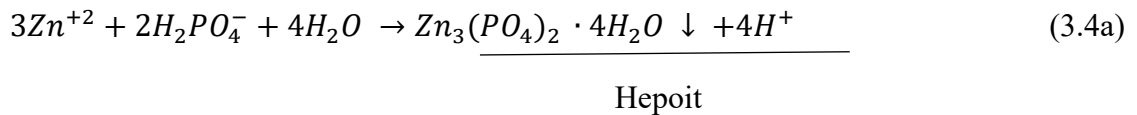
Zn, Ni, Mn iyonları, çelik yüzeyinden gelen demir iyonları, fosforik asitle beraber yüzey oluşumunda rol oynar. Diğer tüm kimyasallar hızlandırma, okside etme, kimyasal aşındırma, banyo ve film stabilizasyonu gibi fonksiyonları destekler (Zimmermann vd., 2003:20-22).

Çelik yüzey üzerindeki fosfat reaksiyonu 3.3, 3.4 ve 3.5 denklemlerinde gösterilmiştir.

Pickling reaksiyonu



Kaplama oluşumu



Çamur Oluşumu



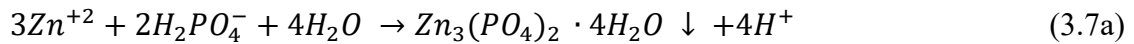
Aynı zamanda çelik ve alüminyum fosfatlama prosesleri için kullanılan fosfat banyoları, ayrıca flor (Hidroflorik asit, Alkali florür veya Alkali biflorür) içerir. Flor miktarı proses ve uygulama çeşidine (sprey veya daldırma) bağlı olarak 50 ila 250 ppm civarında değişir. Patent literatüründe düşük çinkolu fosfat proseslerinin çalışma çözeltileri içerisindeki Zn/PO₄ oranı belirlenmiştir. Başlangıçta bu oran 1:12-1:120 tanımlanmış, fakat bu günlerde bu oran 1:20-1:100 olarak değişmiştir. Fosfat kristalleri yalıtıcıdır. Fakat fosfat kaplı yüzey %1 gözenek teşkil eder. Bu kataforez kaplama için çok önemli bir ön koşuldur (Zimmermann vd., 2003:20-22).

Çinko kaplı çelik sac üzerindeki fosfat reaksiyonları 3.6 ve 3.7 denklemlerinde gösterilmiştir.

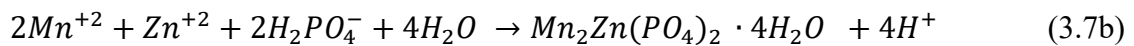
Pikling Reaksiyonu



Kaplama oluşumu



Hepoit



Zn-Mn Fosfat

Alüminyum yüzeyler üzerindeki fosfat reaksiyonları 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11 denklemlerinde gösterilmiştir.

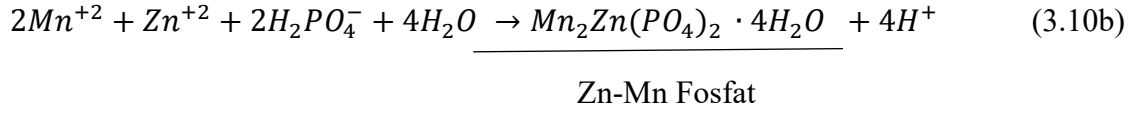
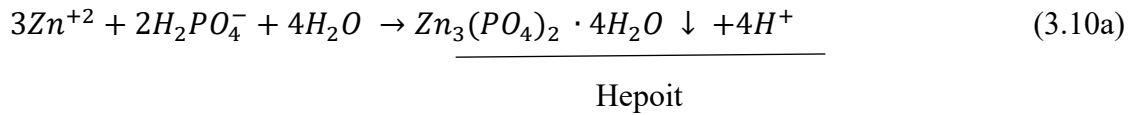
Pikling reaksiyonu



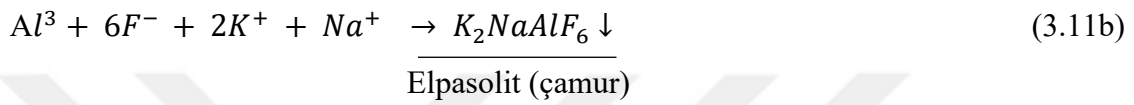
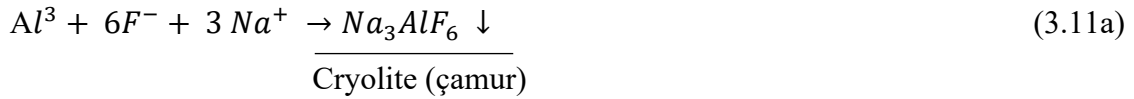
Kompleks oluşumu



Kaplama oluşumu

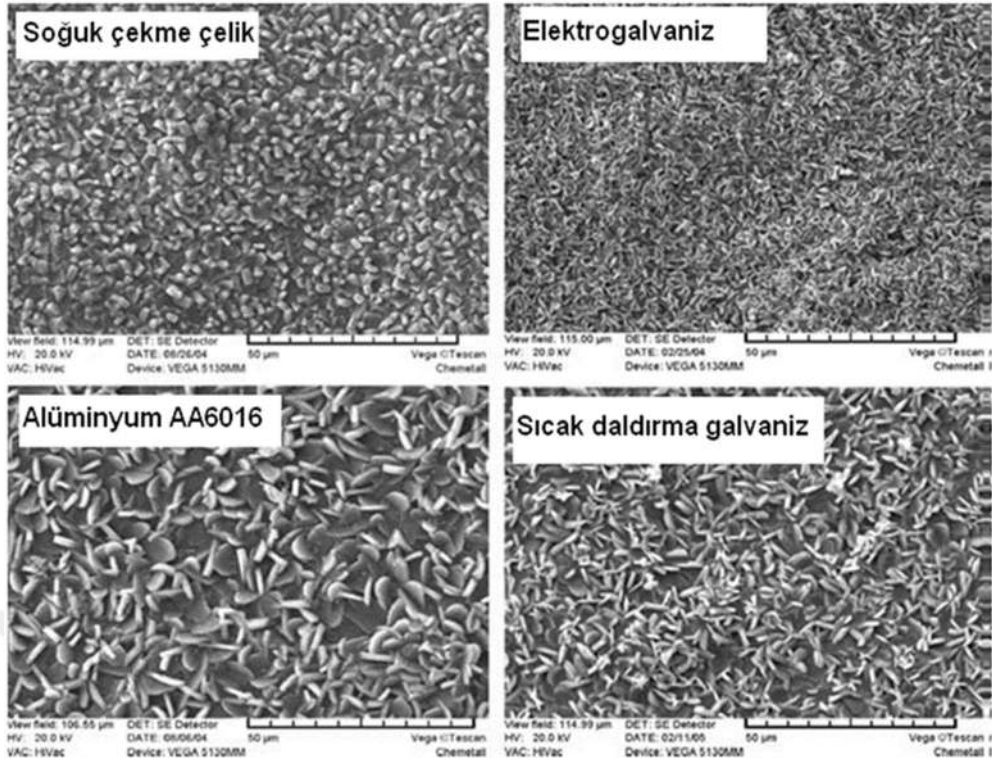


Çamur oluşumu



Çinko kaplı çelik saç üzerindeki fosfat reaksiyonları 3.6 ve 3.7 denklemlerinde gösterilmiştir.

Ön çalışmalarda elde edilen çelik, çinko ve alüminyum yüzeyler üzerindeki çinko fosfat kaplamaların Taramalı Elektron Mikroskobu (scanning electronic microscopy, SEM) görüntüleri Şekil 3.3.'de verilmiştir. Morfolojinin substratın (kaplanan metalin) çeşidine bağlı olduğu, fakat elektro kaplama astar boyalarındaki adezyonların benzer olduğu tespit edilmiştir. Fosfat kaplamalı yüzeylerin kendine özgü kompozisyonu, çelik, çinko ve alüminyum yüzeyler için farklıdır ve Tablo 3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Soğuk çekme sac, elektrogalvanizli sac, sıcak daldırma galvanizli sac, alüminyum sacın düşük çinkolu fosfat kaplamalarının kristal morfolojileri

Kaynak: (Zimmermann vd., 2003:20-22).

Tablo 3.2. Çelik, çinko, alüminyum yüzeyler üzerindeki kompozisyon ve çinko fosfat kaplamalar

MALZEME	% Zn	% Ni	% Mn	% Fe	% P ₂ O ₅
Soğuk Çekme Çelik	31	0,9	2,2	6,5	41
Elektrogalvanizli Çelik	45	0,9	5	-	40
Alüminyum	44	0,9	9	-	42

Fosfat prosesleri boyunca çamur oluşur, fosfat kaplanan yüzeyin sabit performansı sürdürmesi için çamurun filtrasyon tekniği ile sürekli uzaklaştırılması gerekir. Şu an birçok üç katyonlu fosfat prosesinde nitrit hızlandırıcılar kullanılır. Sodyum nitrit teknik açıdan ideal hızlandırıcı olarak düşünülebilir, fakat sodyum nitrit toksik, yangın teşvik edici ve suda yaşayan canlılara karşı tehlikeli olarak sınıflandırılmaktadır. Fosfat banyosu ile temas ettiği zaman (NO_x) pis kokulu gaz oluşturmaktadır (Zimmermann vd., 2003:20-22).

Alaşımların elementlerinin varlığı, kimyasal yapısının sebep olduğu farklılıklar substratın fosfatlanabilirliğini etkiler. Genellikle çelikler, az miktarda krom, nikel, molibden ve vanadyum

gibi zor fosfatlanmayan çoğu soy metalleriyle birlikte bulunur. Farklı miktarlarda krom, nikel, bakır içeren soğuk çekme çeliklerin fosfatlanabilirliği Tablo 3.3.'de verilmiştir. Fosfatlanabilirlikte görsel görünüm esas alınmıştır. Değerlendirme ölçütü 1-İyi, 5-Zayıf şeklindedir. Krom, nikel ve bakırın toplam konsantrasyonu 200–300 ppm oranında olduğu zaman fosfatlanabilirliğinin etkilenmediği Tablo 3.3.'de belirgin olarak görülebilir. Bu metallerin toplam konsantrasyonu 800 ppm'e ulaştığı ve aştığı zaman fosfatlanabilirliğin şiddetli etkilendiği görülmektedir. Karbon, fosfor, sülfür, mangan ve silisyum miktarı çelikte fazla olduğu zaman fosfatlanabilirlik etkilenir. Düşük karbonlu çelikler kolaylıkla fosfatlanabilir ve süper kalitede kaplamalar elde edilebilir. Artan karbon miktarı ile fosfatlama çok yavaş hale gelir ve sonuçta kristaller büyür (Zimmermann vd., 2003:20-22).

Tablo 3.3. Farklı miktarlarda krom, nikel, bakır içeren soğuk haddelenmiş çeliklerin fosfatlanabilirliği

Malzemenin Adı	Cu+Ni+Cr (ppm)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (mm)	Fosfatlanabilirliği	Kaplama Ağırlığı (g/m ²)	
				Merkezde	Kenarda
CRS-A	300	<0.8	1	4,32	3,87
CRS-B	200	>1.2	1	4,04	5,39
CRS-C	800	<0.8	5	2,86	3,09
CRS-D	1000	>1.2	4	3,54	3,59

3.2.1.5. Durulama

Durulamanın görevi fosfatlama banyosundan metal yüzeyindeki kalan kimyasalların ve çamurların takip eden adımlara bulaşmasını engellemektir. Aksi durumda pasivasyon banyosunun etkinliğini azaltır.

3.2.1.6. Pasivasyon

Fosfatlı ve kaplamalı metal sacın korozyon dayanımını arttırmak için pasivasyon işlemi yapılır. Pasivasyon banyosu; Cr(IV), Cr(III) veya krom-free çözeltilerinden oluşur. Cr(VI) çözeltilerinin toksit tehlikesinden dolayı, bugünlerde Cr(VI) pasivasyonlarının yerini, zirkonyum temelli pasivasyonlar almıştır. Zirkonyum temelli çözeltiler ile yapılan pasivasyon işlemi tam olarak anlaşılamamıştır. Pasivasyon prosesinde, pasivasyon ajanlarının, asit çözeltileriyle beraber fosfat yüzeyi üzerindeki ikincil fosfat kristallerini aşındırdığı, çözünmez komponentlerin çökmesine bağlı olarak fosfat yüzeyi üzerindeki gözenek boyutlarını azalttığı

ve bu şekilde korozyon ürünlerinin ilerlemesini engellediği kabul edilmektedir (Satake ve Nagahiro, 1990:17).

Japon ve Kore otomotiv üreticileri pasivasyon işlemini kullanmamaktadır. Onun yerine üç kademededen daha fazla art arda saf su ile yıkama işlemi yapmaktadır. Son yıllarda Avrupa üreticileri de bu üretim felsefesini benimsemeye başlamış ve pasivasyon adımını ortadan kaldırmıştır (Zimmermann vd., 2003:35).

3.2.1.7. Deiyonize Durulama

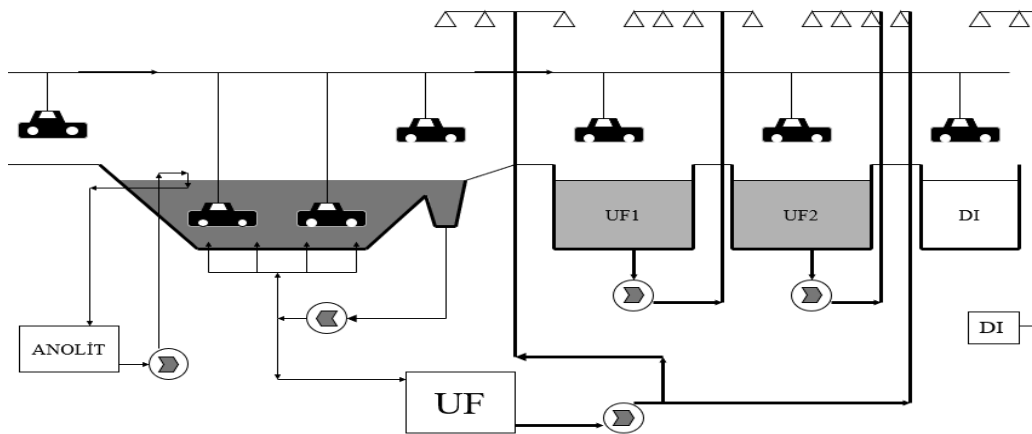
Kataforez kaplama öncesi deiyonize suyla durulama yapılmasının sebebi, kataforez kaplama banyosuna iyon (Ca, Mg, vb.) taşınımını engellemektir. Bu iyonlar fosfat kristalli yüzeylerde kaldıklarında kataforez kaplama sonrasında yapışma performansını doğrudan etkilemektedir. Kaplama hatlarında kullanılan deiyonize suyun iletkenliğinin 20 °C’de 15-50 $\mu\text{s}/\text{cm}$ olması istenilir.

3.2.2. Elektro-Kaplama Prosesi

Kataforez kaplama sisteminde; kataforez kaplama banyosu, ultrafiltrasyon (UF) banyoları ve anot sistemi bulunmaktadır.

3.2.2.1. Kataforez Kaplama Banyosu

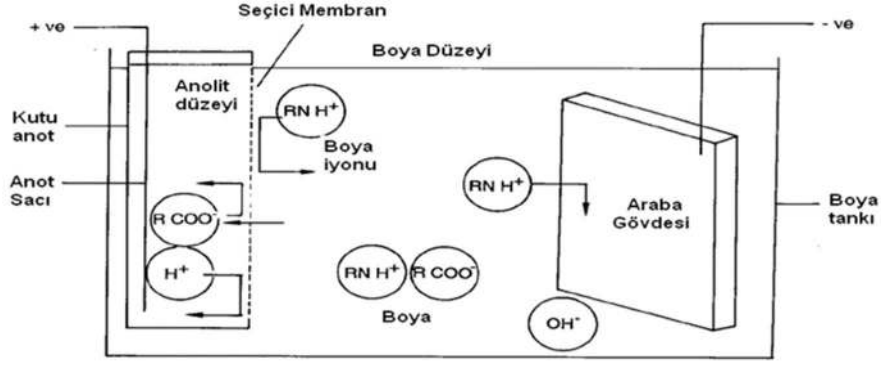
Kataforez kaplama prosesi aşağıdaki Şekil 3.4.’de gösterildiği gibi olmalıdır.



Şekil 3.4. Kataforez kaplama prosesi

Kaynak: (Kılınç, 2019:24-28).

Bu proseste kataforez kaplamada gerçekleşen reaksiyonların gösterimi ise Şekil 3.5.’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.5. Katarfor kaplama banyosunda gerçekleşen reaksiyonlar

Kaynak: (Kılınç, 2019:24-28).

Katarfor banyosunda anot ve katot üzerinde gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda belirtilmiştir.

- Film oluşturucunun çözülmesi



- Elektroliz



- Katottaki Dönüşüm

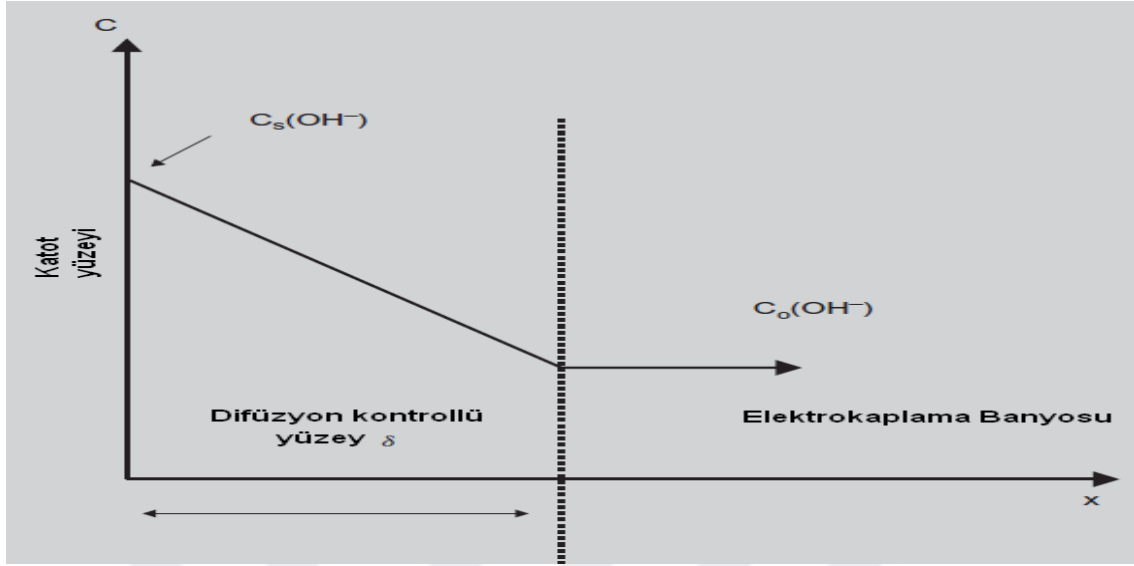


Çözülür polimer Yüzey üzerinde pıhtılaşma

- Anottaki Oksidasyon (Dönüşüm)



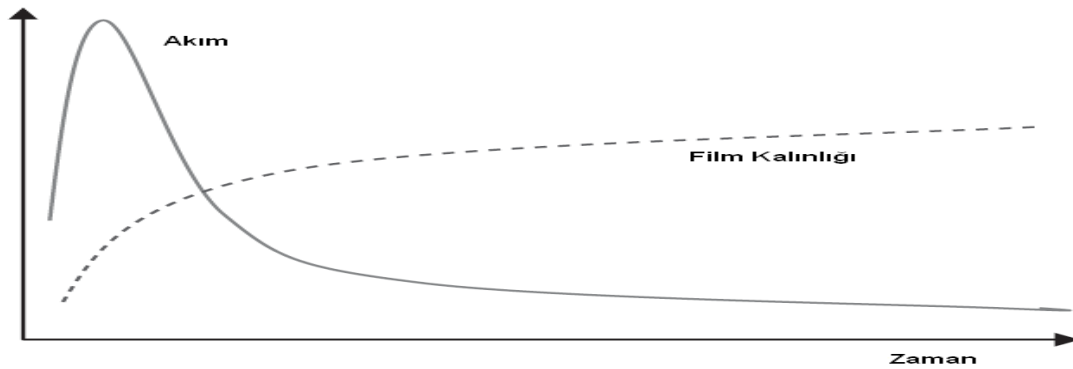
Elektro kaplama prosesleri için en önemli faktör difüzyon kontrol yüzeyindeki pH değişimidir. Difüzyon kontrol yüzeyindeki pH değişimi Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Kataforez kaplama süresince elektrottaki OH^- konsantrasyonunun profili

Standartlaştırılmış kataforez kaplama tankına uygulanacak voltaj, elektrot alanı, elektrot mesafesi, akım yoğunluğu (belirli düzeyden sonra akım azalır) ile belirlenebilir. Akım artışı iyon konsantrasyonunun kritik düzeyi oluşturmaya, azalması filmin öz direncine bağlı olarak değişir (Satake ve Nagahiro, 1990:17).

Uygulanan voltaj süresince kataforez kaplama banyosundaki boyanın dispersiyon parçacıkları, geciktirici sürtünme ve elektriksel çekim kuvvetleriyle etkileşerek, yaklaşık 10^{-4} ve 10^{-5} m/s sabit hızda, difüzyon kontrol yüzeyindeki elektriksel alanda, yüklerine göre göç eder. Bir dakika içerisinde 20 μm film kalınlığına ulaşılabilir (Satake ve Nagahiro, 1990:17).



Şekil 3.7. Kataforez kaplama potansiyostatik denemelerinde akım–zaman eğrileri

Kataforez kaplama tankları tasarlanırken;

- Katı miktarı,
- Kül miktarı,
- Solvent miktarı,
- Sıcaklık,
- pH

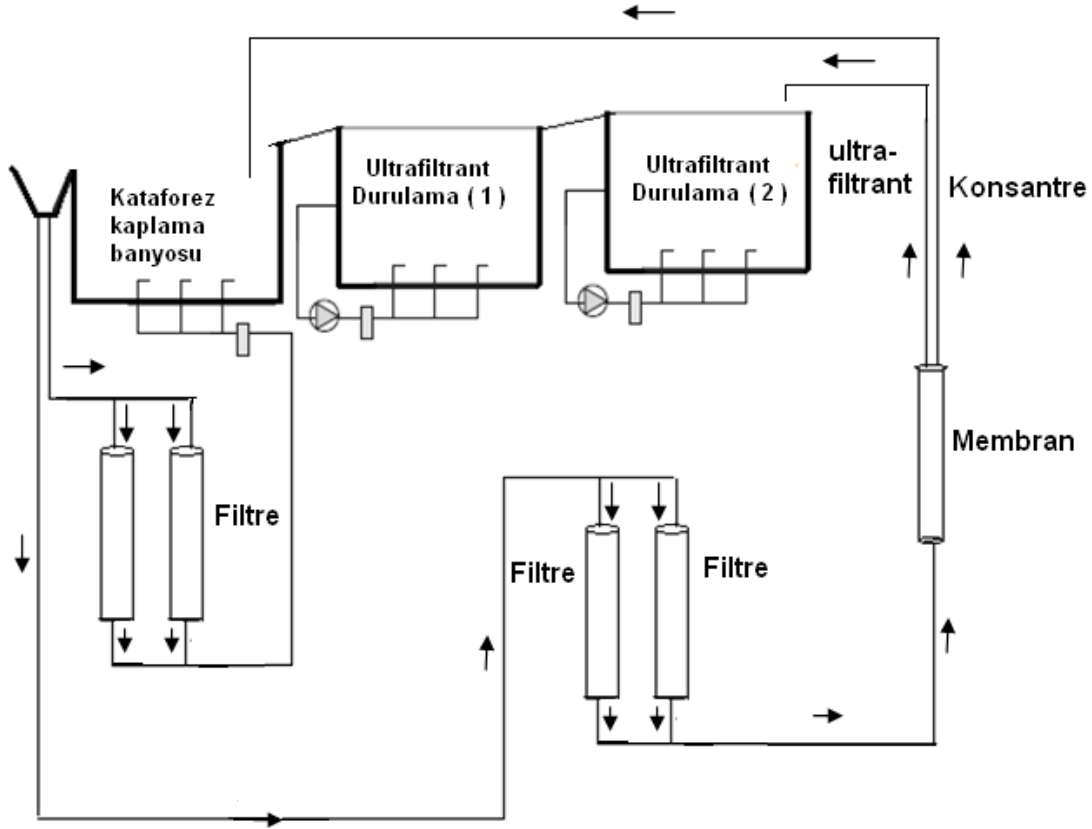
Kontrolleri yapılmalı ve banyo içerisindeki sirkülasyon hızı da dikkate alınmalıdır. Bu değerler kataforez kaplama prosesinde birkaç farklı parametreyi birden etkiler. Örneğin, katı ve kül miktarının değişimi, banyonun iletkenliğini, uygun voltajın uyguladığı davranışı ve kaplama kalınlığını etkiler. Solvent miktarı kataforez kaplama kimyasalları üzerinde çok etkilidir. Her çözücü aynı etkiye sahip değildir. Çoğu solvent sürekli hal içerisinde. Solventler oluşan film üzerinde çok az etkilidir. Sıcaklık, kaplama kalınlığını etkilerken; pH, kataforez kaplama tankı içerisindeki asit miktarının ölçümüdür ve pH metre ile ölçülmektedir (Satake ve Nagahiro, 1990:17).

Kataforez kaplama tankındaki boya akışının hızı 0,3 m/s'den daha fazla bir hızda, sabit akışı sürdürecektir şekilde olmalıdır. Fakat kaplama malzemeleri hem paslanmaz çelik veya polivinil klorür (polyvinyl chloride, PVC) borularda hem de tank içerisinde 3,0 m/s'den daha az hızda akmalıdır. Bu akışın temel sayısı toplam tank hacmini her saatte maksimum 5 defa hareket ettirecek şekilde olmalıdır (Satake ve Nagahiro, 1990:17).

Akış hızının iki etkisi vardır: birincisi boyanın pıhtılaşmasını engellemek, ikincisi kaplanacak malzeme yüzeyinde kataforez kaplama prosesi için yeterli ısı transferini sağlamaktır. Yüksek akış hızı kataforez kaplama prosesini etkiler. Örneğin, yüksek akış hızında kataforez kaplama kalınlığında azalma olur (Satake ve Nagahiro, 1990:17).

3.2.2.2. Ultrafiltrasyon Banyoları

Ultrafiltrasyon yaygın olarak kullanılan bir ayırma prosesidir. Membranlar 30-300 nm arası tanecik boyutuna sahiptir. Katodik elektro kaplamalarda; su, sıvı hal içerisindeki organik solventler, elektrolitler ve reçinelerin düşük moleküler kısmı gibi maddeler membrandan geçer ve boyadan ayrılır. Bunlara ultrafiltrant veya permeate denir. Membran teknolojisi sayesinde boya ve ultrafiltrant birbirinden ayrılmaktadır.

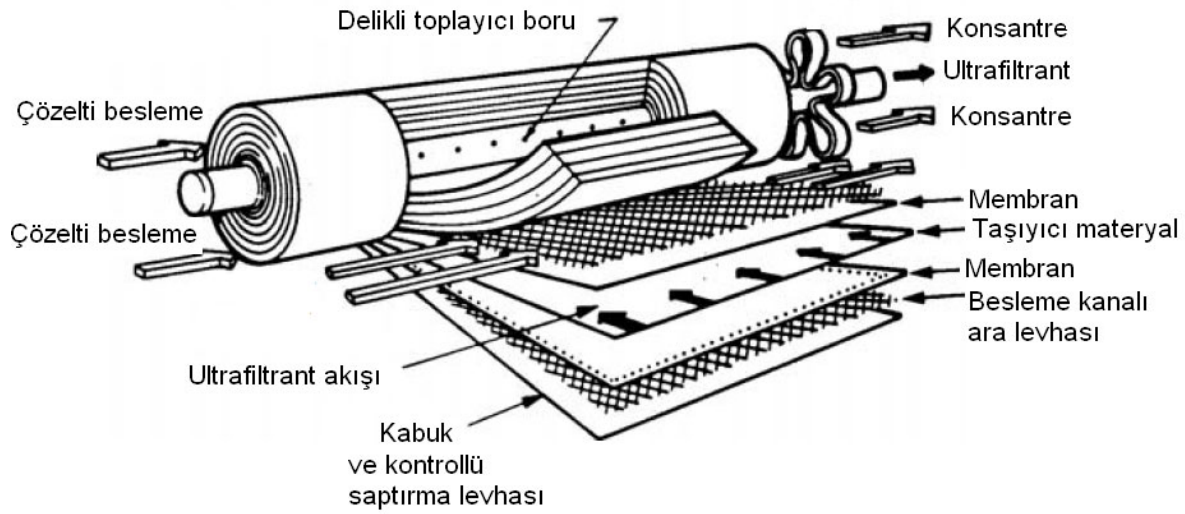


Şekil 3.8. Ultrafiltrasyon çalışma sistemi

Kaynak: (Kılınç, 2019:24-28).

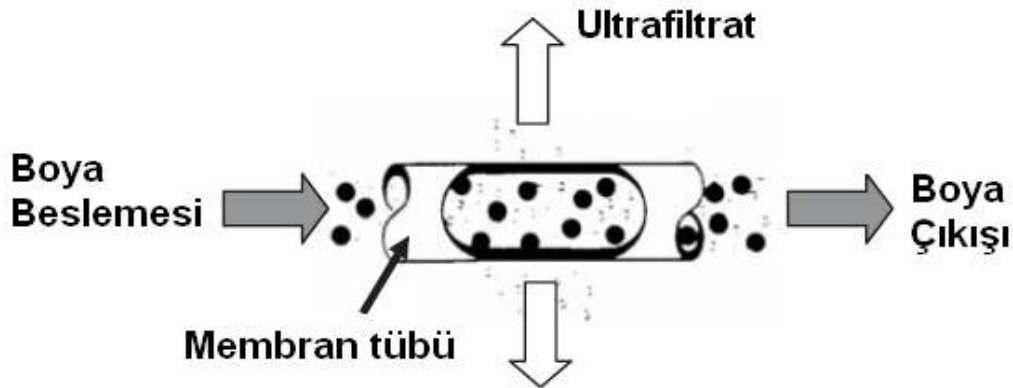
Kataforez kaplama tesisi çalışırken ultrafiltrant durulama banyosundaki katı miktarı sürekli artar. Çünkü parça üzerine elektrostatik kuvvetlerle tutulmamış boya, ultrafiltrant durulama (1 ve 2) banyolarına taşınmaktadır. Boya kullanımının neredeyse %100 olması için, ultrafiltrant durulama (1) banyosundaki katı miktarının %1–2 arasında, ultrafiltrant durulama (2) banyosundaki yüzde katı miktarının %0,5–1,0 arasında tutulması gerekir. Ultrafiltrant durulamalardaki katı miktarını bu değerlerde tutmak için elektro kaplama prosesinin Şekil 2.9'daki gibi olması gerekmektedir. Çünkü bu sistem sayesinde kataforez banyosundaki %katı miktarı sürekli arttığında, ultrafiltrant banyosu içerisindeki %katı miktarını sürekli azaltabilmektedir (Kılınç, 2019:24-28).

Kataforez kaplamanın ultrafiltrasyon biriminde kullanılan özel sarınlı membranlarının konfigürasyonu ve boru şeklindeki membranla ultrafiltrantın ayrılma prosesi Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Kataforez kaplamanın ultrafiltrasyon biriminde kullanılan özel sarınımlı membranlarının konfigürasyonu

Kaynak: (Kılınç, 2019:24-28).

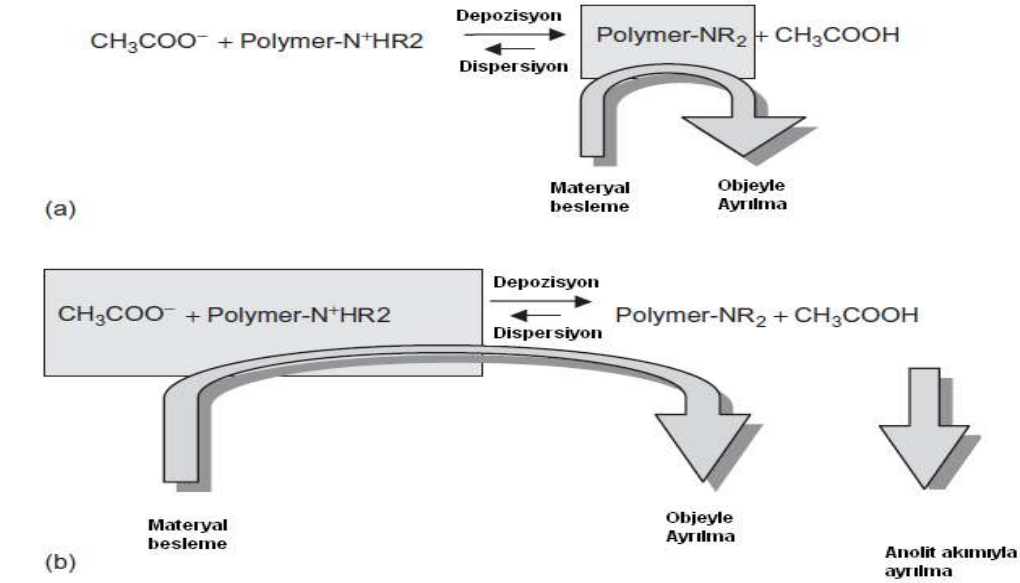


Şekil 3.10. Boru şeklindeki membranla ultrafiltratın ayrılma süreci

Kaynak: (Kılınç, 2019:24-28).

3.2.2.3. Anot sistemi

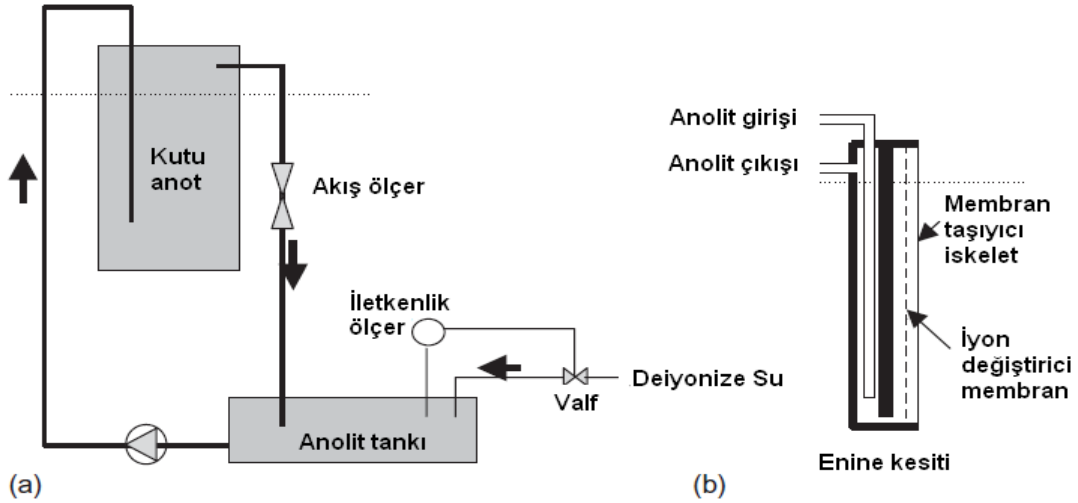
Kataforez kaplama banyosundaki fazla asidi uzaklaştırmak için anot hücreleri kullanılır. Standart anot hücreleri, plastik kutu, bu kutu içerisine yerleştirilmiş paslanmaz çelik ve plastik kutuyu örten anyon değiştirici membrandan meydana gelir. Bu membran kaplama süreci boyunca hücreye asidin geçişine izin verir. Hücreye giren asit bir daha tanka geri dönemez. Anyon değiştirici membranlar katyonik yüklere sahiptir ve katyonları geçirmez. Kataforez kaplamanın yenilenme proseslerindeki asit baz dengesi Şekil 3.11.'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Kataforez kaplamanın yenilenme proseslerindeki iki çeşidinin asit baz dengesi

a) Alt nötralizasyon b) Tam nötralizasyon

Anot hücresinde kullanılan sac, Alman Standartları Enstitüsü (German Institute for Standardization, DIN) terimlerine göre 1-4404, 1-4429 veya 1-4439 gibi klor iyonuna dayanıklı yüksek derece paslanmaz çelik alaşım olmalıdır. Ömrü anot alanı boyunca geçen akıma bağlıdır. Anot devresine ait akış şeması Şekil 3.12.'de verilmiştir (Kılınç, 2019:24-28).



Şekil 3.12. (a) Anolit Devresi, (b) Kutu Anot

Kaynak: (Kılınç, 2019:24-28).

Anolit sıvısının iletkenliğinin 700-1400 $\mu S/cm$ arasında olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir. İletkenlik değeri üst limite ulaştığı zaman valf açılır ve deiyonize su anolit devresi içerisine girer. Anolit akış hızı, çalışan sistemin problem çıkarmadan devam etmesi için minimum 4 L/dk olmalıdır. Akış görsel kontrol ve akış metrelerle kontrol edilmelidir. Anotta

sızıntı olduğu takdirde hemen önlenmelidir. Aksi takdirde membranın iç kısmı kaplanır ve asit akışını önler. Çok kolay değişmesi/yerleştirilmesi ve daha iyi muhafaza edilmesinden dolayı kutu anot hücreler yerine artık tüp şeklindeki anot hücreler kullanılmaktadır. Sistem için aside dayanıklı çeliklerden yapılmış sirkülasyon pompaları tercih edilmelidir (Kılınç, 2019:24-28).

3.2.3. Kürlenme Prosesi

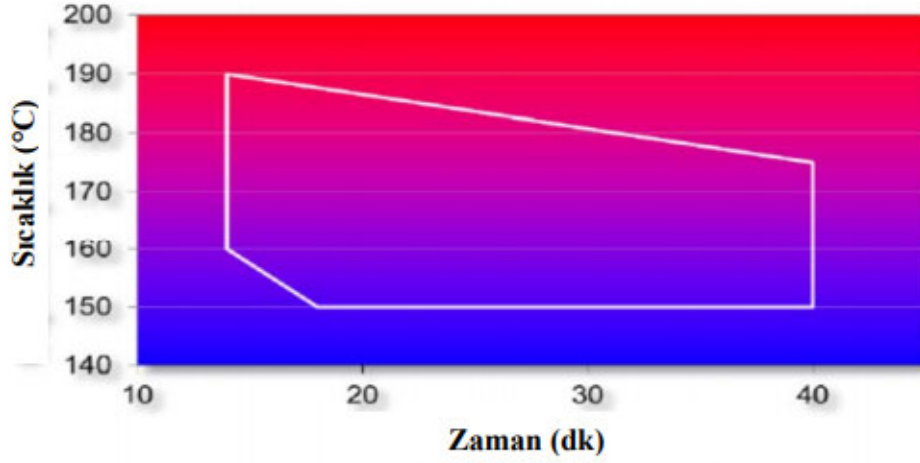
Piştirme fırınından oluşmaktadır ve kullanılan boyanın kürlenme diyagramına göre malzemelerin fırın içerisinde hangi sıcaklıkta ne kadar duracağı belirlenmektedir.

3.2.3.1. Piştirme Fırını

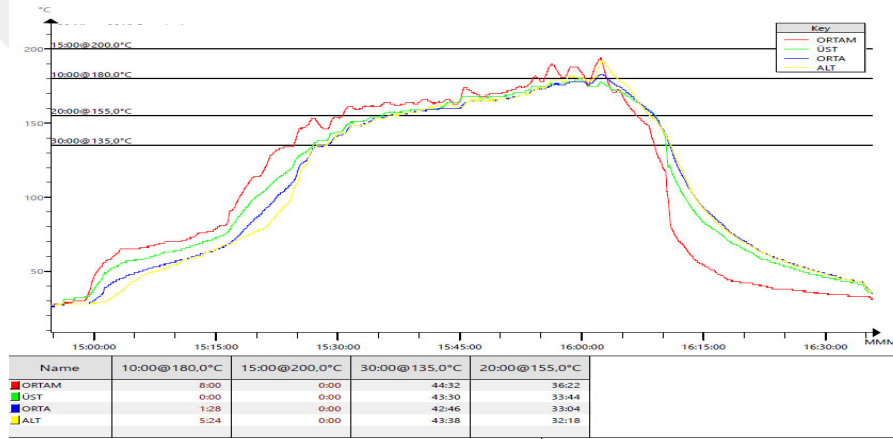
Kataforez kaplanmış malzemelerin piştirme fırınına girişi son yıkama adımından sonra neredeyse direkt olarak yapılmaktadır. Konveksiyonel fırınlar, Kızıl Ötesi (Infra-Red, IR) fırınlarla karşılaştırıldığında çok iyi bir enerji verimliliğine sahip değildir. Fakat konveksiyonel fırınlar, piştirme prosesleri için zorunludur.

Modern fırınlara ‘A’ sınıfı fırınlar denilir. Bu fırınların giriş bölgesinde malzemeler belirli bir seviyeye kadar yükselir, fırın boyunca sabit ilerler ve fırın çıkış bölgesinde malzemeler başlangıç yüksekliğine geri döner. Bu şeklin avantajı, sıcak hava sürekli fırının üst kısmında hareket ettiği için, enerji kaybında dikkate değer derecede azalma olur, bu sayede sıcak hava fırından kolaylıkla çıkamaz.

Malzemelerin askıdaki konumuna bağlı olarak sıcaklık zaman eğrileri farklılıklar gösterir. Teorik olarak kataforez boyanın kürlenme diagramı Şekil 3.13. ile pratikte gerçekleşen parçaların kürlenme diagramı Şekil 3.14. farklılıklar göstermektedir. Bundan dolayı, pratikteki termograf sonuçlarının teorikte gösterilen kürlenme penceresi içinde olacak şekilde fırın hızı ve sıcaklık değerleri ayarlanmalıdır. Belirlenmiş film performansını garanti altına almak için bu verilerin düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir. Tüm noktalarda minimum metal sıcaklığına ulaşılabilmelidir (150 °C’nin üzerinde minimum 15 dakika).



Şekil 3.13. Kataforez kaplamanın ideal teorik kürlenme diagramı



Şekil 3.14. Gerçekte ölçümü alınmış fırın sıcaklık-zaman diagramı

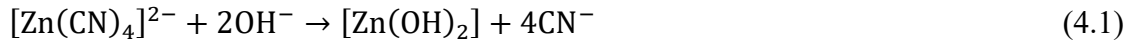
Çoğu elektro kaplama malzemesi için ağırlık kaybının, elektro kaplamanın çeşidine bağlı olarak %8-18 arasında olduğu göz önünde bulundurulursa, fırın havası içerisindeki organik emülsiyon konsantrasyonunun her metre küp için birkaç gram olduğu görülebilir. Bu dünyanın birçok yerinde belirlenmiş limit değerinin üzerindedir. O nedenle atık hava önceden ısıtılmış taze hava ile yer değiştirmelidir. Uçucu organik bileşenler (volatile organic component, VOC) emülsiyon tüzüğü uygun yakma birimine gönderilmelidir (Athey, 2003:438).

Isı üretimi için genellikle gaz veya petrol yakıtlı kazanlar kullanılır. Sıcaklık, ısı değiştiriciler ile aktarılır. Eğer doğalgaz kullanılıyor ise ısı değiştirici ile dağıtılabılır veya sıcak yakıt gazları direk fırının içerisine verilebilir. Bazı durumlarda fırın içerisine direk verilen yakıt gazları primer yüzeylerde adezyon yetersizliği gibi film performansında eksikliklere neden olabilir (Athey, 2003:438).

4. ÇİNKO KAPLAMA PROSESLERİ

4.1. Siyanürlü Çinko Kaplama

Bir iletken altlık üzerine çinko kaplamak için siyanürlü çinko kaplama prosesi ticari olarak kullanılmış ilk çinko kaplama prosesidir. Bununla beraber, insan sağlığı ve çevre ile ilgili kanuni düzenlemelerin bir sonucu olarak siyanürlü çinko kaplama prosesinin yerini yıllar geçtikçe diğer prosesler almıştır. Ancak çinko kaplama prosesinin gelişimde yer alan bir proses olduğu için bilinmesi gerekmektedir. Siyanürlü çinko kaplama prosesinde Zn^{2+} iyonlarının indirgenmesi aşağıda verilen reaksiyon zincirinin sonunda gerçekleşmektedir.



Çinkonun indirgenmesine olanak sağlayan ana banyo bileşenleri Tablo 4.1’de verilmiştir (Sierka ve Eric, 2015:12-19).

Tablo 4.1. Alkali siyanür çinko kaplama banyosu bileşenleri ve derişimleri

Kimyasal Bileşenler	Normal Derişim (g/L)	Orta Derişim (g/L)	Yüksek Derişim (g/L)
Zn(CN)	60	30	10
Na(CN)	40	20	8
NaOH	80	75	65
Na ₂ CO ₃	15	15	15
Na _m S _n	2	2	-
Parlatıcı	1-4	1-4	1-4

Bu prosesin diğerlerine göre en önemli avantajı boru formunda olduğu gibi düşük akım yoğunluğu bölgeleri olan geometrilere sahip iletken altlıkların kaplanabilme yeteneğidir. Bu prosesin bu kadar etkili olmasının sebebi iyon fırlatma gücünün diğer iki prosese göre daha yüksek olmasıdır. Siyanürlü çinko prosesinde karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi de hidrojen gevrekliğidir. Sadece klorürlü proseslerde hidrojen gevrekliği sorunu ile karşılaşılmamaktadır.

Hidrojen gevrekliği yüksek mukavemetli çeliklerin hidrojene maruz kaldıktan sonra kırılgan hale geldiği ve kırıldığı bir prostestir. Bir kaplama banyosundaki hidrojenin kaynağı katotta meydana gelen reaksiyonlardır (Sierka ve Eric, 2015:12-19).



Bir metal altlık üzerine hidrojen difüzyonunu açıklamada önerilen iki model vardır. Her iki önermede de metalin kırılganlığıyla sonuçlanan ve atomik hidrojenin metal yüzeyine adsorblandığı ve metal içerisine difüzlendiği kabul edilmektedir. İlk model, elektrolitik olarak oluşan hidrojenin metal alt tabakaya difüzlenerak orta bölgede adsorbe olmasını ve hidrojen değişimiyle aynı olduğunu gösteren bir mekanizmadır. Reaksiyonun ilk basamağında, metal yüzeyince adsorbe olan H_3O^{+} iyonu çözeltiye 4.6 reaksiyonunda belirtildiği üzere su ve H^{+} iyonu vermektedir.



Adsorblanmış hidrojen metal yüzeye yayılmakta ve 4.7 reaksiyonunda gösterildiği gibi bir metal-hidrojen kompleksi oluşturmaktadır.



Metal yüzeyinde adsorbe olan hidrojen 4.8 reaksiyonunda verildiği gibi hidrojen oluşturmak üzere serbest kalmaktadır.



İkinci model, atomik hidrojenin metal örgüye salındığı şekilde girdiğini ve hidrojenin metal örgüye girdiği ara evrenin, hidrojen değişimi ile sonuçlanan adsorbe edilen hidrojen mekanizması ile aynı olmadığını göstermektedir. İlk basamak hidrojenin metal yüzeyine adsorblandığı 3.9 reaksiyonu ile ifade edilmektedir.



Hidrojen aynı zamanda 4.10 reaksiyonunda gösterildiği gibi metal yüzeye adsorbe olmaktadır.



Her iki mekanizmada da hidrojen oluşumu 3.11 reaksiyonunda verildiği şekilde sonlanmaktadır.



Hidrojen gevrekliği hidrojen iyonlarının salıverildiği asitle temizleme ve suyun yarattığı korozyon sonucu da oluşabilir. Atomik hidrojeni uzaklaştırmada kullanılan yöntemlerden birisi de kaplanmış parçanın yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmasıdır. Bu yöntemde kaplanmış parçalar 177-204 °C aralığındaki sıcaklıklarda bir fırınlama döngüsüne tabi tutulmaktadır. Bu yöntem absorplanmış hidrojenin metal ya da metal alaşımından uzaklaştırılmasına olanak sağlamaktadır (Sierka ve Eric, 2015:12-19).

Alkali siyanürlü çinko prosesinin katot verimi diğer yöntemlere göre daha düşüktür. Bu nedenle kaplama süresi daha uzundur. Ayrıca, alkali siyanürlü çinko kaplamanın kimyasal işlem maliyetlerinin yüksek olması, siyanürü azaltmak için gereken atık bertarafından kaynaklanmaktadır.

Siyanür kompleksleri Cu, Cd, Au, Ag, Zn ve In kaplamak için kullanılmaktadır. Tüm siyanürlü kaplama çözeltileri alkalidir. Bir siyanürlü kaplama çözeltisine asit ilave edilirse zehirli siyanür gazı açığa çıkmaktadır.

4.2. Asit Klorür Kaplama

Çinko kaplama prosesinde, çinko sülfat ve çinko klorür bazlı asidik çözeltiler de kullanılabilir. Asit klorür prosesi alkali siyanür ve alkali siyanürsüz çinko kaplama prosesleriyle karşılaştırıldığında daha yeni bir teknolojidir. Asit klorür prosesi çinko kaplama endüstrisini hızla değiştirmekte ve en gelişmiş ülkelerde çinko kaplama banyolarının %50'sini oluşturmaktadır. Dökme demir, dövülebilir demir ve karbon nitrür çeliği de asit çinko kaplama işlemlerinde kolayca kaplanabilmektedir. Katottaki Zn^{2+} 'in indirgenmesi 4.12, 4.13 ve 4.14 reaksiyonlarına göre gerçekleşmektedir.



Asit klorür prosesinin en önemli avantajı daha az yan reaksiyonun olması ve daha kısa kaplama süreleriyle sonuçlanan yüksek katot verimidir. Aynı zamanda, Tablo 4.2’de verildiği gibi, seçilen asit klorür prosesine bağlı olarak atık arıtımı en az seviyeye düşmektedir. Atık arıtma sorunlarına neden olabilecek tek kimyasal bol miktardaki NH_4Cl ’dür. Asit klorür prosesinin en önemli dezavantajı uygun temizleme işlemlerine uyulmaması durumunda kullanılan kimyasalın aşındırıcı olması nedeniyle kaplamanın girintili yerlere zarar vermesidir.

Üç tip klorür banyosu vardır. Bunlar, NH_4Cl , $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{KCl}$ karışımı ve KCl ’dir. Her birinin diğerine göre üstünlüğü bulunmaktadır. $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{KCl}$ karışım banyosu her iki kimyasalında en iyi özelliklerini taşımaktadır. Çinko kaplama çözeltisinde kabul edilen içerikler arasında taşıyıcı parlaticılar, birincil parlaticılar ve yüzey aktif maddeler bulunmaktadır. Birincil parlaticılar optik yansıtma gücünü en üst düzeye çıkarmak için çinko kaplı yüzeyin pürüzlülüğünü azaltmaktadır. Bu parlaticıların çözelti içerisindeki çözünürlükleri azdır. Taşıyıcı parlaticılar birincil parlaticıların çözeltiden dışarı çıkmasını engellenmektedirler. Birçok klorürlü sistem iki farklı birincil parlaticı ve 4-8 arasında farklı yüzey aktif madde içermektedir. Yüzey aktif maddeler sıvının ve katının yüzey gerilimini düşüren birincil ve taşıyıcı parlaticıların altlık yüzeyine kolayca ulaşmasını sağlayan bileşiklerdir. (Sierka ve Eric, 2015:12-19)

Tablo 4.2. Asit klorür çinko kaplama banyosu bileşenleri

Kimyasal	Tümü NH_4OH (g/L)	Tümü KCl (g/L)	Mixed Bath- KCl (g/L)	Mixed Bath- KCl (g/L)
Zn	15-30	22-38	15-30	15-30
NH_4Cl	120-180	-	30-45	30-45
KCl	-	185-225	120-150	-
NaCl	-	-	-	120
H_3BO_3	-	22-38	-	-
Taşıyıcı Parlaticı	%4 b/v	%4 b/v	%4 b/v	%4 b/v
Birincil Parlaticı	%0,25 b/v	%0,25 b/v	%0,25 b/v	%0,25 b/v

4.3. Alkali Siyanürsüz Kaplama

Siyanürün hem çevreye hem de kaplama tesislerindeki çalışanlara verdiği zararların bertaraf edilebilmesi için ve yasaklanmasından dolayı elektro kaplamada da alkali siyanürsüz çinko alaşım kaplamalar olan alkali çinko, alkali siyanürsüz çinko-nikel, alkali siyanürsüz çinko-demir yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

4.3.1. Alkali Siyanürsüz Çinko Alaşım Kaplama

Çinko alaşım kaplamaları, 1980'den beri Japonya ile Avrupa'da ve son zamanlarda Amerika Birleşik Devletleri'nde önemli ölçüde kullanılmaktadır. Bu teknolojinin gelişmesinin arkasındaki en önemli neden otomotiv endüstrisindeki yüksek korozyon direnci beklentisidir. Bir diğer neden de endüstrileşmiş birçok ülkede yasaklanan ve aşırı zehirli olan ve kaplama sektöründe kullanılan kadmiyumun yerine acil bir çözüm ihtiyaç duyulmasıdır.

Çinko alaşım kaplamalarının kullanımının pek çok avantajı bulunmaktadır. Elektrokimyasal olarak, alaşımlar bileşimindeki elementlere bağlı olarak farklı korozyon potansiyellerine sahiptir. Çinko alaşımları örneğin, çeliğe anodik koruma sağlamak için tasarlanabilir. Bir çinko alaşım kaplaması çelik bileşenlerine feda edilebilir; ancak bir korozyon ortamına maruz bırakıldığında çinkodan daha yavaş korozyona uğrayacaklardır.

Birçok çinko alaşım prosesi ticari olarak günümüzde kullanılmaktadır. Belirli bir prosesin seçimi, son ürünün gereksinimlerine ve kullanım koşullarına bağlıdır. Çinko-demir, çinko-kobalt, çinko-nikel ve kalay-çinko mevcut uygun alaşımlardandır (Nabil, 1992:223).

4.3.2. Alkali Siyanürsüz Çinko-Demir Kaplama

Çinko-demir kaplama, kaplamanın daha iyi tutunmasını sağlayan metalik bir kaplama çeşididir. Parçaların darbelere karşı daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Alkali çinko demir alaşımlı banyolarda 50–200 ppm arasında kaplama yapılabilir.

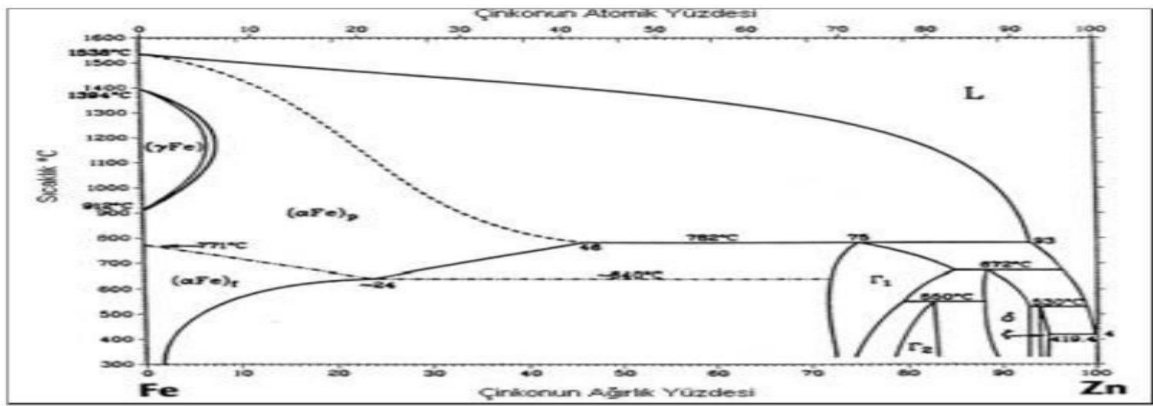
Çinkonun demir-grubu metallerle alaşımlandığında, saf metalden daha iyi bir korozyon direnci gösterdiği bildirilmektedir. Alaşım düşük Fe içeriğine sahipse (<%10) açık gri renktedir ve Fe oranı arttıkça (> %20) progresif olarak siyaha dönüşmektedir.

Alaşımın mikro sertliği çinkondan daha yüksektir ve Fe içeriği ile artmaktadır. Örneğin, %10 ve %40 Fe içeren alaşımların mikro sertlikleri sırasıyla 170 ve 300 HV olarak ölçülmektedir. Bununla birlikte, kromat için iyi bir alıcılık elde etmek için, alaşım %0,5-1,0 Fe içeriğine sahip olmalıdır. Ferreira ve arkadaşları alaşımdaki %0,5 Fe'nin, geleneksel

galvanizasyona göre paslanmaya karşı daha yüksek direnç göstermesi için yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Long ve arkadaşları da bir asit sülfat banyosunda üretilen Zn-Fe filmindeki siyah kromat dönüşüm kaplamalarının rolünü değerlendirmişlerdir. Filmlerin Zn-Fe alaşımının korozyon davranışını iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Öte yandan, filmde %50 Fe içeriğinin olması boyamaya ve daha iyi kaynak yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. (Lin vd., 2012:87)

Çelik altlık sıvı çinko banyosuna daldırıldığında çeliğin içeriğindeki elementlere ve banyo bileşimine bağlı olarak birçok reaksiyon meydana geldiği rapor edilmiştir.

Şekil 4.1.'de verilen ve yaygın olarak kabul gören Fe-Zn denge faz diyagramı Kubachewski tarafından hazırlanmıştır (Fernandez-Olmo vd., 2008:1616-1622).



Şekil 4.1. Fe-Zn faz diyagramı. İkili alaşım faz diyagramı

Kaynak: (Fernandez-Olmo vd., 2008:1616-1622)

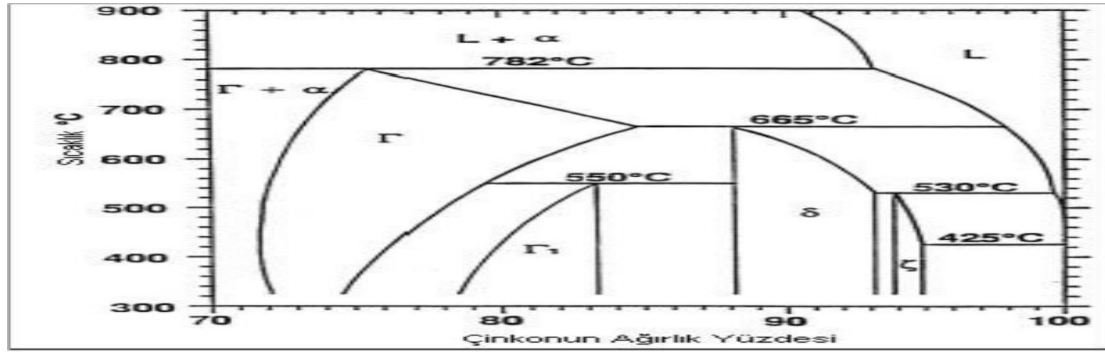
Tablo 4.3.'de bulunan fazların ana hatları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. (Fernandez-Olmo vd., 2008:1616-1622)

Tablo 4.3. Fe-Zn denge diyagramındaki fazlar ve özellikleri

Faz	Kristal Yapı	Formül	Sertlik (HV _{0,025})
α	Hacim Merkezli Kübik	Fe(Zn)	104
γ	Hacim Merkezli Kübik	Fe ₃ Zn ₁₀	326
δ	Hegzagonal	FeZn ₁₀	358
ζ	Monoklinik	FeZn ₁₃	208
η	Hegzagonal	Zn(Fe)	52

Kaynak: (Fernandez-Olmo vd., 2008:1616-1622)

Fe-Zn ikili faz diyagramının çinko zenginleştirme bölümü Şekil 4.2'de verilmiştir. (Fernandez-Olmo vd., 2008:1616-1622)



Şekil 4.2. Fe-Zn ikili faz diyagramının çinko zenginleştirme bölümü

Kaynak: (Fernandez-Olmo vd., 2008:1616-1622)

4.3.3. Alkali Siyanürsüz Çinko-Nikel Kaplama

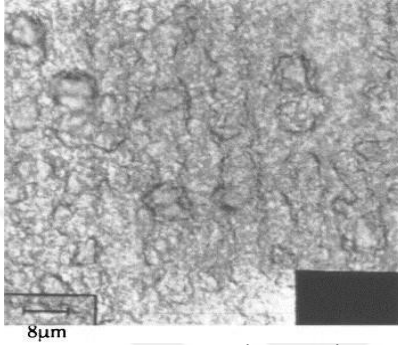
Çinko alaşımları korozyona karşı yüksek koruma kapasitesine sahip oldukları için metal korumada saf çinkoya göre daha yaygın kullanılan malzemelerdir. Fe, Co ve Ni gibi elementlerin eklenmesi korozyon oranını düşürmekte ve katodik korumayı devam ettirmektedir. Çinko-nikel alaşımlı kaplamalar, çinko ve diğer çinko alaşımı kaplamalarına kıyasla daha yüksek korozyon direncine ve daha iyi mekanik özelliklere sahip oldukları için daha çok dikkat çekmektedir. Çinko-nikel kaplamalar, nispeten agresif ortamlarda bulunan çelikler için daha iyi bir korozyon koruması sağlamaktadır. Nikel içeriği %12-15 arasında olan alaşımların en yüksek koruyucu kabiliyete sahip olduğu bildirilmiştir.

Çinko-nikel alaşımı kaplama işlemleri kaplama banyolarının pH'na göre asit tipi ve alkali tip olarak ikiye ayrılabilir. Asit banyosunda kaplanan çinko-nikel kaplamaların nikel içeriği, katot akım yoğunluğunun değişmesine daha duyarlıdır. Bu nedenle, asit çinko-nikel kaplamalar sadece basit şekillerdeki çelik parçalar için kullanılabilir ve endüstriyel uygulamaları sınırlıdır.

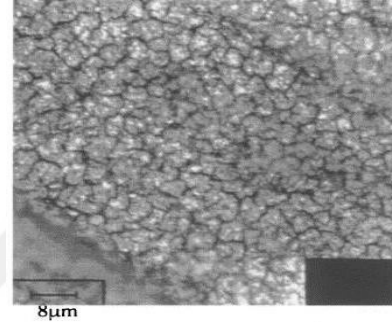
Buna karşılık, alkali çinko-nikel banyoları, kaplamalarda daha homojen nikel içeriği verebilmektedir. Ek olarak, alkali çinko-nikel kaplama işleminde kullanılan ekipmanın daha az aşınması ve daha düşük üretim maliyeti gibi asit işlemine göre avantajları da vardır.

Elektrokimyasal, tuz-püskürtme ve bağ mukavemet testlerinin sonuçları, ağırlıkça %30 çinko içeren nikel kaplamaların katodik koruma sağladığını göstermiştir. Bu katodik koruma, altlık üzerinde aktif bir korozyon koruması sağlar ve kaplamadaki gözenekliliğin varlığından etkilenmez. Ağırlıkça %30 çinko içeren nikel kaplamaların yapışma mukavemeti 40 MPa civarındadır (Panagopoulos vd., 2000:62-71).

Uzun daldırma testlerine tabi tutulan numuneler, testten önce ve sonra, optik mikroskop (optical microscope, OM) ve SEM kullanılarak incelenmektedir. Şekil 4.3'te, örnek olarak, asidik banyoda yapılan Zn-Ni kaplamasına ait mikrografları verilmektedir. Numunelerin uzun bir daldırma testi (48 saat) öncesi ve sonrasında parçadaki oksijen gazı giderilmiştir. Şekil 4.3.'ten de görüleceği üzere, çatlaklar veya süreksizlikler olmaksızın, kaplamanın, doğal korozyon testinden sonra homojen olarak kırıldığı görülebilmektedir (Panagopoulos vd., 2000:62-71).



Korozyon testi öncesi

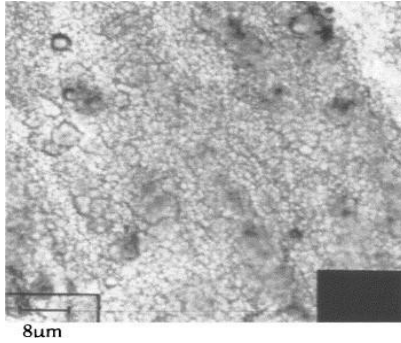


Korozyon testi sonrası

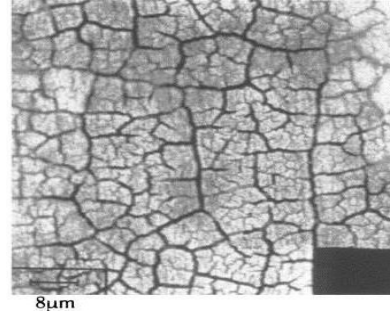
Şekil 4.3. Pasivasyonsuz, gazdan arındırılmış asitli Zn-Ni kaplama görüntüleri

Kaynak: (Panagopoulos vd., 2000:62-71)

Şekil 4.4.'de ise, aynı akım yoğunluğunda pasivasyon sonrası bir alkali Zn-Ni kaplamasından elde edilen görüntüleri verilmiştir.



Korozyon testi öncesi



Korozyon testi sonrası

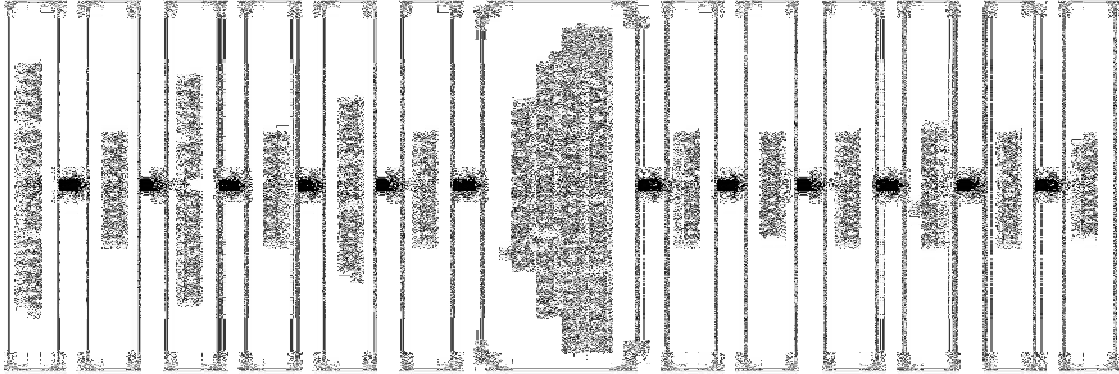
Şekil 4.4. Pasivasyonlu, gazdan arındırılmış alkali Zn-Ni kaplama görüntüleri

Kaynak: (Panagopoulos vd., 2000:62-71)

Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de verilen görüntüler kıyaslandığında özellikle pasivasyonun yarattığı yararlı etki açıkça görülmektedir (Panagopoulos vd., 2000:62-71).

4.4. Alkali Çinko Kaplama Prosesi ve Basamakları

Alkali çinko kaplama prosesleri için akım şeması Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.5. Alkali çinko kaplama prosesi basamakları

4.4.1. Alkali Sıcak Yağ Alma

Alkali sıcak yağ almanın görevi metal üzerinde birikmiş tüm kirliliği uzaklaştırmaktır. Kaplama hatlarında kullanılan alkali temizleyiciler ticari olarak, sıvı veya toz formunda temin edilebilmektedir. Sıvı kimyasallar genellikle yüzey aktif madde içeren ayırıcı ve geliştirici bileşenlerden oluşan ürünlerdir. Öte yandan toz ürünler tek bir bileşenden oluşmaktadır. Otomotiv sanayinde aracın iskeletinin temizliği için alkali yağ almada kullanılan ürünler standart ürünlerdir.

Metal taneleri ile kaynak lekeleri gibi kirleticileri ve diğer inorganik maddeleri metalden uzaklaştırmakta kullanılan geliştirici bileşenler inorganik tuzlardan, yüzey aktif maddelerden ve organik bileşenlerden meydana gelmektedir. Yüzey aktif maddelerin görevi ise yağ, gres yağ ve organik atıkları metalden uzaklaştırmaktır (Doğa Kimya, 2018).

Alkali temizleyiciler içerisinde kullanılan tipik geliştiriciler aşağıda verilmiştir:

- NaOH, KOH, Na₂CO₃, K₂CO₃: Alkaliliğin sürekliliğini sağlamaktadır.
- Silikatlar: Partikül uzaklaştırma, inhibitör, tampon olarak kullanılmaktadır.
- Ortofosfat: Temizlemede kullanılmaktadır.
- Yoğunlaştırılmış Fosfatlar: yağ alma ve kompleks oluşumunda kullanılmaktadır.
- Kompleks ajanları: Kompleks oluşumu sağlamaktadır.

Yüzey aktif maddeler, hidrofilik ve hidrofobik gruplar içerir. Hidrofilik gruplar etoksi (EO) uzun zinciri veya propoksi (PO) molekülünün zinciridir. Hidrofobik gruplar özel ve uzun

bir alkali zincirdir. Yüzey aktif maddeler anyonik, katyonik, non-iyonik ve amfoter yüzey aktif maddeler olarak sınıflandırılabilir (Doğa Kimya, 2018).

4.4.2. Durulama

Durulamanın görevi metal yüzeyindeki kimyasalları gidermek ve böylelikle kimyasalların takip eden adımlara bulaşması engellemektir. Çünkü metal yüzeyinde kalan kimyasalların sonraki adımlara aktarılması problemlerin oluşmasına yol açmaktadır.

4.4.3. Elektrikli Yağ Alma

Metallerin elektrikli temizlenmesinde kullanılan temizleme çözeltileri de alkali yağ alma çözeltileri gibi bazik çözeltilerdir. Çözeltilerin bileşimi tam olarak aynı değildir. Temizlenecek parçayı anot veya katot olarak kullanarak çözeltiden elektrik akımı geçirilmektedir. Elektrikli yağ alma sistematığı Şekil 4.6.'da verilmektedir.



Şekil 4.6. Elektrikli temizleme sistematığı

Kaynak: (Doğa Kimya, 2018)

Burada anotta veya katotta oluşan hidrojen ve oksijen gazı kabarcıkları yüzeyi temizlemede rol oynamaktadırlar (Doğa Kimya, 2018).

4.4.4. Asidik Yağ Alma

Asidik yağ alma kimyasalları genellikle hem yağ alma hem de pas ve tufal temizleme gerektiren parçalar için kullanılır. Sadece metalin üzerindeki pas ve bazen de tufal temizlendiği için de tercih edilebilir. Alüminyum, demir ve çelik parçalar için kullanımı uygundur.

Asidik yağ alma banyoları soğuk çalışabildiği gibi sıcak çalışması durumunda yağ ve pas alma hızı artmaktadır. İçeriğinde yüzey aktif malzemeler, emülgatörler, inhibitör ve asitler (fosforik, sülfürik, hidroklorik, hidroflorik, nitrik asit vb.) bulunabilir. Yağ alma banyosunda kullanılan kimyasallar asidik olduğu için banyo ekipmanları paslanmaz çelikten üretilmiştir.

olmalıdır. Ortam sıcaklığında çalışması ve pası da uzaklaştırması banyonun olumlu yönü olmasına rağmen, yüksek derişimlerde asit kullanılması olumsuz yönüdür. Alüminyum kromat, mangan fosfat, demir fosfat ve çinko fosfat banyolarında ön işlem olarak kullanılabilir. Metalin parça üzerindeki pas ve yağ miktarına göre %5- 50'lik çözelti derişimlerinde çalışır. İşlem süresi banyo derişimi düştükçe uzamaktadır. Yüksek sıcaklık gerekme de sıcaklığın artması reaksiyon hızını artıracığı için tercih edilebilir. Asidik yağ alma banyolarında dikkat edilmesi gereken parametreler toplam asit derişimi ve süredir. Banyo derişimi düştükçe işlem hızı azalacak ve çözelti eklemesi gerekecektir. Özellikle demir ve çelik parçaların aşınması çözelti içerisindeki inhibitör yardımı ile engellenebilir. Asit inhibitörü yardımı ile metalin üzerindeki pas ve tufal alındıktan sonra kimyasal reaksiyon hızı azalacak, aşındırma en aza inecektir. Bu sayede banyo ömrü de uzayacaktır. Alüminyum malzemede ise bir miktar aşındırma olması istendiğinden asit inhibitörü kullanılmasına gerek yoktur (Streitberger ve Dössel, 2008:89-127).

4.4.5. Çinko Kaplama

Endüstride siyanürsüz alkali çinko kaplama prosesi kullanılmaktadır. Tablo 4.4.'te banyo bileşenlerinin derişimleri g/L oranları verilmiştir. Siyanür olmayan alkali çinko kaplama prosesi güvenilir ve düşük maliyetli bir proses olup, asit klorür çinko kaplama prosesine benzemektedir. Çelik malzemenin elektrokaplama prosesinde meydana gelen reaksiyonlar Eşitlik 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18 verilmektedir.



Siyanür olmayan alkali prosesin zorluğu yüksek miktarlardaki karbonatların varlığıdır. Eşitlik 4.19'de verilen reaksiyona göre çözeltiye fazla miktarda CO₂ girmesi sebebiyle karbonat birikmektedir.



Çözelti iletkenliğinin azalmasına sebep olan karbonatlar çözeltide, çözeltinin sıcaklığı ve karıştırılmasıyla artmakta ve elektrokaplama prosesinin engellenmesine neden olmaktadır. Çözeltide izin verilen karbonat miktarı, havadaki CO₂ miktarına bağlı olarak 50-100 g/L arasında değişmektedir. Karbonatları çöktürüp çözeltiden uzaklaştırmak için birçok yöntem vardır. İlk yöntem, karbonatlar donana kadar çözeltiyi 5-10 °C'ye soğutup ardından

karbonatları çözeltiden filtrelemektir. Daha az kullanılan yöntem ise karbonatların kalsiyum hidroksit ile çöktürülmesidir (Sierka ve Eric, 2015:12-19).

Tablo 4.4. Siyanür içermeyen alkali banyo bileşenleri

Kimyasal	Aralık (g/L)
Zn	6,0 – 17,0
NaOH	75 – 112
Katkı maddeleri	Üretici tarafından önerildiği gibi

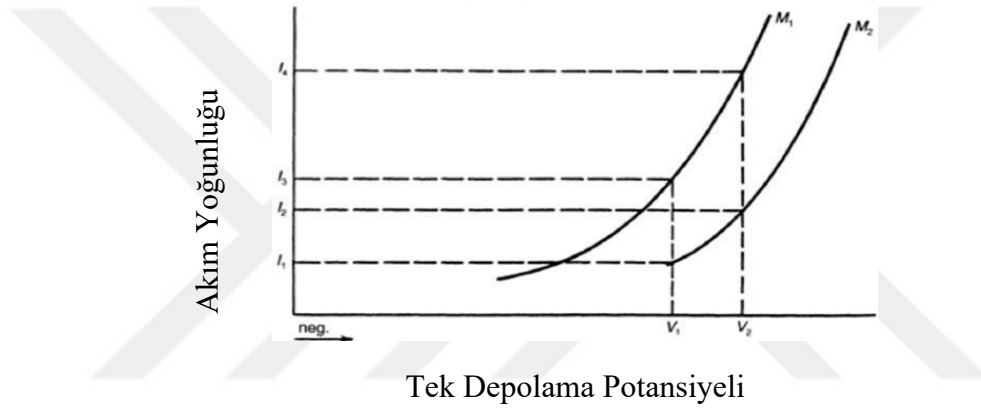
Siyanürlü, asit klorür ve siyanür içermeyen alkali çinko kaplama proseslerin başarılı olabilmesi için ek koşullara gerek vardır. Tablo 4.5.'te her proses için belirli gereksinimler özetlenmiştir.

Tablo 4.5. Çeşitli kaplama proseslerinin başarılı olabilmesi için gereksinimler

Gerekenler	Asit Klorür Çinko	Siyanür İçermeyen Alkali Çinko	Siyanürlü Çinko
Anot Polarizasyonu	Nadiren	Evet	Evet
Banyo Çözeltisi Davranışı	Üst Düzey	C.D. 'ye bağlı	Orta
Hava Karıştırması	Gerekli	Gerekmez	Gerekmez
Isıtma	Gerekli	Gerekli	Gerekli
Filtrasyon	Evet	Evet	Hayır
Gerekli pH Ayarı	Evet	Hayır	Hayır
Safsızlık Tedavisi İçin Temizleyici	Hayır	Evet	Evet
Kromat Alma Gücü	İyi	C.D. 'ye bağlı	Üst Düzey
Atık Arıtma	Basit	Basit	Kompleks
Oksitle Demir İyileştirmesi	Evet	Hayır	Hayır

4.4.6 Çinko Alaşımli Kaplama

Günümüzde, endüstrinin çinko kaplamaların performanslarının artırılmasına yönelik olarak gelişen beklentiler üzerine çinko alaşımli kaplama prosesi geliştirilmiştir. En dikkat çekici çinko alaşım elementleri demir, kobalt, nikel ve kalaydır. İki farklı metalin potansiyelleri benzer ve iyonik aktiviteleri farklı ise eş zamanlı olarak kaplanabilir. Bir çözeltide daha reaktif metal iyonunun aktivitesi kararlı bir kompleks oluşumu ile büyük ölçüde azaltılmadıkça alaşımlar biriktirilemez. Akım yoğunluğu ve potansiyel grafikleri Şekil 4.7.'de gösterildiği gibi benzer olarak görünecektir. Daha önce belirtildiği gibi, tek biriktirme potansiyelleri benzerdir. Ancak eş zamanlı biriktirmenin gerçekleşmesi için iyonik faaliyetlerin farklı olması gerekir. Böylece M1 ve M2 metalleri aynı anda kaplanabilir (Sierka ve Eric, 2015:12-19).



Şekil 4.7. Akım yoğunluğu ve potansiyeli

Kaynak: (Sierka ve Eric, 2015:12-19)

4.4.7 Nötrleme

Durulamadan sonra banyonun pH'nı tamamen nötralize etmek için ağırlıkça %5- 6'lık zayıf bir asit çözeltisi kullanılmalıdır. Yaklaşık olarak 30 saniye uygulanır (Streitberger ve Dössel, 2008:89-127).

4.4.8 Pasivasyon

Metal kaplama proseslerinde son aşama olan pasivasyon işlemi; çinko kaplı yüzeylerde parmak izini önlemek, yüzeylere dekoratif bir görünüm kazandırmak ve kaplamanın korozyon mukavemetini artırmak için uygulanmaktadır. Pasivasyon genellikle çinko kaplanmış parçaları tuzlu sudan korumak amacıyla metal üzerine koruyucu bir kromat tabakası biriktirme işlemidir.

Çinko kaplanmış parçalar pH'ı 2 olan bir lityum kromat banyosuna daldırılır. Bu işlem sırasında çinko anodik olarak çözünür ve çinko ile kromat iyonlarının reaksiyonu sonucu çinko

kromat tabakası oluşur. Oksijenin anyon okside dönüşmesi elektrokimyasal olarak meydana gelebilecek reaksiyonları engeller ve korozyon koruması sağlanmış olur.

Pasivasyon banyoları krom esaslıdır. Banyolarda Cr^{3+} iyonları kullanılmaktadır. Cr^{6+} iyonlarının kullanımı doğa ve insan sağlığına verdikleri zarardan dolayı birçok sanayide yasaklanmıştır. Pasivasyon tabakası, uygulanan formülasyona göre dekoratif renklere sahiptir. Ayrıca bu tabakaya korozyon mukavemetini artırma amaçlı şeffaf ya da renkli koruma tabakası da uygulanabilir. Bu koruma banyoları organik (reçine) veya inorganik (silikat) esaslıdır (Tuna, 2013:16-22).

4.4.9. Kurutma

Son yıkamadan sonra parçalar kurutma fırınına alınır. Konveksiyonel fırınlar, IR fırınlara göre daha az enerji verimliliğine sahiptirler. Ancak konveksiyonel fırınlar pişirme prosesleri için zorunludur (Tuna, 2013:16-22).

5. LİTERATÜR TARAMASI

Döküm parçalar yüksek akım verimli elektrolitik asitli çinko kaplamalar ile kaplanabilmektedir fakat asitli çinko kaplamaların korozyon dirençleri alkali çinko kaplamalardan daha düşüktür. Yılmaz (2013) yaptığı çalışmada, döküm ve zamak parçalar üzerine hem akım verimi hem de korozyon dayanımı yüksek bir kaplama yapmayı amaçlamıştır. Elektronegativite farkından dolayı; yapısında ağırlıkça %12-16 arasında nikel içeren çinko nikel alaşım kaplamaların, yapısında %100 oranında çinko içeren kaplamalara kıyasla 8 kat daha yüksek korozyon dayanımına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle asitli çinko nikel alaşım kaplamaların yüksek akım veriminden dolayı parçanın her bölgesini iyi kaplayabilme yeteneğine ve yüksek korozyon dayanımına sahip oldukları belirlenmiştir. Yılmaz (2013) çalışmasında, öncelikle ağırlıkça %12-16 arasında nikel içerdiği XRF ile analiz edilen asitli ve alkali çinko nikel alaşım kaplamaları farklı akım yoğunluklarında kaplamış, faz, yüzey morfolojisi ve kristal yapılarını SEM ve FIB resimleri ile incelemiştir. Sonrasında, 2,5 A/dm²'lik akım yoğunluğu ile alkali ve asitli çinko nikel alaşım kaplama ile kaplanmış döküm ve zamak parçalarının ASTM B-117 tuz testi öncesi, 240 ve 480 saat sonrası kaplama yapısındaki değişimleri optik mikroskop ve SEM resimleri ile incelemiştir. Sonuç olarak; incelemeler sonrası asitli ve alkali çinko nikel elektrolit banyolarında yapılan döküm ve zamak parçalar üzerine kaplanan çinko nikel alaşım kaplamaların yüzey morfolojisinin, gamma faz yapılarının ve korozyon dayanımlarının birbirine benzediğini ortaya koymuştur.

Metallerin korozyon direncinin artırılmasında kullanılan alkali çinko/alkali çinko demir/alkali çinko nikel kaplama prosesi ve çözücü bazlı lamelli kaplama prosesleri birbirinden bağımsız uygulanan proseslerdir. Can (2019) çalışmasında iki farklı prosesin bir araya getirilmesiyle her bir prosteden elde edilen ürünlerden daha üstün kaplama özelliklerine sahip bir ürün üretimi gerçekleştirmiş ve elde edilen ürünün kaplama kalınlığını X-Ray cihazı ve elkometre ile ölçmüştür. İki farklı kaplamanın birbirine yapışma mukavemeti kuru yapışma testi ve çekme yapışma testi ile belirlemiştir. Geliştirilen proses sonucu elde edilen ürünler özellikle otomotiv endüstrisi tarafından belirlenen şartnamelerdeki su direnci testi, nem direnci testi, hidrolik fren sıvısı testi, benzin direnci testi, mazot direnci testi, transmisyon sıvısı testi, tuz sisi testi, çevrim testi ve sıcaklık dayanımı testlerine de tabi tutmuştur.

Uyanık (2012) yaptığı çalışmada, parçadan beklenen özellikler ve kullanım yerine göre nikel kaplama, krom kaplama, çinko kaplama, kalay kaplama, bakır kaplama, soy metal kaplama ve NiCo, Ni-W vb. alaşım kaplama yöntemlerinden en uygun olanını seçmiştir. Çinkonun elektrokimyasal özelliği ve ekonomik olması çinko kaplamaların, çeliğin korozyona

karşı korunmasındaki kullanımını yaygınlaştırmıştır. Son yıllarda metallerin aşınma dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci gibi özelliklerini geliştirmek için kompozit kaplamalar yapılmaktadır. Kompozit kaplama yöntemlerinden biri olan elektrolitik kompozit kaplama, mikron veya nano boyutlardaki partiküllerin bir kaplama çözeltisine ilave edilip, partiküllerin katotta alaşım ya da metal matris ile birlikte çöktürülmesi esasına dayanmaktadır. 2000’li yıllardan bu yana yapılan elektrolitik kompozit kaplama çalışmalarında, nanopartikül ilaveli nikel kaplama banyolarında yapılan kaplamalar ile malzemenin korozyon direncinin iyileştiği, çinko kaplama banyosuna TiO_2 ve silika nanopartikül ilavesinin ise kaplamanın korozyon direncini önemli oranda artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan literatür çalışmalarında endüstride yaygın olarak kullanılan çinko kaplama banyosuna SiC nanopartikül ilavesinin korozyon direncine etkisine ilişkin herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmada, asitli çinko banyolarına SiC nanopartikül ilavesinin korozyon direncine etkisi araştırılmış ve bu kapsamda elektrolitik kaplama işlemi, proses adımları, banyo içerikleri açıklamış ve standart asitli çinko kaplama banyosunda SiC partikülleri ilavesiyle kaplanmış numunelerin korozyon direnci ile akım, süre, sıcaklık gibi parametrelerin korozyon direncine etkisi irdelenmiştir. Ayrıca, değişik organiklerin asitli çinko kaplama banyosuna ilavesi ile kaplanmış numunelerin korozyon direncinin değişimi saptanmaya çalışılmıştır. Kaplamaların korozyon direnci, korozyon direncinin belirlenmesinde yaygın kullanılan tuz püskürtme testi ile gözlenmiştir. Kaplanmış numunelerin korozyon öncesi ve sonrası makroyapı resimleri çekilmiş, yüzey yapılarındaki değişiklikler açıklanmaya çalışılmıştır.

Çinko-alüminyum alaşımlarından üretilen parçalar daha uzun süre, daha verimli kullanımları için farklı yüzey işlemlerine tabi tutulmaktadır. Elektrokimyasal yüzey işlem prosesleri işletim kolaylıkları ve seri üretime uygunlukları sebebiyle bu amaç için kullanılan alternatif uygulamalar arasında dikkat çekici konuma sahiplerdir. Çinko-alüminyum alaşımlarından üretilen döküm parçalarının yüzeyine yapılan elektrokimyasal kaplamaların, parça yüzeyine iyi yapışması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Ara katman olarak elektrolitik bakır kaplama bu amaçla sıkça tercih edilmektedir. Polat ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, ara katman uygulamalarında en sık kullanılan asidik ve siyanürlü alkali bakır filmlerinin özelliklerini incelemiş; çinko-alüminyum alaşımlarından üretilen döküm parçalarının üzerine bakır ara katmanı atıldıktan sonra farklı kaplamalar (krom, nikel, lak) uygulanarak elde edilen sekiz adet ürünün (kapı kolu) korozyon davranışını, ASTM B117 standartlarına uygun olarak test etmiştir. Denemeler sonucunda, ürün sadece bakır ile kaplandığında malzemenin korozyon direncinin gelişmediği gösterilmiştir. Bakır filminin ara

katman olarak uygulandığı durumda ise, bakır kaplama çözeltisinin özelliklerine bağlı olarak filmin yapısında değişiklik olduğu ve buna bağlı olarak korozyon özelliklerinin de değiştiği ortaya konmuştur. En yüksek korozyon direncinin lak kaplı numuneden elde edildiği, ilk film olarak siyanürlü bakır filmi uygulandığı takdirde ise korozyon direncinin daha da arttığı görsel sonuçların yanı sıra Raman ve EDS analizleriyle de çalışma kapsamında doğrulanmıştır.

Matik ve Çıtak (2013), demir esaslı toz metal parçaların asidik ve bazik banyolarda akımsız nikel (AN) kaplanabilirliği ve toz metal parçaların karakteristik özelliği olarak ortaya çıkan gözenekli yapının kaplama kalitesine etkisini incelemiştir. Bu amaçla, 40 adet numune farklı basınçlarda preslenmiş ve ham numuneler 1100 °C’de 45 dakika süre ile Ar atmosferinde sinterlendikten sonra gözeneklilik oranları tespit edilmiştir. 20 adet numune bazik, diğer 20 numune ise asidik AN çözeltisiyle 30 dakika kaplama işlemine tabii tutulmuştur. Kaplanan numunelere yapışma deneyleri uygulanarak bazik ve asidik çözeltilerle elde edilen kaplamaların kaliteleri ve parça gözenekliliğinin kaplama kalitesine etkisi incelenmiştir. İnceleme sonucu asidik çözeltiyle elde edilen kaplama kalitesinin bazik çözeltiye oranla daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca parça gözeneklilik oranının artmasıyla birlikte hem asidik hem de bazik AN kaplanan numunelerde kaplama kalitelerinin nispeten düştüğü tespit edilmiştir.

Fujita (2007), otomobillerde çinko ve çinko alaşımı kaplı çelik sacların perforasyon korozyonuna etkisini ve hızlandırılmış korozyon test yöntemlerini incelemiştir. Bindirmeli panellerin çatlaklarında korozyonu etkileyen ana faktör, kaplama tipinden çok çinko ve çinko alaşımlarının kaplama ağırlıklarıdır. Otomobillerde alıştırma kısmının çatlağındaki galvaniz çeliğin perforasyon korozyon işlemi dört aşamaya ayrılmıştır. Otomobillerdeki korozyon analizine dayanarak, üst üste binen çelik paneller için bir perforasyon korozyon endeksi (PCI) önerilmiştir. Çeşitli hızlandırılmış korozyon test yöntemleri için PCI varsayıldığında, gerçek ortamlarda çeşitli kaplamalı çelik sacların korozyon direnci değerlendirilmiştir.

6. MATERYAL VE METOTLAR

Tez çalışmasında, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan F899, F990, F825 sıcak dövme dökümlere ve GGG60, GGG50, GGG40, GG15, GG30 döküm malzemelere farklı koşullarda kaplama yapılarak, malzemelerin korozyona karşı; su direnci testi, taş çarpma testi, tuzlu sis testi, çevrimsel korozyon testi, volvo çevrim testi, scab korozyon testi özellikleri incelenmiştir. Dökümler aşağıda belirtilen 10 farklı koşulda kaplanmıştır:

- 1) 5-8 μm Alkali çinko kaplama üzerine 20-25 μm kataforez kaplama
- 2) 5-8 μm Alkali çinko demir kaplama üzerine 20-25 μm kataforez kaplama
- 3) 5-8 μm Alkali çinko nikel kaplama üzerine 20-25 μm kataforez kaplama
- 4) 5-8 μm Asitli çinko kaplama üzerine 20-25 μm kataforez kaplama
- 5) 5-8 μm Asitli çinko nikel kaplama üzerine 20-25 μm kataforez kaplama
- 6) 12-15 μm Alkali çinko kaplama üzerine 20-25 μm kataforez kaplama
- 7) 12-15 μm Alkali çinko demir kaplama üzerine 20-25 μm kataforez kaplama
- 8) 12-15 μm Alkali çinko nikel kaplama üzerine 20-25 μm kataforez kaplama
- 9) 12-15 μm Asitli çinko kaplama üzerine 20-25 μm kataforez kaplama
- 10) 12-15 μm Asitli çinko nikel kaplama üzerine 20-25 μm kataforez kaplama denemeleri yapılmıştır.

6.1. Mürekkep Testi

Farklı döküm ve sıcak dövme parçaların üzerine yağlılık miktarını belirleyici mürekkep testi yapılmıştır. Bu mürekkep 40 mN/m²’lik bir değere sahiptir. Test mürekkebi parça yüzeyine düz bir hat şeklinde çekilir. Parça yüzeyine çekilen bu hat kontrol edilir. Parça yüzeyine çizilen mürekkep test sonunda da düz ise yağ alma etkin olarak yapılmış demektir (ISO 8296, 2003).

6.2. Hogabom Testi

Kumlama etkinliğinin değerlendirilmesi hogabom çözeltisi ile ölçülmektedir.

Hogabom çözeltisinin hazırlanması:

1 lt’lik beherde 30 gr bakır sülfat, 200 ml saf su ile çözülür.

Üzerine 30 ml sülfürik asit eklenir.

Saf su ile 1 lt’ye tamamlanır.

Yapılışı ve Değerlendirilmesi:

Hazırlanan hogabom çözeltisi test için uygun bir zemine koyulur ve numune parçalar çözelti içine daldırılır. 10-15 saniye bekledikten sonra numuneler çıkarılır. Parçanın görünümü kontrol edilir. Parça yüzeyine bakır tabaka iyi bir şekilde yapışmışsa kumlama etkin olarak yapılmış demektir (Nof Metal Coatinhs Group, 2017).

6.3. Şok Testi

Şok testi, parçanın yüzey temizliği ve kaplaması ile ilgili net bilgi veren bir test yöntemidir. Bunun için etüv ve oda sıcaklığındaki bir suya ihtiyaç vardır. Bu yöntem ısıtma ve ani soğutma sonrasında metal ile kaplama arasındaki tutuculuğu test etmektedir. Çeşitli firma ve şartnamelere göre yapılan şok testi kontrol yöntemleri aşağıdaki Tablo 6.1’de belirtilmiştir.

Tablo 6.1. Çeşitli firma ve şartnamelere göre yapılan şok testi kontrol yöntemleri

FİRMA	ŞARTNAME NO	İLGİLİ STANDART	FIRIN SICAKLIĞI	SÜRE
FIAT-TOFAŞ	9,57405	50765	200 ± 10°C	30 DK.
	9,57409			
FORD	WSK-M2P149	ASTM B 571	200 ± 10°C	30 DK.
	WSD-M1P85			
	WSS-M21P17			
BMW GROUP	GS 90010	-	220 ± 5°C	30 DK.
VOLKSAGEN	TL217	-	220 ± 10°C	30 DK.
	VW-TL153	-	220 ± 10°C	30 DK.

Yapılışı ve Değerlendirilmesi:

Teste girecek parça hangi şartnameye göre test edilecekse, tablodan sıcaklık değeri bulunur ve etüv tablodaki değere set edilir. Aynı şekilde etüvde bekleme süresi de set edilir. Sıcaklık şartnamenin istemiş olduğu değere gelince kaplanmış parça etüve koyulur. Süre bittiğinde kaplanmış parça etüvden çıkarılır ve hemen oda sıcaklığındaki (15-25 °C) su banyosuna koyulur. Soğuduktan sonra parça su banyosundan çıkarılır ve kurumaya bırakılır. Sonrasında parça göz ile kontrol edilerek parça yüzeyinde yapışmadan kaynaklanan kabarma, atma olup olmadığına bakılır. Görüntüde bir sorun olmadığı durumda parça test uygun çıkmış demektir (Fiat Auto Normazione Material Standart 50765, 1990).

6.4. X-Ray Cihazında Çinko Kaplama Kalınlık Ölçümü

Kaplanan döküm ve sıcak çekme dökümler üzerindeki kimyasal yapı ve kaplama kalınlığı X-Ray cihazı ile analiz edilmektedir. Parça X-Ray cihazına yerleştirilir ve ölçüm başlatılır. Bu şekilde parçanın 5 farklı yerinden 5 farklı kaplama kalınlığı bulunur ve ortalaması alınarak kaplama kalınlığı bulunmuş olur. Buradaki amaç farklı kimyasal bileşime sahip yüzeyin homojen olup olmadığını incelemektir (EVS-EN ISO 3497, 2001). Tez çalışmasında X-Ray cihazında çinko kaplama kalınlık ölçümünde HELMUT FISCHER markasının positest XDL modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.1. X-Ray cihazı

6.5. Sem Cihazı ile Fosfat Kaplama Görünümü

Kaplanan döküm ve sıcak çekme dökümler üzerindeki fosfat yapısı ve homojenliği SEM cihazı ile analiz edilmektedir. Cihaza konulan parçaya 1000 μ büyütme yapılır ve incelenir yine aynı parça 3000 μ büyütme yapılarak kristal büyüklükleri incelenir. Amaç, döküm ve sıcak çekme döküm üzerindeki fosfat kaplamanın tüm yüzeyi sarıp homojen ve 3-6 μ m büyüklüğündeki fosfat kristalli bir yapıya sahip olup olmadığını incelemektir (Volvo Car Standard VSC 5740,1049, 2011). Tez çalışmasında, SEM cihazı ile fosfat kristali görüntüleme HITACHI markasının positest TM-1000 modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.2. SEM cihazı

6.6. Pull-Off Adhezyon Testi

Organik kaplamaların yüzeylerinin yüzeye yapışma mukavemetlerini belirlemede kullanılan test yöntemidir.

Yapılışı ve Değerlendirilmesi:

Duyarlı tutma aparatı, kaplanmış yüzey üzerine yerleştirilir. Test cihazı ile kopma oluncaya kadar parça yüzeyine dik bir kuvvet uygulanır. Sonrasında cihaz uyguladığı kuvvetle bir yerden yüzeyi koparacaktır. 100 psi altında kopan katmandaki tutuculuk gözden geçirilmelidir (ASTM D4541 Standart Test Method, 2017). Tez çalışmasında, pull-off adhezyon testinde DEFELSKO markasının positest AT-A modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.3. Pull-Off adhezyon test cihazı

6.7. Su Direnci Testi

Kaplamanın metal yüzeyine veya kaplamaların birbirine yapışıp yapışmadığını belirlemede kullanılan test yöntemidir. Su direnci testi Fiat'ın 50470 numaralı şartnamesine göre yapılmış ve değerlendirilmiştir. Test kısaca şu şekildedir: Kaplamalı parça 60 ± 2 °C'de, 24 saat deiyonize suya daldırılır. 24 saat sonunda çıkarılan parça, kurutma kagıdı ile kurulanır. İki saat ortam koşullarında bekletildikten sonrasında parça yapışma testine tabi tutulur. Yapışma direnci testi sonrası sonuç Ad0 ve Ad1 olmalıdır ve kaplamanın renginde değişim gözlenmemelidir. Tablo 6.2.'de tanımlamalar gösterilmiştir (Fiat Auto Normazione Material Standart 50470, 2005). Tez çalışmasında, su direnci testinde NÜVE markasının BM402 modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.4. Su direnci test cihazı

Tablo 6.2. Yapışma direnci sonrası test sınıflandırma, tanım ve gösterimleri

Sınıflandırma	Tanımı	Gösterimi
Ad 0	Kesik kenarlar mükemmel bir biçimde düzdür; karelerde boya kalkması yok.	---
Ad 1	Kesişme noktalarında kırılmış küçük parçalar; karelenmiş yüzeyden %5 kalkma	
Ad 2	Karelerin kesişme noktalarında veya kesik kenarlar boyunca düzen bozukluğu	
Ad 3	Kesik kenarlar boyunca kırılmanın kısmi veya toplam, geniş şeritlerde ve trimlerde tek parçalanmanın kısmi veya toplam kırılması	
Ad 4	Geniş şeritler veya tek karelerden tamamen veya kısmen trim kırılmalarının %65 olması	
Ad 5	Karelenmiş yüzeylerden %65' den fazla kalkmanın olması	---

6.8. Tuz Sisi Testi

Tuz sisi testi ASTM B117 ve DIN EN ISO 9227 şartnamelerine göre yapılmıştır. Plakalar kaplandıktan sonra test standartlarına göre hazırlanmış %5'lik sodyum klorür çözeltisini spreylen tuz sisi kabini içine, 35 °C sıcaklıkta ve %95 nemde maruz

bırakılarak gerçekleştirilir. Beyaz pas korozyonun çinko kaplı tabakaya ulaştığını, kırmızı pas korozyonun metal yüzene ulaştığının göstergesidir. 500 saat korozyon testi sonrası lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pul şeklinde dökülme, tabakalara ayrılma, boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır ve parça yüzeyinin maksimum %5’ de kırmızı pas olmalıdır (ASTM B117 Standart Method, 1974; ISO 9227, 2006). Tez çalışmasında, tuz sisi testinde VÖTSCH markasının SC1000 modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.5. Tuz sisi test cihazı

6.9. Taş Çarpma Testi

Taş çarpma testi SAE J400 şartnamesine göre yapılmıştır. Boya film tabakasının taş çarpmaya karşı direncini belirlemek amacıyla yapılır. Cihaza 9,53-15,86 mm 0,473 lt yol taşı koyularak 70±3 psi’de 7-10 sn olarak parça yüzeyine çarptırılır. Taş çarpma testi sonrası testin uygun çıkması için yüzey direncinin 6A, 7A ve 7B olması gerekmektedir (SAE International J400, 2012). Tez çalışmasında, taş çarpma testinde GRAVELOMETER cihazı kullanılmıştır.



Şekil 6.6. Taş çarpma test cihazı

6.10. Çevrimsel Korozyon Testi

Çevrim testi PV1200 şartnamesine göre yapılmıştır ve 8 çevrim olacak şekilde tamamlanmıştır. 1 çevrim 12 saatten oluşmaktadır ve 1 çevrim aşamaları Tablo 6.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Pv1200 şartnamesi bir çevrim döngüsü

80 °C %80 RH, 1 saat	12 saat
80 °C %80 RH, 4 saat	
-40 °C %0 RH, 2 saat	
-40 °C kontrolsüz nem, 4 saat	
23 °C %30 RH, 1 saat	

Bu tipteki testlerde nem, tuz, sıcaklık, soğukluk, kuru hava, yağmurlama gibi etki faktörlerini simüle etmek adına birbirini takip eden adımların uygulanmasından oluşur. Bir aracın gerçek hayatta göreceği tüm şartlar hızlı ve programlı bir yapıyla test edilmektedir. Yapılan çalışmada elde edilen görsel uygun ürünlerden 8 çevrim sonunda kabarma, base metal korozyon, boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır ve yapışma kaybı $d \leq 1,5$ mm olmalıdır (Volkswagen AG PV1200, 2004). Tez çalışmasında, çevrimsel korozyon testinde ASCOTT markasının CC1000IP modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.7. Çevrimsel korozyon test kabini

6.11. Scab Korozyon Testi

Parçalara testten önce 50488/01 şartnamesine göre önce taş çarpma işlemi yapılır. Daha sonra bu test döngüsü nemli aşama ile başlar hem sıcak hava hem de kurutma ile devam eder

ve kaplamalı ürün tipine göre 500-1000 saat için test başlatılır. 500 saat yapılan Scab korozyon testi sonrası oksitlenmiş noktaların sayısı tespit edilir ve yayılan korozyonun büyüklüğü ölçülür. Test döngüsü Tablo 6.4.'te verilmiştir (Fiat Auto Normazione Material Standart 50493, 2011). Tez çalışmasında, scab korozyon testinde ANGELANTONI markasının DCTC 1200P modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.8. Scab korozyon test kabini

Tablo 6.4. Scab korozyon test döngüsü

Çevrim Parametreleri	Çevrim	
	Islak Faz	Kuru faz
Sodyum klorür konsantrasyonu	0,50%	-
Tuzlu püskürtme basıncı	0,6-1 bar	-
Tuz solüsyonun ph değeri	6,0-6,5	-
Çevrim süresi	60 min	40 min
Test kabin sıcaklığı	$55 \pm 2^{\circ} \text{C}$	
Test kabin bağıl nemi	90-95 %	55-60 %

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe en çok kullanılan F899, F990, F825 sıcak dövme dökümlere ve GGG60, GGG50, GGG40, GG15, GG30 döküm malzemelere alkali/asidik ortamda farklı kalınlıkta öncelikle çinko, çinko-demir veya çinko-nikel kaplama yapılmış, ardından kaplanan numunelerin üzerine 20–25 µm kalınlığında kataforez kaplama uygulanmıştır. Bu bölümde, performans dayanımını artırmaya yönelik uygulama çalışmaları sonucunda elde edilen döküm malzemelerin karakterizasyon sonuçları verilecektir

7.1. Kaplama Çalışma Koşulları ve Kaplama Sırasında Ölçülen Parametreler

Kaplama çalışma koşulları ve kaplama sırasında banyoda ölçülen değerler aşağıdaki gibidir.

7.1.1. Kaplama Öncesi Yüzey Temizlik

5-8 µm ve 12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplama üzerine 20-25 µm kataforez kaplanacak tüm numuneler kaplama öncesi yüzey temizlik çalışmasında kullanılan banyoların proses çalışma değer aralıkları ve kaplama anında ölçülen değerler Tablo 7.1.' de verilmiştir. Kaplama öncesi yüzey temizlik esnasında ölçülen banyo parametrelerinin teorik değer aralıklarında olduğu görülmektedir.

Tablo 7.1. Yüzey temizleme prosesi teorik ve deneysel analizleri

			Teorik	Ölçülen
YÜZEY TEMİZLEME	Sıcak Yağ Alma	Sıcaklık	50-85°C	53°C
		Süre	1-30 dk.	20 dk.
		Konsantrasyon	%3-10 ml	5 ml
	S20 Kumlama	Süre	Min.10 dk.	10 dk.

7.1.2. Çinko Kaplama Prosesi Genel Hatları

5-8 µm ve 12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplama çalışmasında kullanılan banyoların proses çalışma değer aralıkları ve kaplama anında ölçülen değerler Tablo 7.2.' de verilmiştir. Çinko kaplama esnasında ölçülen banyo parametrelerinin teorik değer aralıklarında olduğu görülmektedir.

Tablo 7.2. Çinko kaplama prosesi genel hatları için teorik ve deneysel analizleri

			Teorik	Ölçülen
Yüzey Hazırlama Prosesi	Elektrikli Yağ Alma	Süre	1-20 dk.	10 dk.
		Sıcaklık	50-80°C	53°C
		Konsantrasyon	%4-6 ml	5 ml
		Akım Yoğunluğu	3-5 A/dm ²	4,5 A/dm ²
	Ultrasonik Yağ Alma	Süre	1-20 dk.	10 dk.
		Sıcaklık	50-80°C	55°C
		Konsantrasyon	%4-6 ml	4 ml
	Asidik Yağ Alma	Süre	5-15 dk.	8 dk.
		Konsantrasyon	10-30 ml	18 ml
	Nötürleme	Süre	10-30 sn.	30 sn.
		pH	4-6	4,7
Elektro-Kaplama Prosesi	Çeşitli Çinko Kaplama Prosesleri	Parametreler	-	-
	Nötürleme	Süre	5-60 sn.	30 sn.
		pH	1-2	2
Kurutma Prosesi	Hava Üfleme	Süre	Min. 1 dk.	2 dk.
	Kurutma Fırını	Süre	3-15 dk.	10 dk.
		Sıcaklık	50-110°C	98°C

7.1.3. 5-8 µm ve 12-15 µm Alkali Çinko Kaplama

5-8 µm ve 12-15 µm alkali çinko kaplama çalışmasında kullanılan banyoların proses çalışma değer aralıkları ve kaplama anında ölçülen değerler Tablo 7.3.'de verilmiştir. Alkali çinko kaplama esnasında ölçülen banyo parametrelerinin teorik değer aralıklarında olduğu görülmektedir.

Tablo 7.3. 5-8 µm ve 12-15 µm alkali çinko kaplama prosesi teorik ve deneysel analizleri

			Teorik	Ölçülen
Elektro-Kaplama Prosesi	5-8 µm Alkali Çinko Kaplama	Süre	1 µm için min. 3 dk.	21 dk.
		Sıcaklık	20-40°C	28°C
		Çinko	8-15 gr/L	9 gr/L
		Kostik	110-150 gr/L	130 gr/L
		Akım	1-5 A/dm ²	4 A/dm ²
	12-15 µm Alkali Çinko Kaplama	Süre	1 µm için min. 3 dk.	42 dk.
		Sıcaklık	20-40°C	28°C
		Çinko	8-15 gr/L	9 gr/L
		Kostik	110-150 gr/L	130 gr/L
		Akım	1-5 A/dm ²	4 A/dm ²

7.1.4. 5-8 µm ve 12-15 µm Alkali Çinko-Demir Kaplama

5-8 µm ve 12-15 µm alkali çinko-demir kaplama çalışmasında kullanılan banyoların proses çalışma değer aralıkları ve kaplama anında ölçülen değerler Tablo 7.4.'de verilmiştir. Alkali çinko-demir kaplama esnasında ölçülen banyo parametrelerinin teorik değer aralıklarında olduğu görülmektedir.

Tablo 7.4. 5-8 µm ve 12-15 µm alkali çinko-demir kaplama prosesi teorik ve deneysel analizleri

Elektro-Kaplama Prosesi	5-8 µm Alkali Çinko-Demir Kaplama	Teorik		Ölçülen
		Süre	1 µm için min. 3 dk.	21 dk.
		Sıcaklık	20-30°C	28°C
		Çinko	8-12 gr/L	9 gr/L
		Demir	50-150 ppm	90 ppm
		Kostik	110-140 gr/L	130 gr/L
	12-15 µm Alkali Çinko-Demir Kaplama	Akım	1-5 A/dm ²	4 A/dm ²
		Süre	1 µm için min. 3 dk.	45 dk.
		Sıcaklık	20-30°C	28°C
		Çinko	8-12 gr/L	9 gr/L
		Demir	50-150 ppm	90 ppm
		Kostik	110-140 gr/L	130 gr/L
		Akım	1-5 A/dm ²	4 A/dm ²

7.1.5. 5-8 µm ve 12-15 µm Alkali Çinko-Nikel Kaplama

5-8 µm ve 12-15 µm alkali çinko-nikel kaplama çalışmasında kullanılan banyoların proses çalışma değer aralıkları ve kaplama anında ölçülen değerler Tablo 7.5.'de verilmiştir. Alkali çinko-nikel kaplama esnasında ölçülen banyo parametrelerinin teorik değer aralıklarında olduğu görülmektedir.

Tablo 7.5. 5-8 µm ve 12-15 µm alkali çinko-nikel kaplama prosesi teorik ve deneysel analizleri

Elektro-Kaplama Prosesi	5-8 µm Alkali Çinko-Nikel Kaplama	Teorik		Ölçülen
		Süre	1 µm için min. 3 dk.	21 dk.
		Sıcaklık	22-30°C	29°C
		Çinko	5,5-6,2 gr/L	6 gr/L
		Nikel	0,7-2 gr/L	1,9 gr/L
		Kostik	110-140 gr/L	138 gr/L
	12-15 µm Alkali Çinko-Nikel Kaplama	Akım	1-3 A/dm ²	2,5 A/dm ²
		Süre	1 µm için min. 3 dk.	45 dk.
		Sıcaklık	22-30°C	29°C
		Çinko	5,5-6,2 gr/L	6 gr/L
		Nikel	0,7-2 gr/L	1,9 gr/L
		Kostik	110-140 gr/L	138 gr/L
		Akım	1-3 A/dm ²	2,5 A/dm ²

7.1.6. 5-8 µm ve 12-15 µm Asitli Çinko Kaplama

5-8 µm ve 12-15 µm asitli çinko kaplama çalışmasında kullanılan banyoların proses çalışma değer aralıkları ve kaplama anında ölçülen değerler Tablo 7.6.'da verilmiştir. Asitli çinko kaplama esnasında ölçülen banyo parametrelerinin teorik değer aralıklarında olduğu görülmektedir.

Tablo 7.6. 5-8 µm ve 12-15 µm asitli çinko kaplama prosesi teorik ve deneysel analizleri

Elektro-Kaplama Prosesi	5-8 µm Asitli Çinko Kaplama		Teorik	Ölçülen
		Süre	1 µm için min. 3 dk.	21 dk.
		Sıcaklık	18-32°C	30°C
		pH	4,5-5,5	5
		Toplam Çinko	30-35 gr/L	32 gr/L
		Toplam Klorür	130-170 gr/L	150 gr/L
		Amonyum Klorür	150-200 gr/L	190 gr/L
		Akım	4-6 A/dm ²	5 A/dm ²
	12-15 µm Asitli Çinko Kaplama	Süre	1 µm için min. 3 dk	45 dk.
		Sıcaklık	18-32°C	30°C
		pH	4,5-5,5	5
		Toplam Çinko	30-35 gr/L	32 gr/L
		Toplam Klorür	130-170 gr/L	150 gr/L
		Amonyum Klorür	150-200 gr/L	190 gr/L
		Akım	4-6 A/dm ²	5 A/dm ²

7.1.7. 5-8 µm ve 12-15 µm Asitli Çinko-Nikel Kaplama

5-8 µm ve 12-15 µm asitli çinko-nikel kaplama çalışmasında kullanılan banyoların proses çalışma değer aralıkları ve kaplama anında ölçülen değerler Tablo 7.7.'de verilmiştir. Asitli çinko-nikel kaplama esnasında ölçülen banyo parametrelerinin teorik değer aralıklarında olduğu görülmektedir.

Tablo 7.7. 5-8 µm ve 12-15 µm asitli çinko-nikel kaplama prosesi teorik ve deneysel analizleri

Elektro-Kaplama Prosesi	5-8 µm Asitli Çinko-Nikel Kaplama		Teorik	Ölçülen
		Süre	1 µm için min. 3 dk	21 dk.
		Sıcaklık	18-32°C	31°C
		pH	4,5-5,5	5,2
		Toplam Çinko	30-35 gr/L	31 gr/L
		Toplam Klorür	130-170 gr/L	155 gr/L
		Amonyum Klorür	150-200 gr/L	165 gr/L
		Toplam Nikel	1-5 gr/L	4 gr/L
		Akım	4-6 A/dm ²	6 A/dm ²
	12-15 µm Asitli Çinko-Nikel Kaplama	Süre	1 µm için min. 3 dk	45 dk.
		Sıcaklık	18-32°C	31°C
		pH	4,5-5,5	5,2
		Toplam Çinko	30-35 gr/L	31 gr/L
		Toplam Klorür	130-170 gr/L	155 gr/L
		Amonyum Klorür	150-200 gr/L	165 gr/L
		Toplam Nikel	1-5 gr/L	4 gr/L
		Akım	4-6 A/dm ²	6 A/dm ²

7.1.8. 20-25 µm Kataforez Kaplama

5-8 µm ve 12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanan tüm numuneler üzerine 12-15 µm kataforez kaplama yapılmıştır. Kataforez kaplama çalışmasında kullanılan banyoların proses çalışma değer aralıkları ve kaplama anında ölçülen değerler Tablo 7.8.'de verilmiştir. Kataforez kaplama esnasında ölçülen banyo parametrelerinin teorik değer aralıklarında olduğu görülmektedir.

Tablo 7.8. 20-25 µm Kataforez prosesi teorik ve deneysel analizleri

			Teorik	Ölçülen
Yüzey Hazırlama Prosesi	Sıcak Yağ Alma	Süre	5-10 dk.	7 dk.
		Sıcaklık	50-85°C	52°C
		Konsantrasyon	%3-10 ml	4 ml
	Aktivasyon	Süre	30-60 sn.	45 sn.
		pH	8,5-10	9,5
	Fosfat Kaplama	Süre	2-5 dk.	3 dk.
		Toplam Asit	17-25 ml	23 ml
		Serbest Asit	0,6-1,1 ml	1 ml
		Hızlandırıcı	1,5-3 ml	2,7 ml
		Toplam Flor	550-850 ppm	770 ppm
		Serbest Flor	50-150 ppm	85 ppm
		Nikel Oranı	0,6-1,1 gr/L	0,82 gr/L
		Çinko Oranı	0,6-1,2 gr/L	1,1 gr/L
		Mangan Oranı	0,2-0,5 gr/L	0,42 gr/L
		Demir Oranı	Max. 7 ppm	0 ppm
	Pasivasyon	Süre	Min. 15 sn.	30 sn.
		Titrasyon Noktası	1,7-6,9 ml	3,5 ml
		İletkenlik	Max. 900 µS	700 µS
Elektro-Kaplama Prosesi	Kataforez	Süre	3-5 dk.	3,05 dk.
		Katı Miktarı	%14-20	16
		Kül Miktarı	%1,2-2,5	1,7
		P/L Oranı	0,11-0,16	0,14
		Sıcaklık	29-35°C	32°C
		pH	Kataforez	5,6-6,1
			DI Su Tankı	5,5-7,5
		İletkenlik	Kataforez	1000-2000 µS
			Anolit Tankı	4000-6000 µS
			DI Su Tankı	10-250 µS
	Ultrafiltrat	Süre	1-10 dk.	1 dk.
		İletkenlik	400-1200 µS	1000 µS
		pH	5,6-6	5,8
Kürleme Prosesi	Piştirme Fırını	Süre	Min. 15 dk.	62 dk.
		Sıcaklık	Min. 155°C	200°C

7.2. Kaplama İşlemi Sırasında Ve Kaplama Sonrasında Deneysel Değerlendirmeler

Kaplama prosesi sırasında ve kaplama sonrasında yapılan deneysel değerlendirmeler aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir.

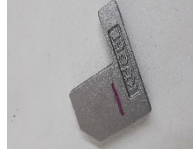
7.2.1. Mürekkep Testi

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanacak tüm numunelere kaplama öncesi yapılacak yağ alma işleminin uygunluğu mürekkep testi ile ölçülmüştür. Tüm test sonuçları Tablo 7.9.'da gösterilmiştir. Uygulanan yağ alma işleminin kabul edilebilmesi için parça yüzeyine çizilen mürekkebin test sonunda da düz bir hat şeklinde kalması, yağ alma işleminin etkin olarak yapıldığını göstermektedir. Buna göre 20 dakika yağ alma işlemi yapılan tüm malzemeler testi geçmiştir.

Tablo 7.9. Çinko + Kataforez kaplama öncesi mürekkep testi sonuçları

	5 dakika Yağ alma	15 dakika Yağ alma	20 dakika Yağ alma
F899			
	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun
F990			
	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun
F825			
	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun
GGG-60			

Tablo 7.9. (tablonun devamı) Çinko + Kataforez kaplama öncesi mürekkep testi sonuçları

	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun
GGG-50			
	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun
GGG-40			
	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun
GG-15			
	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun
GG-30			
	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun

7.2.2. Hogabom Testi

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanacak tüm numunelere kaplama öncesi yapılacak kumlama işleminin uygunluğu hogabom testi ile ölçülmüştür. Tüm test sonuçları Tablo 7.10.'da gösterilmiştir. Uygulanan kumlama işleminin kabul edilebilmesi için hazırlanan çözeltideki bakır parçanın yüzeyine iyi ve homojen bir şekilde yapışmışsa, kumlama işleminin etkin olarak yapıldığını göstermektedir. Buna göre 10 dakika kumlama işlemi yapılan tüm malzemeler testi geçmiştir.

Tablo 7.10. Çinko + Kataforez kaplama öncesi Hogabom testi sonuçları

	5 dakika kumlama işlemi	10 dakika kumlama işlemi
F899		
	Uygun Değil	Uygun
F990		
	Uygun Değil	Uygun
F825		
	Uygun Değil	Uygun
GGG-60		
	Uygun Değil	Uygun
GGG-50		
	Uygun Değil	Uygun
GGG-40		

Tablo 7.10. (tablonun devamı) Çinko + Kataforez kaplama öncesi Hogabom testi sonuçları

	Uygun Değil	Uygun
GG-15		
	Uygun Değil	Uygun
GG-30		
	Uygun Değil	Uygun

7.2.3. Şok Testi

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanacak tüm numunelere kaplama öncesi yapılacak ultrasonik yağ işleminin uygunluğu şok testi ile ölçülmüştür. Uygun olan tüm test sonuçları Tablo 7.11. ve Tablo 7.12.'de gösterilmiştir. Uygulanan ultrasonik yağ alma işleminin kabul edilebilmesi için parçalar göz ile kontrol edilerek parça yüzeyinde yapışmadan kaynaklı kabarma ve atma olmamışsa, ultrasonik yağ alma işleminin etkin olarak yapıldığını göstermektedir. Buna göre, ultrasonik yağ alma işlemi uygulanmayan numunelerin testi geçemediği, ancak 10 dk.'lık ultrasonik yağ alma işlemi uygulanan numunelerin şok testinde uygun sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir

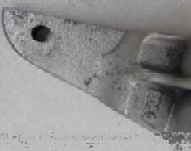
Tablo 7.11. 5-8 µm çinko kaplama sonrası Şok testi sonuçları

	5-8 µm Alkali çinko kaplama öncesi 10 dk. ultrasonik yağ alma	5-8 µm Alkali çinko Demir kaplama öncesi 10 dk. ultrasonik yağ alma	5-8 µm Alkali çinko Nikel kaplama öncesi 10 dk. ultrasonik yağ alma	5-8 µm Asitli çinko kaplama öncesi 10 dk. ultrasonik yağ alma	5-8 µm Asitli çinko Nikel kaplama öncesi 10 dk. ultrasonik yağ alma
F899					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
F990					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
F825					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-60					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-50					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun

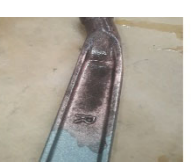
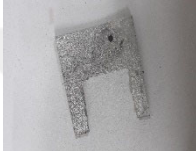
Tablo 7.11. (tablonun devamı) 5-8 µm çinko kaplama sonrası Şok testi sonuçları

GGG-40					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GG-15					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GG-30					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun

Tablo 7.12. 12-15 µm çinko kaplama sonrası Şok testi sonuçları

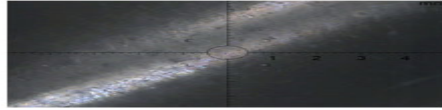
	12-15 µm Alkali çinko kaplama öncesi 10 dk. ultrasonik yağ alma	12-15 µm Alkali çinko Demir kaplama öncesi 10 dk. ultrasonik yağ alma	12-15 µm Alkali çinko Nikel kaplama öncesi 10 dk. ultrasonik yağ alma	12-15 µm Asitli çinko kaplama öncesi 10 dk. ultrasonik yağ alma	12-15 µm Asitli çinko Nikel kaplama öncesi 10 dk. ultrasonik yağ alma
F899					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
F990					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun

Tablo 7.12. (tablonun devamı) 12-15 µm çinko kaplama sonrası Şok testi sonuçları

F825					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-60					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-50					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-40					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GG-15					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GG-30					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun

7.2.4. X-Işını Cihazında Çinko Kaplama Kalınlık Ölçümü

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanan tüm numunelerin kaplama kalınlığı uygunluğu x-ışını cihazı ile ölçülmüştür. Tüm test sonuçları Tablo 7.13. ve Tablo 7.14.'te gösterilmiştir. Uygulanan kaplama işleminin kabul edilebilmesi için kaplama kalınlı olan 5–8 μm ve 12–15 μm arasında çıkmalıdır. Buna göre tüm parçaların kaplama kalınlıkları istenilen aralıkta çıkmıştır. Ayrıca 5–8 μm alkali çinko demir kaplama GGG-60 numunesinin kaplama kalınlığı Şekil 7.1.' de gösterilmiştir.



n=	1	Zn	1	=	6.10	μm
n=	2	Zn	1	=	6.20	μm
n=	3	Zn	1	=	6.20	μm
n=	4	Zn	1	=	6.19	μm
n=	5	Zn	1	=	6.16	μm

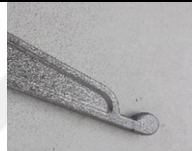
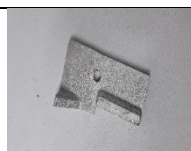
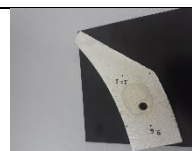
Ortalama	6.17	μm
Standart Sapma	0.043	μm
C.O.V. (%)	0.69	
Fark	0.10	μm
Ölçüm Sayısı	5	
Min. Ölçüm	6.10	μm
Max. Ölçüm	6.20	μm
Ölçüm Süresi	5	sec

Şekil 7.1. 5–8 μm alkali çinko-demir kaplanan GGG-40 numunesi

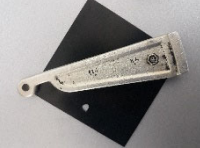
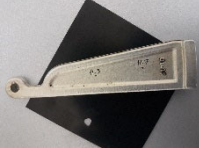
Tablo 7.13. 5-8 μm çinko kaplama X-ışını kaplama kalınlık ölçüm sonuçları

	5-8 μm Alkali çinko	5-8 μm Alkali çinko-demir	5-8 μm Alkali çinko-nikel	5-8 μm Asitli çinko	5-8 μm Asitli çinko-nikel
F899					
	5,80 μm / Uygun	5,32 μm / Uygun	7,83 μm / Uygun	6,82 μm / Uygun	5,79 μm / Uygun
F990					
	6,97 μm / Uygun	7,73 μm / Uygun	6,12 μm / Uygun	5,11 μm / Uygun	7,90 μm / Uygun
F825					
	6,63 μm / Uygun	5,92 μm / Uygun	6,15 μm / Uygun	6,28 μm / Uygun	7,80 μm / Uygun

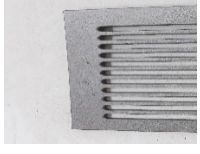
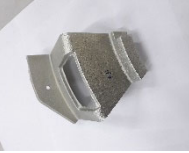
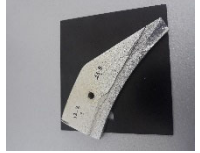
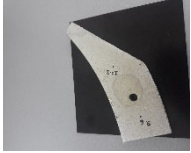
Tablo 7.13. (toblonun devamı) 5-8 µm çinko kaplama X-ışını kaplama kalınlık ölçüm sonuçları

GGG-60					
	7,89 µm / Uygun	5,13 µm / Uygun	5,99 µm / Uygun	7,53 µm / Uygun	5,27 µm / Uygun
GGG-50					
	5,13 µm / Uygun	7,19 µm / Uygun	5,83 µm / Uygun	7,17 µm / Uygun	5,21 µm / Uygun
GGG-40					
	7,18 µm / Uygun	6,17 µm / Uygun	5,98 µm / Uygun	5,88 µm / Uygun	5,91 µm / Uygun
GG-15					
	5,22 µm / Uygun	5,08 µm / Uygun	6,83 µm / Uygun	7,03 µm / Uygun	7,14 µm / Uygun
GG-30					
	7,29 µm / Uygun	7,15 µm / Uygun	7,53 µm / Uygun	5,77 µm / Uygun	5,53 µm / Uygun

Tablo 7.14. 12-15 µm çinko kaplama X-ışını kaplama kalınlık ölçüm sonuçları

	12-15 µm Alkali çinko	12-15 µm Alkali çinko-demir	12-15 µm Alkali çinko-nikel	12-15 µm Asitli çinko	12-15 µm Asitli çinko-nikel
F899					
	12,53 µm / Uygun	14,23 µm / Uygun	14,89 µm / Uygun	14,17 µm / Uygun	14,11 µm / Uygun
F990					
	12,27 µm / Uygun	12,53 µm / Uygun	12,10 µm / Uygun	12,09 µm / Uygun	12,71 µm / Uygun
F825					
	12,19 µm / Uygun	12,55 µm / Uygun	12,27 µm / Uygun	12,43 µm / Uygun	12,13 µm / Uygun
GGG-60					
	13,54 µm / Uygun	13,19 µm / Uygun	13,79 µm / Uygun	13,89 µm / Uygun	13,23 µm / Uygun
GGG-50					
	14,19 µm / Uygun	14,02 µm / Uygun	14,89 µm / Uygun	14,91 µm / Uygun	14,17 µm / Uygun
GGG-40					
	12,77 µm / Uygun	12,51 µm / Uygun	12,10 µm / Uygun	12,73 µm / Uygun	12,96 µm / Uygun

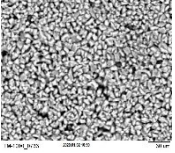
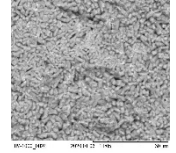
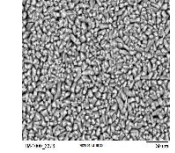
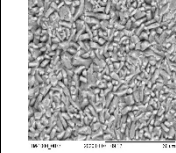
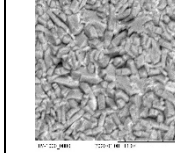
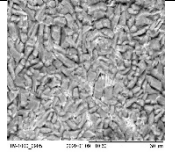
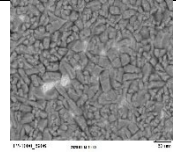
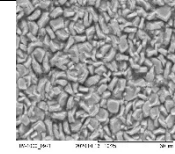
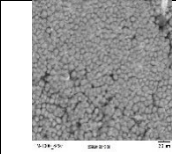
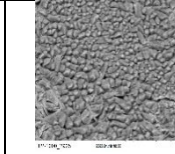
Tablo 7.14. (tablonun devamı) 12-15 µm çinko kaplama X-ışını kaplama kalınlık ölçüm sonuçları

GG-15					
	12,19 µm / Uygun	14,15 µm / Uygun	14,71 µm / Uygun	14,13 µm / Uygun	14,87 µm / Uygun
GG-30					
	14,17 µm / Uygun	14,55 µm / Uygun	14,83 µm / Uygun	14,98 µm / Uygun	14,19 µ / Uygun

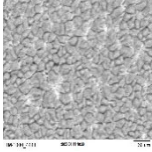
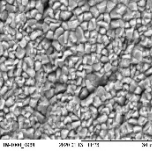
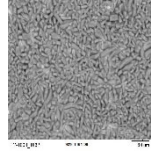
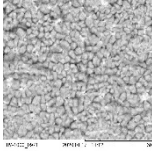
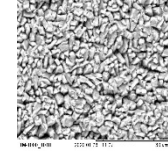
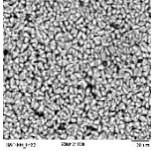
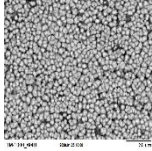
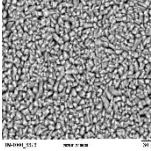
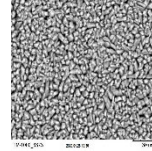
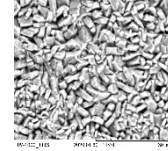
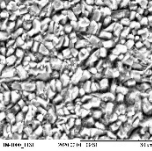
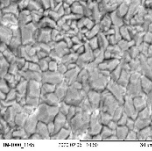
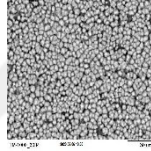
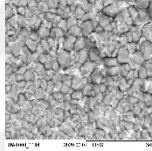
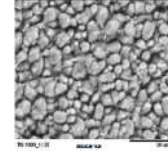
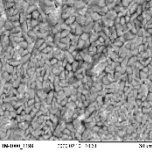
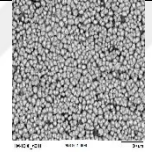
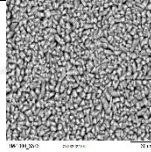
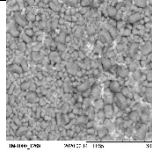
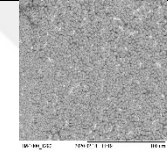
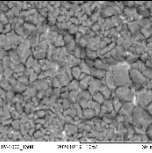
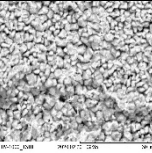
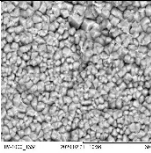
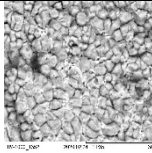
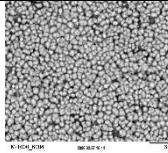
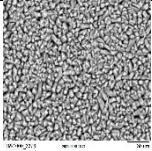
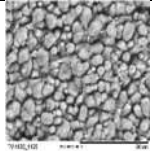
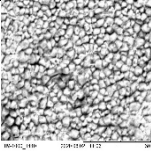
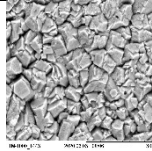
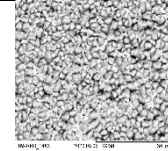
7.2.5. SEM cihazı ile fosfat kaplama görünümü

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanan tüm numuneler üzerine kaplanan fosfat kaplamaların örtücülüğü ve kristal büyüklükleri SEM cihazı ile ölçülmüştür. Tüm test sonuçları Tablo 7.15. ve Tablo 7.16.'da gösterilmiştir. SEM cihazı görüntülerine göre, fosfat kaplamaların hepsi tüm yüzeyi örtmüş ve fosfat kristalleri 3-6 µm büyüklüğündedir. Fosfat kaplamanın kabul edilebilmesi için fosfatın tüm yüzeyi örtmüş ve fosfat kristalleri 3-6 µm büyüklüğünde olması gerekmektedir. Buna göre de tüm malzemeler testi geçmiştir.

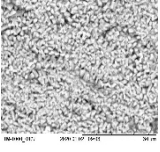
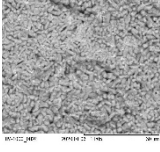
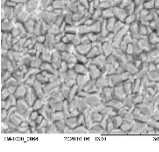
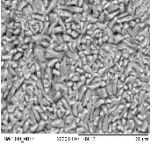
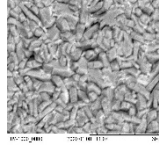
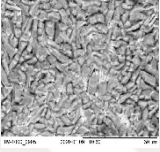
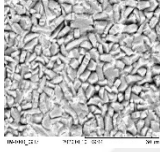
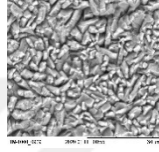
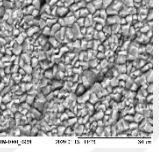
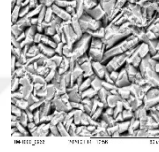
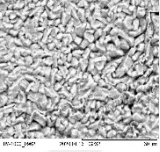
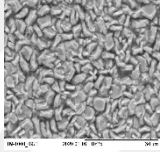
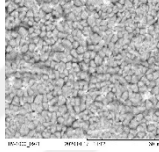
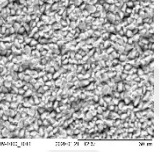
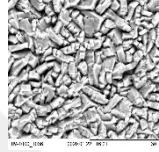
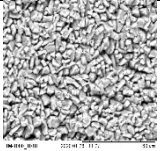
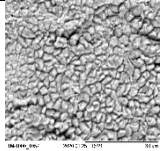
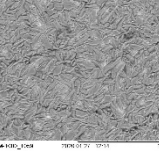
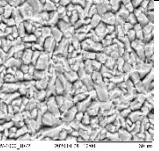
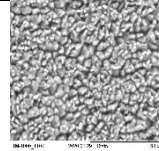
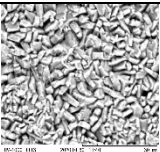
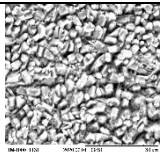
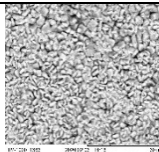
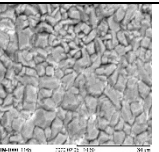
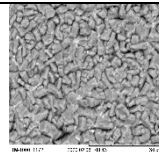
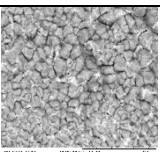
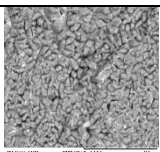
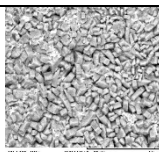
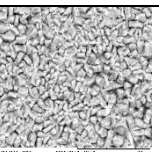
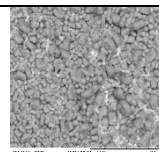
Tablo 7.15. 5-8 µm çinko + fosfat kaplama SEM cihazı görüntü sonuçları

	5-8 µm Alkali çinko + fosfat kaplama	5-8 µm Alkali çinko-demir + fosfat kaplama	5-8 µm Alkali çinko-nikel + fosfat kaplama	5-8 µm Asitli çinko + fosfat kaplama	5-8 µm Alkali çinko-nikel + fosfat kaplama
F899					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
F990					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun

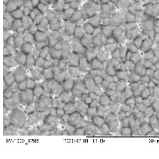
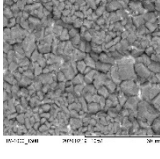
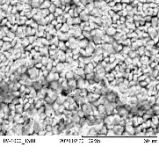
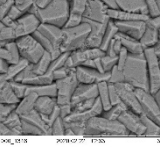
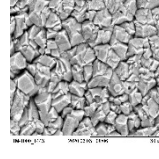
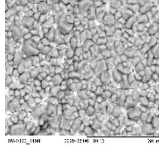
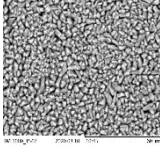
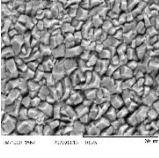
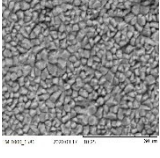
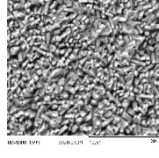
Tablo 7.15. (tablonun devamı) 5-8 µm çinko + fosfat kaplama SEM cihazı görüntü sonuçları

	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
F825					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-60					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-50					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-40					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GG-15					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GG-30					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun

Tablo 7.16 12-15 µm çinko + fosfat kaplama SEM cihazı görüntü sonuçları

	12-15 µm Alkali çinko + fosfat kaplama	12-15 µm Alkali çinko- demir + fosfat kaplama	12-15 µm Alkali çinko- nikel + fosfat kaplama	12-15 µm Asitli çinko + fosfat kaplama	12-15 µm Alkali çinko-nikel + fosfat kaplama
F899					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
F990					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
F825					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-60					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-50					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-40					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun

Tablo 7.16. (tablonun devamı) 12-15 μm çinko + fosfat kaplama SEM cihazı görüntü sonuçları

GG-15					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
GG-30					
	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun

7.2.6. Pull-Off Adhezyon Testi

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanan tüm numuneler üzerine kaplanan kataforez kaplamaların çinko kaplamaya tutunumu pull-off adhezyon testi ile ölçülmüştür. Tüm test sonuçları Tablo 7.17. ve Tablo 7.18.'de gösterilmiştir. Pull-off adhezyon testine göre, tutunma değerlerinin 126-496 psi arasında olduğu belirlenmiştir. Tutunumun kabul edilebilmesi için tutunum değerinin 100 psi'nin altında olmaması gerekmektedir. Buna göre de tüm malzemeler testi geçmiştir.

Tablo 7.17. 5-8 μm çinko + 20-25 μm kataforez kaplama Pull-Off adhezyon testi sonuçları

	5-8 μm Alkali çinko + 20-25 μm kataforez	5-8 μm Alkali çinko-demir + 20-25 μm kataforez	5-8 μm Alkali çinko-nikel + 20-25 μm kataforez	5-8 μm Asitli çinko + 20-25 μm kataforez	5-8 μm Asitli çinko-nikel + 20-25 μm kataforez
F899					
	175 psi / Uygun	272 psi / Uygun	371 psi / Uygun	488 psi / Uygun	488 psi / Uygun
F990					
	173 psi / Uygun	263 psi / Uygun	365 psi / Uygun	454 psi / Uygun	477 psi / Uygun

Tablo 7.17. (tablonun devamı) 5-8 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama Pull-Off adhezyon testi sonuçları

F825					
	152 psi / Uygun	241 psi / Uygun	356 psi / Uygun	451 psi / Uygun	451 psi / Uygun
GGG-60					
	138 psi / Uygun	238 psi / Uygun	343 psi / Uygun	480 psi / Uygun	469 psi / Uygun
GGG-50					
	158 psi / Uygun	229 psi / Uygun	360 psi / Uygun	466 psi / Uygun	490 psi / Uygun
GGG-40					
	171 psi / Uygun	244 psi / Uygun	317 psi / Uygun	433 psi / Uygun	429 psi / Uygun
GG-15					
	150 psi / Uygun	236 psi / Uygun	336 psi / Uygun	441 psi / Uygun	433 psi / Uygun
GG-30					
	126 psi / Uygun	254 psi / Uygun	327 psi / Uygun	436 psi / Uygun	467 psi / Uygun

Tablo 7.18 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama Pull-Off adhezyon testi sonuçları

	12-15 µm Alkali çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-demir + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-nikel + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko-nikel + 20-25 µm kataforez
F899					
	170 psi / Uygun	267 psi / Uygun	366 psi / Uygun	496 psi / Uygun	493 psi / Uygun
F990					
	164 psi / Uygun	263 psi / Uygun	370 psi / Uygun	462 psi / Uygun	468 psi / Uygun
F825					
	136 psi / Uygun	239 psi / Uygun	337 psi / Uygun	451 psi / Uygun	460 psi / Uygun
GGG-60					
	151 psi / Uygun	238 psi / Uygun	339 psi / Uygun	473 psi / Uygun	471 psi / Uygun
GGG-50					
	214 psi / Uygun	214 psi / Uygun	214 psi / Uygun	214 psi / Uygun	214 psi / Uygun

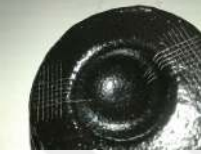
Tablo 7.18. (tablonun devamı) 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama Pull-Off adhezyon testi sonuçları

	166 psi / Uygun	211 psi / Uygun	344 psi / Uygun	474 psi / Uygun	473 psi / Uygun
GGG-40					
	171 psi / Uygun	233 psi / Uygun	305 psi / Uygun	417 psi / Uygun	419 psi / Uygun
GG-15					
	120 psi / Uygun	220 psi / Uygun	320 psi / Uygun	436 psi / Uygun	452 psi / Uygun
GG-30					
	141 psi / Uygun	242 psi / Uygun	311 psi / Uygun	420 psi / Uygun	470 psi / Uygun

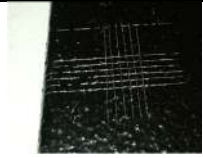
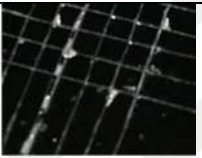
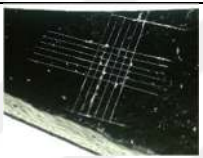
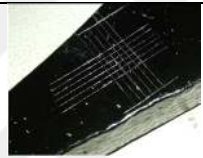
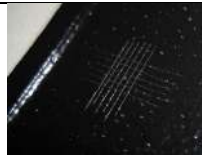
7.2.7. Su Direnci Testi

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanan tüm numuneler üzerine kataforez kaplandıktan sonra Fiat'ın 50470 numaralı şartnamesine göre su direnci testi yapılmıştır. Tüm test sonuçları Tablo 7.19. ve Tablo 7.20.'de gösterilmiştir. Su direnci testine göre, kaplamaların Ad0, Ad1 ve Ad2 olmak üzere farklı yapışma direnci değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Uygulanan kaplamanın kabul edilebilmesi için yapışma direnci testi sonucu Ad0 ve Ad1 olmalı, ayrıca kaplamanın renginde değişim gözlenmemelidir. Buna göre, 5-8 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel üzerine kataforez kaplanan tüm malzemelerin yapışma direnci değerleri Ad0 ve Ad1 olduğu için bu numuneler testi geçmiştir. Ancak 12-15 µm alkali çinko ve alkali çinko-demir üzerine kataforez kaplanan F990, GGG-40, GG-15 ve GG-30 ve 12-15µm alkali çinko üzerine kataforez kaplanan F825 numunelerin yapışma direnci değerleri Ad2 olduğu için testi geçememiştir.

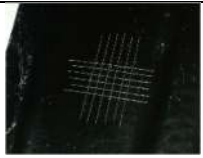
Tablo 7.19. 5-8 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama su direnci sonuçları

	5-8 µm Alkali çinko + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Alkali çinko-demir + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Alkali çinko-nikel + 20- 25 µm kataforez	5-8 µm Asitli çinko + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Asitli çinko-nikel + 20-25 µm kataforez
F899					
	Ad0 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
F990					
	Ad1 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
F825					
	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
GGG -60					
	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
GGG -50					

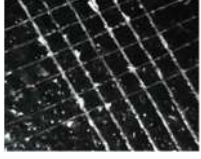
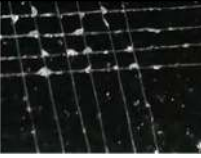
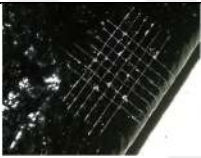
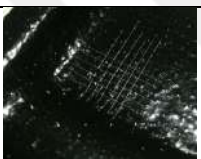
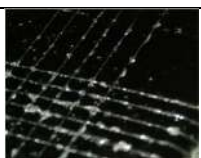
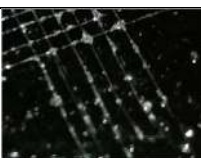
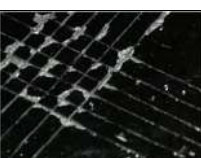
Tablo 7.19. (tablonun devamı) 5-8 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama su direnci sonuçları

	Ad0 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
GGG-40					
	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
GG-15					
	Ad1 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
GG-30					
	Ad1 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun

Tablo 7.20. 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama su direnci sonuçları

	12-15 µm Alkali çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-demir + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-nikel + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko-nikel + 20- 25 µm kataforez
F899					
	Ad1 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
F990					

Tablo 7.20. (tablonun devamı) 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama su direnci sonuçları

	Ad2 / Uygun değil	Ad2 / Uygun değil	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
F825					
	Ad2 / Uygun değil	Ad2 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
GGG-60					
	Ad1 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
GGG-50					
	Ad1 / Uygun	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
GGG-40					
	Ad2 / Uygun değil	Ad2 / Uygun değil	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
GG-15					
	Ad2 / Uygun değil	Ad2 / Uygun değil	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun
GG-30					
	Ad2 / Uygun değil	Ad2 / Uygun değil	Ad1 / Uygun	Ad0 / Uygun	Ad0 / Uygun

7.2.8. Tuz Sisi Testi

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanan tüm numuneler üzerine kataforez kaplandıktan sonra ASTM B117 ve DIN EN ISO 9227 numaralı şartnamesine göre tuz sisi testi yapılmıştır. Tüm test sonuçları Tablo 7.21. ve Tablo 7.22.'de gösterilmiştir. Uygulanan kaplamanın kabul edilebilmesi için 500 saat tuz sisi test sonucuna göre lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pul şeklinde dökülme, tabakalara ayrılma, boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır ve parça yüzeyinin maksimum %5'inde kırmızı pas olmalıdır. Buna göre, 5-8 µm alkali çinko ve alkali çinko-demir üzerine kataforez kaplanan tüm numuneler ve 12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel üzerine kataforez kaplanan F899, F825, GGG-60, GGG-50, GGG-40, GG-30 numuneleri ve 12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-nikel üzerine kataforez kaplanan F990 ve GG-15 numuneleri testi geçememiştir. Ancak bunların dışındaki tüm numuneler testi geçmiştir.

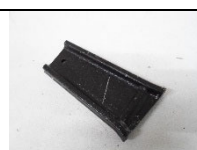
Tablo 7.21. 5-8 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama tuz sisi testi sonuçları

	5-8 µm Alkali çinko + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Alkali çinko-demir + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Alkali çinko-nikel + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Asitli çinko + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Asitli çinko-nikel + 20-25 µm kataforez
F899					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
F990					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
F825					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun

Tablo 7.21. (tablonun devamı) 5-8 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama tuz sisi testi sonuçları

GGG-60					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-50					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-40					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GG-15					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GG-30					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun

Tablo 7.22. 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama tuz sisi testi sonuçları

	12-15 µm Alkali çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-demir + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-nikel + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko-nikel + 20-25 µm kataforez
F899					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
F990					
	Uygun değil	Uygun	Uygun değil	Uygun	Uygun
F825					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GGG-60					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GGG-50					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GGG-40					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun

Tablo 7.22. (tablonun devamı) 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama tuz sisi testi sonuçları

GG-15					
	Uygun değil	Uygun	Uygun değil	Uygun	Uygun
GG-30					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun

7.2.9. Taş Çarpma Testi

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanan tüm numuneler üzerine kataforez kaplandıktan sonra SAE J400 numaralı şartnamesine göre taş çarpma testi yapılmıştır. Tüm test sonuçları Tablo 7.23. ve Tablo 7.24.'da gösterilmiştir. Taş çarpma testine göre, kaplamaların 5A, 5B, 5C, 6A, 6B, 6C, 7A ve 7B olmak üzere farklı yüzey direnci değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Uygulanan kaplamanın kabul edilebilmesi için taş çarpma test sonucuna göre yüzey direncinin 6A, 7A ve 7B değerinde olması gerekmektedir. Buna göre, 5-8 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel üzerine kataforez kaplanan tüm numuneler ve 12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel üzerine kataforez kaplanan tüm numuneler testi geçememiştir. Ancak bununların dışındaki tüm numunler testi geçmiştir.

Tablo 7.23. 5-8 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama taş çarpma testi sonuçları

	5-8 µm Alkali çinko + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Alkali çinko-demir + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Alkali çinko-nikel + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Asitli çinko + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Asitli çinko-nikel + 20-25 µm kataforez
F899					
	5C / Uygun değil	6C / Uygun değil	5B / Uygun değil	7B / Uygun	6A / Uygun
F990					
	6C / Uygun değil	6C / Uygun değil	6B / Uygun değil	7B / Uygun	6A / Uygun
F825					
	5C / Uygun değil	5C / Uygun değil	5B / Uygun değil	7B / Uygun	7A / Uygun
GGG-60					
	5C / Uygun değil	5C / Uygun değil	5B / Uygun değil	7A / Uygun	7A / Uygun
GGG-50					
	6C / Uygun değil	6C / Uygun değil	6B / Uygun değil	7A / Uygun	7A / Uygun
GGG-40					
	6C / Uygun değil	6C / Uygun değil	6B / Uygun değil	6A / Uygun	7A / Uygun

Tablo 7.23. (tablonun devamı) 5-8 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama taş çarpma testi sonuçları

GG-15					
	6C / Uygun değil	5C / Uygun değil	6B / Uygun değil	7B / Uygun	7A / Uygun
GG-30					
	5C / Uygun değil	5C / Uygun değil	6B / Uygun değil	6A / Uygun	7A / Uygun

Tablo 7.24. 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama taş çarpma testi sonuçları

	12-15 µm Alkali çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-demir + 20-25 µ mkataforez	12-15 µm Alkali çinko-nikel + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko-nikel + 20-25 µm kataforez
F899					
	6C / Uygun değil	5C / Uygun değil	5B / Uygun değil	6A / Uygun	7B / Uygun
F990					
	6C / Uygun değil	5C / Uygun değil	6B / Uygun değil	6A / Uygun	6A / Uygun
F825					
	5C / Uygun değil	6C / Uygun değil	6B / Uygun değil	7B / Uygun	7B / Uygun
GGG-60					
	5C / Uygun değil	5C / Uygun değil	6B / Uygun değil	7B / Uygun	7B / Uygun

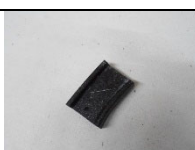
Tablo 7.24. (tablonun devamı) 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama taş çarpma testi sonuçları

	5C / Uygun değil	5C / Uygun değil	5B / Uygun değil	7B / Uygun	6A / Uygun
GGG-50					
	5C / Uygun değil	5C / Uygun değil	5B / Uygun değil	7A / Uygun	6A / Uygun
GGG-40					
	5C / Uygun değil	5C / Uygun değil	5B / Uygun değil	7B / Uygun	6A / Uygun
GG-15					
	6C / Uygun değil	5C / Uygun değil	5B / Uygun değil	7B / Uygun	6A / Uygun
GG-30					
	5C / Uygun değil	5C / Uygun değil	6B / Uygun değil	6A / Uygun	6A / Uygun

7.2.10. Çevrimsel Korozyon Testi

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanan tüm numuneler üzerine kataforez kaplandıktan sonra PV1200 numaralı şartnameye göre çevrimsel korozyon testi yapılmıştır. Tüm test sonuçları Tablo 7.25. ve Tablo 7.26.'da gösterilmiştir. Uygulanan kaplamanın kabul edilebilmesi için 8 çevrimden sonra çevrimsel korozyon testi sonucu kabarma, base metal korozyon, boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır ve yapışma kaybı $d \leq 1,5$ mm olmalıdır. Buna göre, 5-8 µm alkali çinko ve alkali çinko-demir üzerine kataforez kaplanan tüm numuneler ve 12-15 µm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel üzerine kataforez kaplanan tüm numuneler testi geçememiştir. Ancak bununların dışındaki tüm numunler testi geçmiştir.

Tablo 7.25. 5-8 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama çevrimsel korozyon testi sonuçları

	5-8 µm Alkali çinko + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Alkali çinko-demir + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Alkali çinko-nikel + 20- 25 µm kataforez	5-8 µm Asitli çinko + 20-25 µm kataforez	5-8 µm Asitli çinkonikel + 20- 25 µm kataforez
F899					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
F990					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
F825					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-60					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-50					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-40					

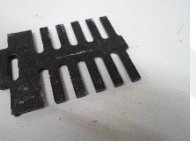
Tablo 7.25. (tablonun devamı) 5-8 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama çevrimsel korozyon testi sonuçları

	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GG-15					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GG-30					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun

Tablo 7.26. 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama çevrimsel korozyon testi sonuçları

	12-15 µm Alkali çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-demir + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-nikel + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko-nikel + 20-25 µm kataforez
F899					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
F990					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
F825					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun

Tablo 7.26. (tablonun devamı) 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama çevrimsel korozyon testi sonuçları

GGG-60					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GGG-50					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GGG-40					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GG-15					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GG-30					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun

7.2.11. Scab Korozyon Testi

Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel, asitli çinko ve asitli çinko-nikel kaplanan tüm numuneler üzerine kataforez kaplandıktan sonra 50488/01 numaralı şartnameye göre scab korozyon testi yapılmıştır. Tüm test sonuçları Tablo 7.27. ve Tablo 7.28.'de gösterilmiştir. Uygulanan kaplamanın kabul edilebilmesi için 500 saat scab korozyon testi sonucu oksitlenmiş noktaların sayısı tespit edilir ve yayılan korozyonun büyüklüğü ölçülür. Buna göre, 5-8 µm alkali çinko ve alkali çinko-demir üzerine kataforez kaplanan tüm

numuneler ve 12-15 μm alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel üzerine kataforez kaplanan tüm numuneler testi geçememiştir. Ancak bununların dışındaki tüm numunler testi geçmiştir.

Tablo 7.27. 5-8 μm çinko + 20-25 μm kataforez kaplama scab korozyon testi sonuçları

	5-8 μm Alkali çinko + 20-25 μm kataforez	5-8 μm Alkali çinko-demir + 20-25 μm kataforez	5-8 μm Alkali çinko-nikel + 20-25 μm kataforez	5-8 μm Asitli çinko + 20-25 μm kataforez	5-8 μm Asitli çinko-nikel + 20- 25 μm kataforez
F899					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
F990					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
F825					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-60					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun

Tablo 7.27. (tablonun devamı) 5-8 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama scab korozyon testi sonuçları

GGG-50					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GGG-40					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GG-15					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun
GG-30					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun	Uygun

Tablo 7.28. 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama scab korozyon testi sonuçları

	12-15 µm Alkali çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-demir + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Alkali çinko-nikel + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko + 20-25 µm kataforez	12-15 µm Asitli çinko-nikel + 20-25 µm kataforez
F899					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
F990					

Tablo 7.28. (tablonun devamı) 12-15 µm çinko + 20-25 µm kataforez kaplama scab korozyon testi sonuçları

	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
F825					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GGG-60					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GGG-50					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GGG-40					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GG-15					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun
GG-30					
	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun	Uygun

8. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Test sonuçları incelendiğinde Pull-off adezyon direnci yüksek olan kaplama çeşidinden düşük olan kaplama çeşidi göre sıralama aşağıdaki gibidir:

Asitli Çinko Nikel + Kataforez > Asitli Çinko + Kataforez > Alkali Çinko Nikel + Kataforez > Alkali Çinko Nikel + Kataforez > Alkali Çinko Demir + Kataforez > Alkali Çinko + Kataforez

Alkali Çinko/Çinko-Demir/Çinko-Nikel kaplamalar kaplanan metalin yüzeyinde yatay olarak bir kristal yapı oluşturmaktadır. Asitli Çinko/Çinko-Nikel kaplamalar ise kaplanan metalin yüzeyinde dikey olarak bir kristal yapı oluşturmaktadır. Çinko kaplama ile kataforez kaplamanın birbirine tutunmasını sağlayan fosfat kaplamanın kristallerinin de alkali çinko kaplamalı sıcak dövme ve döküm yüzeyler üzerinde yatay, asitli çinko kaplamalı sıcak dövme ve döküm yüzeyler üzerinde dikey olduğu gözlemlenmektedir. Sıcak dövme ve döküm parçaların yüzeylerinin girintili çıkıntılı olması ve bu yüzeyler üzerine kaplanan alkali çinko, fosfat kaplamadaki kristallerin homojen olmaması, kristal örtücülüğünün istenilen düzeyde olmamasından dolayı istenilen yapışma, darbe ve korozyon dayanımları elde edilememiştir.

Alkali Çinko/Çinko-Nikel/Çinko-Demir + Kataforez kaplamanın darbe dayanımı analiz edildiğinde kaplama kalınlığı arttıkça darbe dayanımının azaldığı gözlemlenmektedir.

Yalnızca 5 mikron %14 ile %16 nikel oranında Alkali Çinko-Nikel kaplama yapıldığında istenilen performans testlerinin sağlandığı gözlemlenmektedir. Kaplama kalınlığı arttığında istenilen performans dayanımları sağlanamamaktadır.

Uzman kataforez firmasının daha önce yaptığı projelerde, Alkali ve Asitli Çinko-Nikel kaplamalarda %14 ile %16 nikel oranında en iyi yapışma ve en iyi korozyon dayanımı elde edilmişti. Sıcak dövme ve döküm malzemelerde de %14 ile %16 nikel oranında kaplama yapıldığında en yüksek performans değerleri elde edilmiştir.

Normal şartlarda sac levhalar üzerine yapılan çinko kaplama + kataforez kaplama uygulamalarında en yüksek darbe ve korozyon dayanımını alkali (çinko/çinko-demir ve çinko-nikel) kaplamalar ile sağlarken, sıcak dövme ve döküm parçalar üzerinde bu performans özellikleri sağlanamamıştır.

Test sonuçları incelendiğinde sıcak dövme ve döküm parçalar üzerine uygulanan kaplama performansı en yüksek olan kaplama çeşidinden en düşük olan kaplama çeşidine göre sıralama aşağıdaki gibidir:

Asitli Çinko-Nikel + Kataforez > Asitli Çinko + Kataforez > Alkali Çinko-Nikel + Kataforez > Alkali Çinko-Nikel + Kataforez > Alkali Çinko-Demir + Kataforez > Alkali Çinko + Kataforez

Testler sonrası elde edilen ürünler otomotiv sanayinin onayına sunulmuş, onay alınmış ve ürünler ticarileşmiştir. Otomotiv sektöründe kullanılan döküm ve sıcak dövme parçalara yaygınlaştırılarak düşük maliyetli, düşük kaplama kalınlıklı ve korozyon dayanımı yüksek parçalar edilebilir.



KAYNAKÇA

ASTM B117 Standart Method. (1974). Of Salt Sprey (Fog) Testing.

ASTM D4541 Standart Test Method. (2017). For Pull-Off Strength Of Coating Using Portable Adhesion Testers.

Athey R. D. (2003). Metal Finishing Organic Finishing Guidebook and Directory Vol. 101 No. 10A Elsevier.

C. N. Panagopoulos, P. E. Agathocleous, V. D. Papachristos, A. Michaelides. (2000). Sliding Wear Behaviour Of Zinc–Iron Alloy Electrodeposits.

Doğa Kimya. Yüzey İşlem Yağ Alma Uygulamaları. [Erişim: 08.11.2018, <http://www.dogkim.com/yuzey-islem-yag-alma-neden-uygulanir.html>]

Duysak, Y. (2019). Çelik Yapılarda Bulonlu Ve Kaynaklı Birleşimlerde Korozyon Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

EVS-EN ISO 3497. (2001). Metallic Coatings-Measurement Of Coating Thickness - X-Ray Spectrometric Methods.

Fernandez-Olmo I, Ortiz A, Urtiaga A, Ortiz I (2008). Selective Iron Removal from Spent Passivation Baths by Ion Exchange. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 83(12), 1616-1622.

Fiat Auto Normazione Material Standart 50470. (2005). Water Resistance Test for Decorations and Paints.

Fiat Auto Normazione Material Standart 50493. (2011). Determination Of The Resistance Of Organic Coatings To The Proagation Of Bubble Under Skin Corrosion.

Fiat Auto Normazione Material Standart 50765. (1990). Metallic Material Surface Treatments Electrolytic Plating and Chemical Coating Heat Shock Adhesion Test.

ISO 8296. (2003). Plastics, Film And Sheeting, Determination Of Wetting Tension.

ISO 9227. (2006). Corrosion Tests In Artificial Atmospheres–Salt Spray Tests.

Kalan, F. (2019). Alüminyum Alaşımları ile Kaplanan Yapı Çeliklerinin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Kılınç, M. (2019). Kataforez Kaplama Üzerine Solvent Bazlı ve Su Bazlı Lamelli Kaplama Uygulamaları ile Oluşacak Dupleks Kaplamanın Korozyon ve Ömür Testine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.

Lawrance, J. D. (1963). Electroplating Engineering Handbook, 4th ed., New York.

LIN Zhi-feng, LI Xiang-bo, XU Li-kun (2012). Electrodeposition and Corrosion Behavior of Zinc-Nickel Films Obtained From Acid Solutions: Effects of TEOS as Additive. International Journal of Electrochemical Science, 7, 12507-12517.

Nabil Z. (1994). Zinc Alloy Plating, Surface Engineering (Introduction), Frederick Gumm Chemical Company, Volume 5; ASTM

Nof Metal Coatinhs Group. (2017). Geomet 321/500 Technical Manuel.

Kojima, R., Nomura, K., & Ujikara, Y. (1982). J. Japanese Soc. Colour Mater 55; p. 146.

SAE International J400. (2012). Surface Vehicle Recommended Practice.

Sankara N. (2005). Surface Pretreatment By Phosphate Conversion Coatings.

Selvarani, G., Ganesan, P., & Branko. N. Popov, (2014). Electrodeposition and characterization of Zn-Mn coatings for corrosion protection, Surface & Coatings Technology 238; p. 143.

Sierka, Christopher Eric. (2015). Industrial Zinc Plating Processes.

Satake, M., Nagahiro, T. (1990). Physical Chemistry, New Delhi.

Streitberger, H., Dössel, K. (2008). Automotive Paints and Coatings. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (2. baskı).

Topal, E. (2016). Alüminyum İçin Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılan Bazı Proton Pump İnhibitörlerinin Kuantum Kimyasal Olarak İncelenmesi. Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa.

Tuna, N. (2013). Çinko ve Nikel Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Plaka ve Vidaların Korozyon Davranışının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Uyanık, G. (1992). Fizikokimya, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi.

Volkswagen AG PV1200. (2004). Testing Of Resistance Toenvironmental Cycle Test (+80/-40) °C

Volvo Car Standard VSC 5740,1049. (2011). Phosphating Y 1049.

Zimmermann D, A.G. Munoz, & J.W. Schultze. (2003). Microscopic local elements in the phosphating process.



ÖZ GEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Bünyamin EREN

Doğum Tarihi : 27.01.1987

Doğum Yeri : Çankırı

Medeni Hal : Evli

Askerlik : Yapıldı (22.01.2010)

ORCID ID : 0000-0002-5109-1462

İletişim Bilgileri

GSM : +90 545 530 18 18

E-Mail : erenbunyamin@gmail.com

bunyamineren@uzmankataforez.com

Deneyim

Mayıs 2012 Uzman Kataforez Yüzey Kaplama San. Tic. A.Ş.

Ar-Ge Proses Kalite Mühendisi

Eğitim Bilgileri

2018-2020 Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü/Kimya & Süreç Mühendisliği (Yüksek Lisans)

2018- Anadolu Üniversitesi

Emlak ve Emlak Yönetimi (Ön Lisans)

2005-2011 Uludağ Üniversitesi

Fen-Edebiyat Fakültesi/Kimya (Lisans)

Seminer & Kurslar

C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı Mavi Akademi

Vda 6.3. Proses Denetimi Yalın Sigma Eğitim & Danışmanlık/Mecit Boyacı

Apqp-Ppap Mavi Akademi/Nizami Molla

Msa-Ölçüm Sistemleri Analizi Mavi Akademi/Nizami Molla

Spc-İstatistiksel Proses Kontrol Mavi Akademi/Nizami Molla

IATF 16949:2016 Uzman Kataforez/Nizami Molla

Kaizen Ve 5S Uzman Kataforez/Nizami Molla

Fmea-Hata Türleri Ve Etkileri Mavi Akademi/Nizami Molla

8d Balık Kılçığı Eğitimi Coşkunöz Holding/Uğur Kaan Alkan

Değer Akış Haritalandırma Coşkunöz Holding/Nilay Çetiner

Gelecek Durum Tasarımı Coşkunöz Holding/Nilay Çetiner

Risk Ve Fırsat Yönetimi Serdar Aksoylar

Aralık, 2020

Bünyamin EREN