

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

**METAL PARÇALAR ÜZERİNE FOSFAT VE SU BAZLI LAMELLİ KAPLAMA
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEMİH ULUBAYRAK

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. NURGÜL ÖZBAY

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ ELİF YAMAN

BİLECİK, 2020

10371100

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

**METAL PARÇALAR ÜZERİNE FOSFAT VE SU BAZLI LAMELLİ KAPLAMA
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEMİH ULUBAYRAK

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. NURGÜL ÖZBAY

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ ELİF YAMAN

BİLECİK, 2020

10371100

T.R.
BILECIK SEYH EDEBALI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCES
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
ANADOLU UNIVERSITY JOINT PROGRAM

**INVESTIGATION OF PHOSPHATE AND WATER BASED ZINC FLAKE
COATINGS ON METAL PARTS**

MASTER'S THESIS

SEMIH ULUBAYRAK

THESIS ADVISOR
PROF. DR. NURGUL OZBAY

THESIS CO-ADVISOR
ASSIST. PROF. ELIF YAMAN

BILECIK, 2020

10371100

BEYAN

Metal Parçalar Üzerine Fosfat ve Su Bazlı Lamelli 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:			
Destegın Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;			

Semih ULUBAYRAK

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 Elif YAMAN’a çalışmamın son haline gelmesindeki değerli katkıları adına teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Eğitimim süresince gereken tüm imkanları sağlayan Sayın Yahya BEYCE’ ye saygılarımı sunarım. Çalışmalarımnda ekipmanlarından yararlandığım UZMAN KATAFOREZ YÜZEY KAPLAMA SANAYİ TİCARET A.Ş. çalışanlarına ve Ar-Ge Laboratuvarı personellerine destek ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımnda yardımcı olan Erdoğru SAMAST, Teoman KÖKLÜCAN, Bünyamin EREN ve Batuhan BAŞDEMİR’e katkılarından dolayı teşekkür ederim. Son olarak bugünlere ulaşmamdaki emekleri adına değerli aileme teşekkür ederim.

Semih ULUBAYRAK

ÖZET

METAL PARÇALAR ÜZERİNE FOSFAT VE SU BAZLI LAMELLİKAPLAMA ARAŞTIRILMASI

Yapılan tez çalışmasında, 1 mm et kalınlığında 150x100 mm boyutunda kumlama ve kumlama olarak iki farklı şekilde silindir arasından geçirilip haddelenmiş DKP (Karbon Çelik) sac plakalar kullanılmıştır. Fosfat kaplama ve su bazlı lamelli kaplama arasındaki ilişkilerin kaplama kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verilerden, görsel olarak uygun kaplama tipi fosfat kaplanmış yüzey üzerine kumlama ve su bazlı çinko lamelli kaplama uygulaması olarak belirlenmiştir. Çalışmada; 9,0 pH değerinde 60 saniye aktivasyon ve üzerine 10 dakika fosfat kaplama yapılmıştır. Ardından 12 Amper şiddetinde 12 dakika kumlama yapılarak yüzey pürüzlendirilmiştir. Pürüzlü yüzeye sahip metal lamelli kaplama kimyasalına daldırılmış ve 320 rpm ve 400 rpm hızda santrifüj yaptırılmıştır. 70-110 °C de kurutma yapıp ardından 320 °C de kürlendirilerek 2 kat çinko lamelli kaplama uygulanmıştır. Kaplanan parçalarda 720 saat korozyon dayanımı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fosfat Kaplama, Su bazlı lamelli kaplama, Tuz Sisi Testi, Kuru Yapışma, Kimyasal Direnç

ABSTRACT

INVESTIGATION OF PHOSPHATE AND WATER BASED ZINC FLAKE COATINGS ON METAL PARTS

In this thesis study, 1 mm thickness 150x100 mm, sandblasted and non-sandblasted, rolled carbon steel (DKP) sheet plates were used. The effects of the relationship between phosphate coating and water-based zincflake coating on the coating quality were investigated. According to the experimental results, visually suitable coating type has been specified as sandblasting and water-based zincflake coating application on the phosphated surface. In this study; Activation at pH 9.0 value for 60 seconds and then phosphate coating on 10 minutes was applied. Then, the surface was roughened by sandblasting at 12 Amper for 12 minutes. The metal coating by zincflake chemicals with a rough surface was immersed in the chemical and centrifuged at 320 rpm and 400 rpm. Drying at 70-110 °C and then curing at 320 °C, were applied 2 layers of zincflake coating. It has been determined that the coated parts have a corrosion resistance of 720 hours.

Keywords: Phosphate Coating, Water based Zinc Flake coating, Salt Spray Test, Dry Adhesion, Chemical Resistance

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİ.....	2
2.1. Korozyon ve Metalik Kaplamalar	2
2.1.1. Elektrokimyasal Korozyon (Galvanik Korozyon)	2
2.1.2. Genel Korozyon	3
2.1.3. Korozyondan Korunma Yöntemleri	3
2.1.3.1. Katodik Koruma	3
2.1.3.2. Yüzey Kaplamaları ile Koruma	4
2.2. Metalik Kaplamalar	4
2.2.1. Metalik Kaplama Yöntemleri	4
2.2.1.1. Daldırma Metodu	4
2.2.1.2. Sprey püskürtme metodu	5
2.2.1.3. Elektrolitik kaplama	5
2.2.2. Elektrolitik Kaplamanın Kalitesi Üzerine Etki Eden Faktörler	6
2.2.2.1. Akım yoğunluğu	6
2.2.2.2. Derişim ve karıştırma	6

2.2.2.3. Sıcaklık	6
2.2.2.4. Metalin ve elektrolitin özellikleri	6
2.2.2.5. pH' ın etkisi	7
2.3. Fosfat kaplama	7
2.3.1. Fosfat kaplamanın karakterizasyonu	7
2.3.1.1. Fosfat kaplama kalınlığı ve kaplama ağırlığı	8
2.3.1.2. Kaplama gözenekliliği	8
2.3.2. Fosfat kaplamanın kararlılığı	9
2.3.3. Fosfat kaplamanın reaksiyon mekanizması	11
2.4. Çinko-Lamelli Kaplama	16
2.4.1. Çinko-Lamelli Kaplama Tarihi ve Tanımı	16
2.4.2. Çinko Lamelli Kaplama İş Akışı	19
2.4.2.1. Yüzey hazırlama prosesi	19
2.4.2.2. Çinko Lamelli Kaplama Süreci	20
2.4.2.3. Üst kat Kaplama Süreci	21
3. LİTERATÜR TARAMASI	23
4. MATERYAL ve YÖNTEM	26
4.1. Fosfat Kaplama Uygulaması	26
4.1.1. Püskürtme yağ alma	26
4.1.2. Aktivasyon	27
4.1.3. Fosfat kaplama	27
4.1.4. Kurutma	27
4.2. Çinko Lamelli Kaplama Uygulaması	27
4.2.1. Yağ alma	28
4.2.2. Kumlama	28

4.2.3. Kaplama uygulaması	29
4.3. Uygulanan Testler	31
4.3.1. Püskürtme yağ alma konsantrasyonu analizi	31
4.3.2. Aktivasyon banyosu pH kontrolü	31
4.3.3. Toplam asit tayini	32
4.3.4. Fosfat kaplama ağırlığı	32
4.3.5. Katı içerik miktarı tayini	32
4.3.6. Alkali kontrolü analizi	33
4.3.7. Hogaboom testi	34
4.3.8. Kuru yapışma testi	34
4.3.9. Tuzlu sis testi	35
5. DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR	37
5.1. Fosfat Kaplamada Aktivasyon pH ve süresinin kaplama kalitesine etkisi	37
5.2. Fosfat kaplama süresinin kaplama kalitesine etkisi	39
5.3. Çinko Lamelli Kaplamada Kum Tipinin kaplama kalitesine etkisi	41
5.4. Çinko Lamelli Kaplamada Kumlama Amperinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi...	41
5.5. Çinko Lamelli Kaplamada Kumlama Süresinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	42
5.6. Çinko Lamelli Kaplamada Santrifüj Hızı ve Süresinin Dökme Uygulamasında Kaplama Kalitesine Etkisi	43
5.7. Çinko Lamelli Kaplamada Santrifüj Hızı ve Süresinin Askı Uygulamasında Kaplama Kalitesine Etkisi	45
5.8. Korozyon Test Sonuçları.....	47
6. GENEL SONUÇLAR	51
KAYNAKÇA	53
ÖZGEÇMİŞ.....	56

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Çelik, çinko, alüminyum yüzeyler üzerindeki kompozisyon ve çinko fosfat kaplamalar.....	15
Tablo 2.2. Farklı miktarlarda krom, nikel, bakır içeren soğuk haddelenmiş çeliklerin fosfat kaplanabilirliği.....	15
Tablo 4.1. Püskürtme yağ alma banyosu çalışma parametreleri.....	26
Tablo 4.2. Fosfat kaplama prosesi teorik ve deneysel banyo proses analizleri.....	27
Tablo 4.3. Yağ alma banyosu çalışma parametreleri.....	28
Tablo 4.4. Çinko lamelli kaplama banyo ve fırın parametreleri.....	30
Tablo 5.1. Fosfat kaplama süresinin kaplama kalınlıklarına etkisi.....	40
Tablo 5.2. Kum tipinin yüzeye etkileri ile ilgili denemeler.....	41
Tablo 5.3. Kumlama amperinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ile ilgili denemeler.....	42
Tablo 5.4. Kumlama süresinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ile ilgili denemeler	42
Tablo 5.5. Santrifüj hızının dökme uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili denemeler.....	43
Tablo 5.6. 320 rpm santrifüj hızında santrifüj süresinin dökme uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili denemeler.....	43
Tablo 5.7. 400 rpm santrifüj hızında santrifüj süresinin dökme uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili denemeler	44
Tablo 5.8. Santrifüj hızının askılama ile kaplama uygulamasında lamelli kaplama kalitesin etkisi ile ilgili denemeler	45
Tablo 5.9. 320 rpm santrifüj hızında santrifüj süresinin askılama ile kaplama uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili denemeler	45

Tablo 5.10. 400 rpm santrifüj hızında santrifüj süresinin askılama ile kaplama uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili denemeler.....	46
---	-----------



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Elektrokimyasal hücrenin şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.2. Soğuk çekme sac, elektrogalvanizli sac, sıcak daldırma galvanizli sac, alüminyum sacın düşük çinkolu fosfat kaplamalarının kristal morfolojiler.....	14
Şekil 2.3. 2000/53 sayılı Araç Ömrü Yönetmeliği ile elektrikli ve elektronik teçhizata ilişkin EC 2002/95 direktifini (RoHS Direktifi) içerir.	17
Şekil 4.1. Fosfat kaplama uygulaması iş akış diyagramı.....	26
Şekil 4.2. Çinko lamelli kaplama iş akış diyagramı.....	28
Şekil 4.3. Parçanın kaplanması ve sonrasındaki santrifüj işlemi.....	30
Şekil 4.4. Alkali kirlilik içeren parça test görseli.....	33
Şekil 4.5. Alkali kirlilik içermeyen parça test görseli.....	33
Şekil 4.6. Hogaboom testinden başarılı olan parça.....	34
Şekil 4.7. Hogaboom testinden başarısız olan parça.....	34
Şekil 4.8. Kuşlama sonrası yapışma testi skalası.....	35
Şekil 4.9. Kuşlama sonrası yapışma test kiti.....	35
Şekil 4.10. Kaplama sonrası yapışma bandı uygulama yöntemi.....	35
Şekil 4.11. Tuz sisi test cihazı.....	36
Şekil 5.1. Farklı pH değerlerinde elde edilen metal yüzeylerin SEM görüntüleri.....	38
Şekil 5.2. Farklı aktivasyon süresi değerlerinde elde edilen metal yüzeylerin SEM görüntüleri.....	39
Şekil 5.3. Farklı fosfat kaplama sürelerinde elde edilen metal yüzeylerin SEM görüntüleri.....	40
Şekil 5.4. Kaplama kalınlıkları.....	40
Şekil 5.5. Kuşlama yapılmış plaka.....	41

Şekil 5.6. 320 rpm santrifüj hızında dökme yöntemiyle kaplanmış plakalar.....	44
Şekil 5.7. 400 rpm santrifüj hızında dökme yöntemiyle kaplanmış plakalar.....	44
Şekil 5.8. 320 rpm santrifüj hızında askılama yöntemiyle kaplanmış plakalar.....	46
Şekil 5.9. 400 rpm santrifüj hızında askılama yöntemiyle kaplanmış plakalar.....	46
Şekil 5.10. 320 rpm santrifüj hızında dökme yöntemiyle kaplanmış plakaların test sonucu.....	47
Şekil 5.11. 400 rpm santrifüj hızında dökme yöntemiyle kaplanmış plakaların test sonucu.....	48
Şekil 5.12. 320 rpm santrifüj hızında askılama yöntemiyle kaplanmış plakaların test sonucu.....	49
Şekil 5.13. 400 rpm santrifüj hızında askılama yöntemiyle kaplanmış plakaların test sonucu.....	50

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

°C	: Santigrat Derece
µm	: Mikrometre
AD	: Yapışma Derecesi (Adhesion Derecesi)
Al	: Alüminyum
ASTM	: American Standart Test Method
cm	: Centimeter (Santimetre)
Cr	: Krom
DI	: Deiyonize
DIN	: Deutsche Institute Norm
dk	: Dakika
DKP	: Karbon Çelik Sac
EN	: European Norm
ESCA	: Elektron Spektroskop
g	: Gram
g/L	: Gram/Litre
ISO	: International Standart Organization
kg	: Kilogram
L	: Litre
L/dk	: Litre/Dakika
max	: Maximum
min	: Minimum
mL	: Mililitre
Mn	: Mangan
ppm	: Parts Per Million

rpm : Revolutions per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)

SEM : Scanning Electronic Micrographs (Taramalı Elektron Mikroskobu)

s : Saniye

XRD : X-Işın Difraktometresi

X-MR : Individual X & Moving Range (Birimler ve Hareketli Aralık Kontrol Grafiği)

Zn : Çinko



1. GİRİŞ

Günümüzde başta otomotiv sanayi olmak üzere tüm endüstriyel alanlarda metal kullanımı gittikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak metalin korunması ve kullanım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar da önem kazanmaktadır. Metalin kullanım ömrünü azaltan en büyük problem korozyondur. Korozyonun sebep olduğu materyal ve iş gücü kaybına çözüm olarak yüzyıllardır uygulanan yöntemlerin en bilineni metal kaplama işlemidir.

Otomotiv sanayisinde kullanılan belli başlı kaplamalar vardır ve bunlar elektrolitik ve elektrolitik olmayan kaplamalar olarak ikiye ayrılırlar. Elektrolitik kaplamalara örnek olarak çinko kaplama, kataforez kaplama ve elektrostatik toz boya kaplama; elektrolitik olmayan kaplamalara ise fosfat kaplama, yağ boya ve çinko lamelli kaplamalar örnek olarak verilebilecek en yaygın uygulamalardır. Fakat artan talepler doğrultusunda son yıllarda otomotiv sanayisinde çinko ve kataforez, kataforez ve toz boya, yağ boya ve toz boya gibi farklı kaplama tipleri birlikte kullanılabilmektedir.

Çinko lamelli kaplamalar özellikle otomotiv sektöründe darbeye, sürtünmeye, kimyasal etkiye, korozyona maruz kalan malzeme tiplerinden cıvata, somun, bağlantı braketleri, kapı menteşeleri, denge milleri, fren diskleri, debriyaj balata sistemleri vb. gibi birçok otomotiv parçalarında yaygın olarak kullanılan kaplama yöntemidir. İlk olarak çelik tellerin korozyon dayanımını artırmak amacıyla çinkonun yanında içeriğine alüminyum da eklenerek çinko lamelli kaplamanın temelleri atılmıştır. Daha sonra otomotiv sanayiinde ilk olarak 1970'lerde, Amerika Birleşik Devletleri'nde yeni bir kaplama sistemi olarak çinko lamelli kaplama geliştirilmiştir. Tipik olarak 8-12 µm kalınlığındaki ince bir kaplama kalınlığı sayesinde, bu sistem korozyona karşı çinko kaplamadan daha yüksek düzeyde bir koruma sağladığı görülmüştür.

1980'lerde ve 1990'larda, bu kaplama sistemi yaygın olarak otomotiv endüstrisi içinde yüksek seviyede korozyon direnci sunan kaplama sistemlerine çözüm olarak kullanıma başlanmıştır. Çinko lamelli kaplamalar, işlemde herhangi bir hidrojen oluşturmadığından, elektro kaplama işlemine bir alternatif olarak kritik uygulamalar için kullanılmıştır.

Yapılan tez çalışmasında lamelli kaplama sürecinin tek başına uygun olmadığı koşullarda alternatif yüzey temizliği işleminde fosfat kaplamanın kullanılabiliirliği araştırılmıştır.

2. TEORİK BİLGİ

2.1. Korozyon ve Metalik Kaplamalar

Korozyon bir elementin düşük valans değerinden daha yüksek valans değerine dönüşmesidir. Altın ve platin dışında metallerin çoğu tabiatta oksit bileşikler halinde bulunur. Kimyasal ve elektrokimyasal olmak üzere iki farklı korozyondan bahsedilebilir.

- Kimyasal korozyon: Metal ve alaşımların gaz ortamda oksitlenmesidir.
- Elektrokimyasal korozyon: Metal ve alaşımların suda bozunmalarıdır.

Değişik ortamlarda oluşan korozyon olayları birbirinden oldukça farklıdır. Pratik olarak korozyon türleri şöyle sıralanabilir (Campbell, 2008: 323-549).

- Elektrokimyasal (galvanik) korozyon
- Genel korozyon
- Tanecikler arası korozyon
- Aralık korozyonu
- Seçici korozyon
- Oyuklanma korozyonu

2.1.1. Elektrokimyasal (Galvanik) Korozyon

İki farklı metalin elektrolit varlığında elektrik kontağı kurmasıyla birlikte potansiyel fark ortaya çıkmaktadır. Bu potansiyel farktan dolayı ortaya çıkan akımla birlikte daha az soy veya anodik olan metal korozyona uğrarken soy veya katodik metal etkilenmemektedir. Korozyon hızı metaller arasındaki voltaja bağlıdır.

Galvanik korozyona eğilimin belirlenmesinde galvanik seri oldukça önem teşkil eder. Birbirlerine yakın olan metallerde korozyonun gerçekleşme eğilimi daha az görülmekte veya hiç görülmemektedir. İki metal birbirinden ne kadar uzaksa korozyon eğilimi de o kadar yüksektir. Elektrolitin iletkenliğinin düşük, mesafenin uzun olması korozyon dayanımını artırarak reaksiyonun yavaş gelişmesine neden olmaktadır. Galvanik etki sonucu hangi metalin anot hangisinin katot davranışında olacağı, söz konusu metallerin çözelti içinde gösterdiği elektrot potansiyeli ile anlaşılmaktadır (Campbell, 2008: 323-549).

Korozyon hızlarının yüksek olmadığı ve sürekli yenilenmenin sağlanabildiği koşullarda yüzey kaplamaları yararlı olabilir. Ayrıca ortamın agresifliğini sınırlayıcı yöntemlere de başvurulabilir (Kakani S. ve Kakani A., 2004: 382-394).

2.1.2. Genel Korozyon

Genel korozyon tüm yüzeyde metalin aynı derecede korozyona uğraması ile gerçekleşen elektrokimyasal korozyon türüdür. Malzeme üzerinde tortu bırakmakta ve bu da malzeme ömrü hakkında bize kolayca bilgi vermektedir. Genelde çinko, kurşun ve alüminyumda gözlenmektedir. En yaygın korozyon türü olan homojen dağılımlı korozyonun yol açtığı metal kaybı diğer türlere oranla çok yüksektir. Farklı koruma yöntemleri uygulayarak kolaylıkla kontrol edilebilir (Kakani S. ve Kakani A., 2004: 382-394).

2.1.3. Korozyondan Korunma Yöntemleri

Korozyondan korunma yöntemleri temelde ikiye ayrılmaktadır; (Kakani S. ve Kakani A., 2004: 382-394).

- Katodik korunma
- Yüzey kaplama ile korunma
- Organik kaplamalar
- İnorganik kaplamalar
- Metalik kaplamalar

2.1.3.1. Katodik Korunma

Korozyona karşı alınabilecek en geçerli yöntemdir. Her alanda başarıyla uygulanabilmektedir. Elektrokimyasal korozyonda anotla katot arasında daima akım transferi vardır. Kaplanan yüzey anot gibi davranır ve korozyona karşı korunmuş olur.

Katodik koruma paslanan metallerin katot olarak polarizasyonunu gerektirir ve korunacak metali daha aktif bir metalle eşleyerek ya da dıştan akım verilerek de gerçekleştirilebilir. İlk yöntemde korunma için gereken akım, metal ve anot çiftinin oluşturduğu hücre tarafından üretilir. Anotlar korunma sırasında belirli hızlarda çözünerek ağırlıklarını kaybederler. İkinci yöntemde metal ve anot çiftinin akım üretmesi gerekmez. Çünkü korunma için gereken akım dış kaynaktan sağlanır (Kakani S. ve Kakani A., 2004: 382-394).

2.1.3.2. Yüzey Kaplamaları ile Koruma

Yüzey kaplama ile korunmada temel olarak üç çeşit kaplama tipinden bahsedilebilir. Bunlar organik, inorganik ve metalik kaplamalardır (Kakani S. ve Kakani A., 2004: 382-394).

Organik kaplama tekniğinde boyalar kullanılır. Boyalar, pigment adı verilen ince parçacıklarla bunları askıda tutan taşıyıcıların karışımından oluşurlar. Pigmentler metal yüzeyi ile reaksiyona girerek tutunan ve zamanla değişmeyen tabakalar oluştururlar. Organik kaplamaların uygulanabilmesinin temel koşulu metalin tutulacağı ortamda korozyon direncine sahip olması gerektirir. Korozyon direncine sahip olmaması durumunda metal, kaplamanın boşluklu olduğu veya zamanla dökülme yaşanan noktalarda korozyona uğramaktadır (Kakani S. ve Kakani A., 2004: 382-394)

İnorganik kaplamalar, kimyasal reaksiyonlar sonucu metal yüzeyinde oluşturulan koruyucu oksit ve tuz tabakaları bu sınıfa girerler. Bu bağlamda eloksal kaplama en bilinen kaplama tipidir (Kakani S. ve Kakani A., 2004: 382-394).

2.2. Metalik Kaplamalar

Metalik yüzeyin korozyon direncini artırmak için en sık uygulanan metot metalik kaplamalardır. Metalik kaplamalarda, metalin korunmasına bağlı olarak kaplama kalınlığı çok önemlidir. Metal parça üzerine kaplama yapıldığında, parça yüzeyindeki kaplama miktarı ve kalınlığı, ortama da bağlı olarak kaplama ömrünü belirlemektedir. Bu nedenle de tercih edilen kaplama tipi kadar uygulama yöntemi de oldukça önem arz etmektedir (Batchelor vd., 2002: 219-225).

2.2.1. Metalik Kaplama Yöntemleri

Metalik kaplama; daldırma metodu, sprey (püskürtme) metodu ve elektrolitik kaplama yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir.

2.2.1.1. Daldırma Metodu

Eski ve yaygın olarak kullanılan kaplama uygulamalarından biridir. Kaplama materyali olarak çinko, kalay, kurşun ve alüminyum gibi erime sıcaklığı düşük metaller kullanılır.

Metal parçalar bir askı üzerine asılarak ya da uygun sepetlere uygun yükleme miktarında doldurularak kaplama kimyasalına daldırılır. Daha sonra yüzeyde birikebilecek kimyasalın

uzaklaştırılması amacı ile belirli sürelerde santrifüj denilen yüksek hızda döndürme işlemi uygulanarak kaplama işlemi başlamış olur (Batchelor vd., 2002: 219-225).

2.2.1.2. Sprey (Püskürtme) Metodu

Sprey (püskürtme) yöntemi ile kaplama aynı daldırma metodunda olduğu gibi daha çok erime sıcaklığı düşük metallere uygulanır. Genellikle geometrik yapısı daldırmaya uygun olmayan, boyut olarak sepete ya da askıya sığmayacak genişlikte ya da uzunlukta olan, girintili çıkıntılı yüzeylerde hava kabarcığı ya da kaplama almaya engel olabilecek tırnak ya da kaynaklı parçaların bulunduğu durumlarda uygulanan kaplama metodudur.

Daldırma metoduna oranla çok daha fazla hammadde sarfiyatına sebep olduğu için ilk sırada tercih edilen bir yöntem değildir (Batchelor vd., 2002: 219-225).

2.2.1.3. Elektrolitik Kaplama

Aynı metal veya farklı bir metalin tuzunu içeren sulu çözelti içerisine yerleştirilen metal parça, güçlü bir katodik elektrik potansiyeliyle kaplanır. Metalin çözeltiden indirgenmesi ve hidrojen ya da oksijen çıkışı ile katodik reaksiyonlar eşliğinde gerçekleşir. Bu sebepten dolayı hidrojen zengin olma eğilimindedir ve kırılabilirlik problemlerine yol açabilir. Diğer bir olası problem ise köşeler, kenarlar ve çıkıntılarda yüksek elektriksel alan oluşumuna bağlı olarak düz yüzeylere göre daha hızlı kaplanmasıdır. Eğer kaplama süresine dikkat edilmezse köşe ve kenarlarda daha yüksek kaplama kalınlığı ile karşılaşılabilir (Batchelor vd., 2002: 219-225).

İnce elektrolitik kaplamalar tek tabaka olarak uygulanabilmesinin yanında farklı metallerden çok katlı kaplamalar olarak da uygulanabilirler. Örnek olarak; otomotiv endüstrisinde iyi bir yapışma sağlamak amacıyla önce çinko, sonrasında korozyon direncini sağlamak amacı ile üstüne kataforez kaplama yapılmaktadır.

Elektrolitik kaplamalar elektrokimyasal hücreler ile uygulanmaktadır (Şekil 2.1). En bilinen kaplama tipleri; krom, nikel, kalay ve çinkodur.



Şekil 2.1. Elektrokimyasal hücrenin şematik gösterimi

Kaynak: (Anonim, 2019a)

Elektrokimyasal hücreler galvanik ya da elektrolitiktir. Galvanik hücreler elektrik enerjisini kendiliğinden depolayan pillerdir. Bir elektrolitik hücrenin çalışması için dışarıdan elektrik enerjisi verilmesi şarttır. Anot çinko katot bakır olduğunda hücre kendiliğinden yürürken (galvanik), katot çinko, anot bakır olduğunda hücrenin çalışması için dışarıdan elektrik enerjisi verilmelidir (Berk, 2004: 6-7).

2.2.2. Elektrolitik Kaplamanın Kalitesi Üzerine Etki Eden Faktörler

Elektrolitik kaplamanın kalitesi üzerine etki eden faktörler akım yoğunluğu, derişim ve karıştırma, sıcaklık, metal özellikleri, elektrolit özellikleri ve pH etkisi olarak sıralanabilir.

2.2.2.1. Akım Yoğunluğu

Akım yoğunluğunun artmasının kaplama yapısı bakımından iki etkisi vardır. Akım yoğunluğu arttıkça kristallerin oluşum hızı artar, kaplama ince olur. Akım yoğunluğu daha da arttıkça katotta deşarj olan metal iyonları çözelti içerisinde gelenlerle yeterince karşılanamadığından katotta bir fakirleşme meydana gelir. Sonucunda kaplama homojen olmaz ve kalitesi bozulur. Kaplamada kararmaya yol açar (Berk, 2004: 6-7).

2.2.2.2. Derişim ve Karıştırma

Kaplama yapısı üzerinde derişimin etkisi oldukça fazladır. Kristallerin oluşum hızı büyük olacağından ince ve metale iyi yapışan bir kaplama elde edilir.

Katottaki fakirleşmeyi karşılamak için kaplanacak parçayı banyoda hareket ettirmek faydalıdır. Ayrıca banyonun periyodik aralıklarla filtresinin değiştirilip temizlenmesi de çok faydalıdır (Berk, 2004: 6-7).

2.2.2.3. Sıcaklık

Sıcaklık artışı bir taraftan difüzyonu arttıracığından kristal oluşum hızı artar ve küçük kristalli yapılar elde edilir. Bunun yanı sıra katot polarizasyonu azalır ve büyük kristallerin oluşumuna, bunların büyümesine ve hidrojen gerilimi azalacağından hidrojen çıkışını kolaylaştırıp süngerimsi yapıya neden olmaktadır (Berk, 2004: 6-7).

2.2.2.4. Metal ve Elektrolit Özellikleri

Kaplamanın kalitesi üzerinde metalin etkisi de son derece büyüktür. Özellikle döküm parçaların kaplanması çok dikkat ister. Soğuk ve dikkatsiz bir dökümde, kaplama sonucunda

bir müddet sonra kabarmalar oluşur. Bu kaplamanın kötü olduğundan değil, metalin bozuk oluşundan kaynaklanmaktadır (Berk, 2004: 6-7).

Kompleks tuzların elektrolizi ile sağlanan kaplamaların normal tuzlarla elde edilen kaplamalardan iyi olduğu günümüzde halen daha kabul görmektedir.

2.2.2.5. pH Etkisi

Elektrolit ya asidik (nikel, asitli bakır, asitli çinko ve asitli kalay) ya da alkali karakterde, alkalik siyanür eşliğinde (siyanürlü çinko, kadmiyum) hazırlanır. Elektrolitlerin belirtilen pH değerlerinin altında veya üstünde olması kaplama kalitesini etkilemekte ve bozmaktadır (Berk, 2004: 6-7).

2.3. Fosfat Kaplama

Fosfat demir ve demir dışı metallerin son işlem ve yüzey işlemi için, metal ön işlem süreçlerinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekonomik olması, operasyon hızı, mükemmel korozyon direnci, aşınma direncinin yüksek olması, adezyon ve yağlama özelliklerinin iyi olmasından dolayı fosfat kaplama, otomotiv endüstrisinde ve cihaz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kılınç, 2019: 9).

2.3.1. Fosfat Kaplamanın Karakterizasyonu

Fosfat kaplamanın kompozisyonu, uygulama metoduna (sprey veya daldırma), banyonun karıştırılma derecesine, banyo kimyasal çeşitlerine, hızlandırıcının kalitesine ve diğer metal iyonlarının varlığına bağlı olarak değişmektedir. Chamberlain ve Eisler metal yüzeyi ile fosfat banyosunun birkaç saniye temasında metale daldırarak, çok ince film oluşturacak radyoaktif izotopları bulmuştur. Oluşacak olan bu film metalin fosfatlarını ve oksitlerini içermektedir. Çelik olması halinde demir (II) fosfat oluşması çok muhtemeldir. Fosfat kaplamanın gelişimi alt kristal yüzeyinin oluşumu ile başlamaktadır. Fosfat kristalleri bu alt kristal yüzeyi üzerinde hızla oluşmaktadır. Gelişmekte olan kristallerin sayısı zamanla sabitlenmektedir. 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 değişmektedir (Kılınç, 2019: 9).

Çoğu enstrümantal metot fosfat kaplama bileşenlerinin kontrolü için kullanılmaktadır. Bunlar enerji dağılımlı X-ray spektrometresi (EDX), elektron spektroskopu (ESCA) ve X – Işını difraktometresi (XRD) dir. 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 arttığı zaman demir $Fe_5H_2(PO_4)_4 \cdot 4H_2O$ formunda yer alır. Demir zararlı etkilere sahip olduğundan kaplama içerisindeki demir miktarının oranı önemlidir. Bu nedenle, fosfat kaplama içerisindeki fosfolit ve hepoit halin niceliksel bakımdan açıklanması için P oranı belirlenmelidir (Kılınç, 2019: 9).

$$P \text{ Oranı} = \frac{\text{Fosfolit}}{\text{Fosfolit} + \text{Hepoit}} \quad (2.1)$$

2.3.1.1. Fosfat Kaplama Kalınlığı ve Kaplama Ağırlığı

Kristaller arası boşluklar ihmal edilirse, 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 belirlenmekte ve genellikle kaplama ağırlığı olarak atfedilmektedir (Kılınç, 2019: 10).

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 μm kalınlık 1,5 – 2,0 g/m² ye eş değerdir. 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 fark kaplama ağırlığını verir). Yaygın fosfat sökme metotları inhibitör olarak 20 g/L antimon (III)oksit içeren derişik kromik asit çözeltisi (%5) veya sodyum hidroksit (%15 lik) çözeltisi kullanılmaktadır (Kılınç, 2019: 10).

Fosfat endüstrisinde genellikle kaplama ağırlığı bir kalite kontrol metodu olarak kullanılmaktadır. Fakat fosfat kaplama ağırlığı direk 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 karakteristikleri ile beraber dikkate alınmalıdır (Kılınç, 2019: 10).

2.3.1.2. Kaplama Gözenekliliği

Kaplama gözenekliliği kaplamanın kimyasal kompozisyonuna, banyonun demir miktarına, uygulama süresine ve fosfat çözeltisinin çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Kaplama gözenekliliği yüzey sadece fosfat kaplı ise fosfat kaplamanın korozyon performansını

kötü etkilemektedir. Fosfat kaplama gözenekliliği bazı durumlarda ise büyük avantaj sağlar. Çünkü fosfat kaplama içerisindeki boşluklar büyük bir depo gibi davranarak organik maddelerin (kataforez ve toz boya) biriktirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Homojen kristalli fosfat kaplamalar, boya filminin adezyonu arttırdığı için (kataforez ve toz boya kaplama öncesi yüzey hazırlama sürecinde) tercih edilmektedir. Bunun dışında; iri kristal taneli fosfat kaplamalar, yağlama ve vernik işlemi yapılacak malzemelerin ön işlemlerde de tercih edilmektedir (Kılınç, 2019: 10).

2.3.2. Fosfat Kaplamanın Kararlılığı

Fosfat kaplamanın kararlılığı önemli bir karakteristik özelliktir. Fosfat kaplama, takibinde yapılacak boya süreçleri için bir ön işlemdir. Son zamanlarda boya ile ilgili çalışmalarda çok sayıda gelişme yaşanmıştır. Kataforez kaplama öncesi ön işlem süreçlerinde çinko fosfat kaplama yerine, 3-katyonlu çinko fosfat kaplamanın geliştirilmesinin sebepleri aşağıda belirtilmiştir:

- Fosfat kaplamanın gözenekliliğin azaltılması

Kataforez kaplamada fosfat kullanıldığında kullanım süresince su, hidroksil iyonlarına ayrışır. Hidroksil iyonlarının oluşumu, fosfat kaplamanın ayrışmasına sebep olduğu için, kritik olarak değerlendirilir. Bazı araştırmacılar yüksek pH ortamında fosfat tabakasının çözünbileceğini doğrulayıp, kataforez kaplama süresince fosfat kaplamanın da yaklaşık %30-40 oranında çözünbileceğini belirtmişlerdir. Bu çözünmeye fosfat kaplamanın yüksek kaplama gözenekliliğinin sebep olduğunu bildirmişlerdir (Kılınç, 2019: 12).

- Fosfat kaplamadaki ağırlık kaybının azaltılması

Kataforez kaplamanın kürlenmesi için gerekli olan sıcaklık ve zaman değerleri yaklaşık 180 °C de 20 dakikadır. Kojima vd. (1982) ve Sugaya vd. (1963)' e göre bu gibi kürlenme şartları altında fosfat kaplamayı oluşturan kristaller yapı değişimine uğrar ve bu sebepten dolayı da fosfat kaplamada belirgin bir ağırlık kaybı olur. Söz konusu ağırlık kaybının %15' den daha az olacak şekilde kısıtlanması gerekir. Aksi takdirde fosfat kaplamanın bozunmasına sebep olur ve bu durum da korozyon dayanımını azaltmaktadır.

- Fosfolit bakımından zengin fosfat kaplama elde edilmesi

Fosfat kaplamanın ısı dayanımı belirlenirken kataforez kaplamanın normal pişirme şartları göz önünde bulundurulmuştur (180 °C'de 20 dakika). Oldukça belirgindir ki bu

durumda fosfat, hepoit ve fosfolit bihidrat kristallerinden oluşacaktır. Bu bihidrat hepoit ve fosfolitin rehidratasyonu ıslak adezyon özelliklerini belirlemede oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Sulu çözelti içerisine daldırma (su banyosunda bekletme) veya yüksek nemli atmosfere maruz kalma gibi dehidratasyon şartları altında hepoit bihidrat kristalleri, çinko oksidin oluşumuyla birlikte 4-hidrat halde rehidratasyona uğramaktadır. Bu ürünlerin oluşumu, gerilim oluşturarak boya ile fosfat arasındaki bağları gevşetmektedir. Bu boyanın ıslak adezyonu hakkında bilgi vermektedir. Fosfolit bihidrat kristalleri rehidrat fenomenonunun direncini belirlemektedir. Liebau, hepoit ve fosfolit bihidrat kristallerinin davranışını hesaplamıştır. Ona göre hepoit de Zn^{+2} 'nin iyonunun koordinasyon durumu esnekliktir. Ya ortohedral ya da tetrahedral koordinasyonda bulunabilmektedir. Bu durum dehidratasyon sürecinin meydana gelmesine olanak sağlamaktadır. Fakat fosfolite Fe^{+2} iyonları yalnızca oktohedral koordinasyon durumunu işgal eder, bu koordinasyon durumunda doymamış haldedir. Bundan dolayı dehidratasyon süreçleri, tersinmez yapı değişimi olarak sonuçlanmaktadır. 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 değişime uğramıştır (Kılınç, 2019: 11).

- 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 kararlılığı ile ilgili olarak çözülmesi gereken sorunlar 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 hepoit bakımından zengin fosfat kaplamalar daha sonraki kataforez kaplama için istenmez. Bu yüzden fosfat kaplamanın formülasyonu hepoit bakımından zengin olmayan kaplama ürünleri ile değişime uğramıştır.

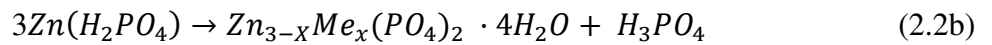
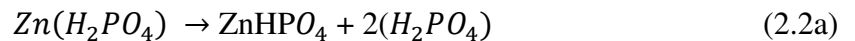
Tüm bu sebeplerden dolayı, fosfat kaplama önemli amorf fazlara sahip olmalıdır, fosfolit içeriği bakımından zengin olması olmazsa olmaz şart değildir. Mangan ve nikelin içerisine girmesiyle değişime uğramış olan düşük çinkolu fosfatlar kataforez kaplamalara çare olacak şekilde tasarlanmıştır. Özellikle fosfat banyosundaki Mn^{+2} ve Ni^{+2} iyonlarının varlığı otomotiv endüstrisine çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Mn^{+2} iyonlarının kristal çekirdeklenmesinde 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 sağlamıştır. Bu sayede ısıtma maliyetlerinden oldukça 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 düzeyi aşmasından sakınılmalıdır. Bu durum korozyon direncinin azalmasına sebep olur. Çok gelişmiş analitik teknikler göstermiştir ki mangan, kaplamanın her tarafına dağılır, oysaki nikel ara yüzeyde toplanmakta ve ikisinin varlığı maksimum performansa katkıda bulunmaktadır (Zimmermann vd., 2003: 283).

Fosfat banyosuna Ni^{+2} iyonunun eklenmesi korozyon dayanımını artırmanın yanı sıra kaplama yüzeyindeki adezyonu da arttırmaktadır. Bu durum, fosfat kaplamanın gözeneklerin tabanında Ni^{+2} iyonlarının yer almasından kaynaklanmaktadır. Çinko kaplı çeliğin fosfatlanmasında, nikelin boya adezyonunu artırması, yüzeyi korozyondan koruması, mikro kristalli fosfat yüzeyinin oluşumuna dayanır. Nikel, gözeneklerin tabanında yalnızca korozyon direncini arttırmada değil, fosfatlama boyunca yüzey reaksiyonlarını da hızlandırmada önemli rol oynamaktadır. Ayrıca nikel, fosfatın yapısında fosfat kristallerinin modifikasyonuna girer ve nükleon merkezi olarak rol oynar (Zimmermann vd., 2003: 283).

Nikel ve Mangan hepoit yapısına girmektedir ve aşağıdaki denklemlere göre oluşmaktadır.



Değişime uğramış hepoit kristallerinin kimyasal yapısı $Zn_{3-x}Me_x(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ burada Me = Ni veya Mn'dır. Nikel veya Mangan bir arada olduğu zaman hepoit karışımının kimyasal yapısı $Zn_{3-x-z}Ni_xMn_z(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ şeklindedir.

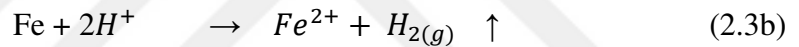
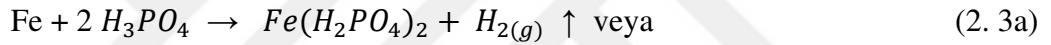
2.3.3. Fosfat Kaplamanın Reaksiyon Mekanizması

Tüm fosfat kaplama uygulamalarının birinci adımı serbest fosforik asit ile metal yüzeyinin aşındırılmasıdır. Hızlandırıcı, aşındırma reaksiyonunu hızlandırdığı için fosfat kaplama banyosuna ilave edilmektedir. Bu işlem oluşan hidrojeni oksitleyerek bertaraf etmek

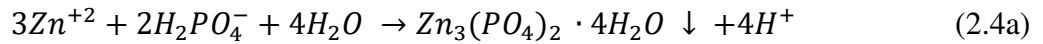
ve banyoda biriken demiri iki değerlikli halden üç değerlikli hale getirip çöktürerek gerçekleşmektedir. Hidrojen iyonunun tüketimi metal yüzeyine komşu difüzyon yüzeyindeki pH'ın değişimine yol açmaktadır. Çözünürlük limiti aşılar ve takibinde çinko fosfat çöker. Soğuk haddelenmiş çelik tabakasından, çinko kaplı çelik tabakasından ve alüminyum yüzeylerden 0,5-2,0 g/m² arasında metal aşınır. Çinko fosfat çözeltileri genellikle çinkonun dehidrojen fosfatlarını, nikel, mangan, serbest fosforik asit, sodyum nitrat, florsilisik asit, bir veya birkaç oksidasyon bileşiği (sodyum nitrit, hidrojen peroksit, hidroksilamin, sodyum klorat, nitroguanidin (CN₄)) gibi bileşiklerden oluşmaktadır.

Çinko, nikel ve mangan iyonları, çelik yüzeyinden gelen (Fe II) demir iyonları, fosforik asitle birlikte yüzey oluşumunda rol oynar. Diğer tüm kimyasallar hızlandırma, okside etme, kimyasal aşındırma, banyo ve film durağanlığı gibi fonksiyonları destekler. Çelik yüzey üzerindeki fosfat reaksiyonu 2.3a, 2.3b, 2.4a, 2.4b, 2.4c, 2.5a ve 2.5b denklemlerinde gösterilmiştir.

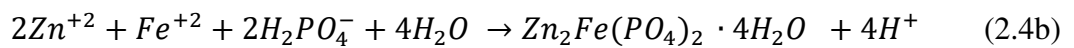
Pickling reaksiyonu



Kaplama oluşumu



Hepoit

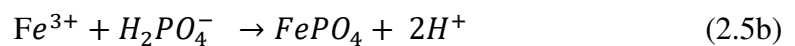
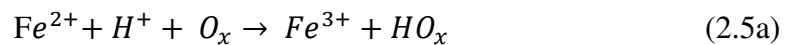


Fosfolit



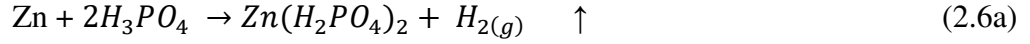
Zn-Mn Fosfat

Çamur Oluşumu

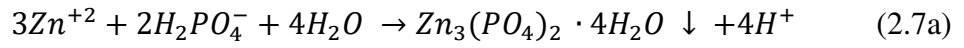


Çinko kaplı çelik sac üzerindeki fosfat reaksiyonları 2.6, 2.7 denklemlerinde gösterilmiştir (Kılınç, 2019: 15).

Pikling Reaksiyonu



Kaplama oluşumu



Hepoit



Zn-Mn Fosfat

Alüminyum yüzeyler üzerindeki fosfat reaksiyonları 2.8a, 2.8b, 2.9, 2.10a, 2.10b 2.11a ve 2.11b denklemlerinde gösterilmiştir.

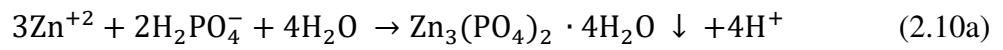
Pikling reaksiyonu



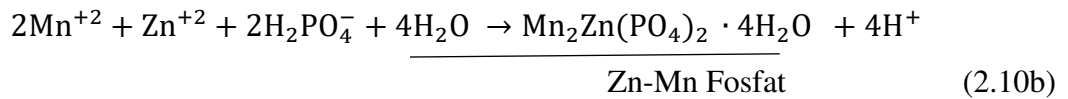
Kompleks oluşumu



Kaplama oluşumu

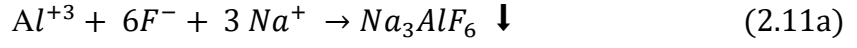


Hepoit

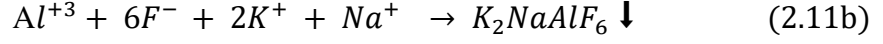


Zn-Mn Fosfat

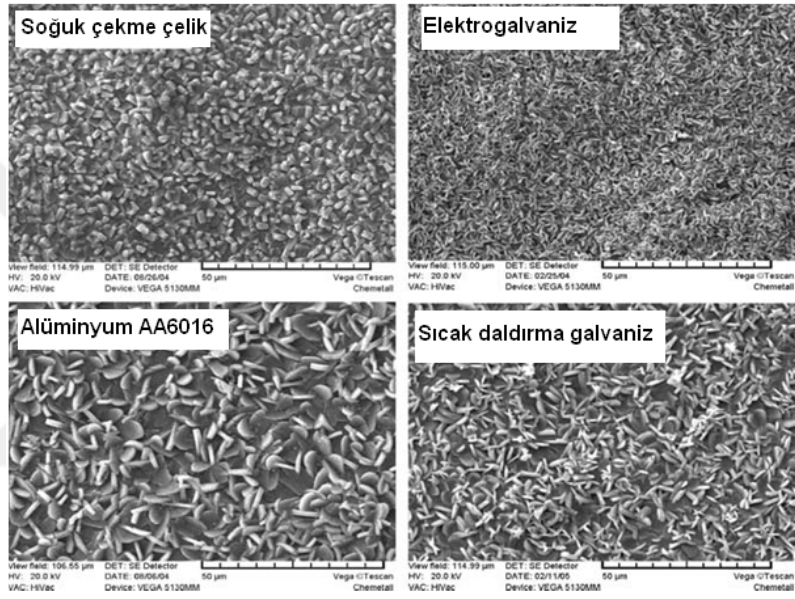
Çamur oluşumu



Cryolite (çamur)



Literatürde yapılan bir çalışmaya ait çelik, çinko ve alüminyum yüzeyler üzerindeki çinko fosfat kaplamaların SEM (taramalı elektron mikroskobu) Şekil 2.2’ de verilmiştir. Morfoloji substratın (kaplanan metalin) çeşidine bağlıdır. Fakat bu örneklerde elektro kaplama astar boyalarındaki adezyonları benzerdir.



Şekil 2.2. Soğuk çekme sac, elektrog galvanizli sac, sıcak daldırma galvanizli sac, alüminyum sacın düşük çinkolu fosfat kaplamalarının kristal morfolojiler

Kaynak: (Kılınç, 2019: 18).

Aynı çalışmaya göre, krom, nikel ve bakırın toplam konsantrasyonu 200–300 ppm oranında olduğu zaman fosfat kaplanabilirliğinin etkilenmediği belirlenmiştir (Tablo 2.1). Bu metallerin toplam konsantrasyonu 800 ppm’e ulaştığı ve aştığı zaman fosfat kaplanabilirliğin şiddetli etkilendiği görülmektedir. Karbon, fosfor, sülfür, mangan ve silisyum miktarları çelikte fazla olduğu zaman fosfat kaplanabilirlik etkilenir.

Tablo 2.1. Çelik, çinko, alüminyum yüzeyler üzerindeki kompozisyon ve çinko fosfat kaplamalar

Malzemenin Adı	Cu+Ni+Cr (ppm)	Yüzey Pürüzlülüğü R _a (mm)	Fosfat kaplanabilirliği	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

Fosfat süreçleri boyunca çamur oluşur, fosfat kaplanan yüzeyin sabit performansı sürdürmesi için çamurun filtrasyon tekniği ile sürekli uzaklaştırılması gerekmektedir. 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 ise (NO_x) pis kokulu gaz oluşturur.

- Kaplama özellikleri üzerine metal kompozisyonunun etkisi;

Alaşımların elementlerinin varlığı ve kimyasal yapısının sebep olduğu farklılıklar metalin fosfat kaplanabilirliğini verir. Genellikle çelikler, az miktarda krom, nikel, molibden ve vanadyum gibi fosfat kaplanmayan soy metallerle bulunmaktadır ve farklı miktarlarda krom, nikel ve bakır içeren soğuk haddelenmiş çeliklerin fosfat kaplanabilirliği Tablo 2.2’ de verilmiştir.

Tablo 2.2. Farklı miktarlarda krom, nikel, bakır içeren soğuk haddelenmiş çeliklerin fosfat kaplanabilirliği

Kaynak: (Kılınç, 2019: 19).

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

Düşük karbonlu çelikler kolaylıkla fosfat kaplanabilir ve süper kalitede kaplamalar elde edilebilir. Artan karbon miktarı ile fosfatlama çok yavaş hale gelir ve sonuçta kristaller büyür (Kılınç, 2019: 19).

- Durulama;

Durulamanın görevi fosfatlama banyosundan metal yüzeyindeki kalan kimyasalların ve çamurların takip eden adımlara bu kimyasalların bulaşmasını engellemektir. Aksi durumda pasivasyon banyosunun etkinliğini azaltır (Kılınç, 2019: 19).

2.4. Çinko-Lamelli Kaplama

Çinko-lamelli kaplama hakkındaki tarihi, tanımı, kullanım alanları, içeriği ve uygulama şekilleri gibi bilgiler Bölüm 2.4 altında verilmiştir.

2.4.1. Çinko-Lamelli Kaplama Tarihi ve Tanımı

Çinko kaplama uzun yıllardan beri metallerde oluşması muhtemel korozyonu önlemek için kullanılmaktadır. İlk olarak çelik tellerin korozyon dayanımını artırmak amacıyla çinkonun yanında içeriğine alüminyum da eklenerek çinko lamelli kaplamanın temelleri atılmıştır (Sugimaru vd., 2007: 96).

Otomotiv sanayiinde ise ilk olarak 1970'lerde, Amerika Birleşik Devletleri'nde yeni bir kaplama sistemi olarak çinko lamelli kaplama geliştirilmiştir. Tipik olarak 8-12 µm kalınlığındaki ince bir kaplama kalınlığı sayesinde, bu sistem korozyona karşı çinko kaplamadan daha yüksek düzeyde bir koruma sağladığı görülmüştür (Vu, 2012: 41).

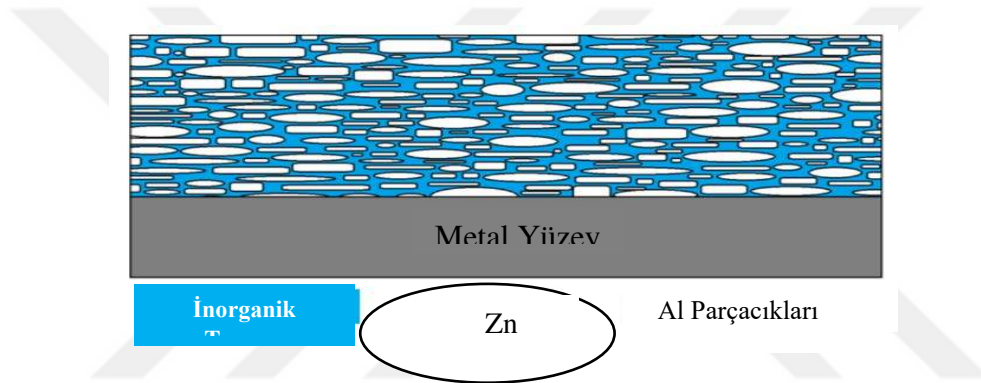
1980'lerde ve 1990'larda, bu kaplama sistemi yaygın olarak otomotiv endüstrisi içinde yüksek seviyede korozyon direnci sunan kaplama sistemlerine çözüm olarak kullanıma başlanmıştır. Çinko lamelli kaplamalar, işlemde herhangi bir hidrojen oluşturmadağından, elektro kaplama işlemine bir alternatif olarak kritik uygulamalar için kullanılmıştır.

Kaplama sisteminin, çelik yapıların ömrünü ve çalışma kapasitesini uzatabilecek etkin korozyon önleyicilerden önlemlerden biri olduğu daha önceki bölümlerde de belirtmiştir. Organik kaplama veya metalik kaplama gibi birkaç farklı kaplama sistemi vardır ve bunlar arasında organik kaplamanın, örneğin çinko lamelli kaplamanın, kaplanmış parça üzerinde meydana gelen çizikler ve darbeler gibi yerel hasara karşı kendi kendini iyileştirme özellikleri

nedeniyle, korozyonun önlenmesinde çok etkili olduğu bilinmektedir (Sugimura vd., 2016: 398-409).

Günümüzde özellikle otomotiv sektöründe darbeye, sürtünmeye, kimyasal etkiye, korozyona maruz kalan malzeme tiplerinden cıvata, somun, bağlantı braketleri, kapı menteşeleri, denge milleri, fren diskleri, debriyaj balata sistemleri vb. gibi birçok otomotiv parçalarında yaygın olarak kullanılan kaplama yöntemidir.

Çinko lamelli kaplamalar, korozyona karşı iyi koruma sağlayan ve elektrolitik olarak uygulanmayan kaplamalardır. Bu kaplamalar, inorganik yapı ile birbirine bağlanan, içeriğinde çinko ve alüminyum yığınlarının karışımından oluşan kaplama türleridir (Anonim, 2019b). Çinko lamelli kaplama içeriği ve katmanları Şekil 2.3' de verilmiştir.



Şekil 2.3. Çinko Lamelli Kaplama içeriği ve katmanları

Kaynak: (Kılınç, 2019: 32).

Otomotiv ve elektrik endüstrisi dışındaki uygulamalar için bu kaplamalar hala geçerlidir (Holmes vd., 2008: 353-372; Kılınç, 2019:32)

- Çözücü bazlı kromsuz çinko lamelli kaplamalar

Sıvı halde temin edilen kimyasal hammaddelerin, tiner gibi özel çözücüler yardımıyla istenilen viskozite değerlerinde hazırlanarak kullanıma hazır hale getirilen kaplama boyalarına çözücü bazlı inorganik çinko lamelli kaplama denir (Anonim, 2019c).

- Su bazlı kromsuz çinko lamelli kaplamalar

Sıvı halde temin edilen kimyasal hammaddelerin, çözücüsü olan deiyonize su yardımıyla istenilen viskozite değerlerinde hazırlanarak kullanıma hazır hale getirilen kaplama boyalarına su bazlı çinko lamelli kaplama denir (Anonim, 2019c).

Günümüzde bu kaplamalar, otomotiv endüstrisindeki bağlantı elemanları ve diğer parçalar için tercih edilen kaplamalardır, çünkü çeşitli avantajlar sunarlar. Bu avantajlar;

- Görünüm uygunluğu
- Yüksek korozyon direnci
- Yüksek sıcaklık direnci
- Kimyasal direnci
- Çevreci olması
- Sürtünme karakteristiklerine uygun olması
- Hidrojen gaz çıkışı olmaması
- Düşük elektrik iletkenliği olarak sıralanabilir.

Bunlara ilave olarak kaplama kalınlığı genellikle 5 µm ile 15 µm arasındadır, özel gereksinimlerin olduğu durumlarda daha kalın katmanlar da mümkündür. Metrik dişli parçaları kaplarken, ISO 965'te tanımlanan toleranslara uymak gerekir, böylece sürtünme katsayısı buna göre ayarlanabilir.

Çinko lamelli kaplamalar sonucunda istenilen korozyon performansı, sürtünme katsayısı, kimyasal direnci ve renk türüne göre üst kaplama işlemleri uygulanmaktadır. Üst kat kaplama süreçleri de su ve solvent bazlı olarak iki ayrı türde hazırlanmaktadır.

Üst kat kaplamalar, organik açıdan yüksek oranda kenetlenme yapısına sahip, mikro tabaka oluşturuşu bir son kat kaplamadır ve çinko lamelli kaplamalara son kat olarak kullanılmaktadır. Uygun kaplama ve fırınlama işleminden sonra adezyona dirençli (yapışma mukavemeti yüksek), kimyasal dayanım sağlayan, ince, pürüzsüz ve 24-36 g/m² arasında kaplama ağırlıklarına sahip bir tabaka meydana gelir.

Üst kat kaplamaların tek başına katodik koruma özellikleri yoktur, bundan dolayı üst kaplama sürecinden önce metal parçalar ön kaplama işlemine tabi tutulmalıdır. Kaplama zarar gördüğünde metalde korozyon görülebilir. Çinko lamelli kaplamalarda olduğu gibi galvanik çinko kaplamalar üzerine de tatbik edilen üst kat kaplamalar mükemmel bir koruma sağlar (Anonim, 2000).

Çinko lamelli kaplamalar için aşağıdaki özellikler istendiğı edildiğı takdirde, son kat kaplama olarak kullanabilmektedirler.

- Asidik ve alkali ortamlardaki kimyasallara karşı yüksek dayanıklılık,

- Renklendirme,
- Kontak paslanmayı önlemek,
- Sürtünme katsayısını azaltmak, çoğaltmak ve eşit düzeyde tutmak (CEN -EN 13858).

2.4.2. Çinko Lamelli Kaplama İş Akışı

Çinko lamelli kaplama uygulaması yüzey hazırlama, kaplama ve kürlenme olmak üzere temelde üç kısımda incelenmektedir. Yüzey hazırlama süreci yağ alma ve kumlama basamağından, kaplama süreci kimyasala daldırma, santrifüjleme ve kürlenme işleminden, üst kaplama süreci de kimyasala daldırma, santrifüjleme ve kürlenme işlemlerinden oluşmaktadır.

2.4.2.1. Yüzey hazırlama süreci

Çinko lamelli kaplamalarda yüzey hazırlama süreci dört farklı adımdan oluşmaktadır. Bunlar (Anonim, 2017: 41);

- Yağ alma
- Durulama
- Kurutma
- Kumlama

Yağ alma işlemi metal parçalar üzerindeki yağ ve kir tabakasının parçadan ayrılma işlemi için uygulanmaktadır. Yağ alma banyolarında alkali temizleme kimyasalları kullanılırken bu kimyasallar fosfat ve silikat içeriklidir. Yağ alma kimyasalı parça yüzeyindeki istenmeyen maddeleri emülsiyon ya da çözünme yoluyla uzaklaştırmak için uygulanır (Anonim, 2017: 41).

Durulama işleminde metal parçaların yüzeyinde kalan alkali kimyasalı ve diğer istenmeyen maddeler uzaklaştırılır. Alkali banyosundan gelecek bir kimyasal çinko lamelli kaplama banyolarında kolay bir şekilde bozulmaya yol açacağından durulama işleminde parçalar kimyasaldan iyice arındırılmalıdır (Anonim, 2017: 42).

Durulama işlemi sonrasında tüm parçaların kumlama ve ardından lamelli kaplama işlemine başlamadan kurutulması metal yüzeyi üstünde herhangi bir sıvı ve alkali kalıntısının olmaması büyük önem taşımaktadır. Kaplama banyosuna giren parçanın yüzeyindeki bir sıvı hazırlanan boyanın derişimini değiştirerek boyanın bozulmasına yol açabilir. Kurutmadan sonra parçalar kasalar ile kumlama sürecine alınır (Anonim, 2017: 42).

Mekanik bir temizleme yöntemi olan kumlama işlemi metal yüzeyde kalabilecek tüm kimyasalların, metal çapaklarının ve daha öncesinde oluşabilecek pasların sökülerek, metal parçaların çinko lamelli kaplamaya uygun bir hale getirmesi için kullanılmaktadır. Bu işlemle birlikte farklı ve kompleks geometrilerdeki tüm parçaların temizliği mümkündür. Kumlama işlemi sırasında ıslak kalan bir parça kumlama kullanılan parçacıkların metal yüzey üzerinde birikmesine sebep olur (Anonim, 2017: 48).

2.4.2.2. Çinko Lamelli Kaplama Süreci

Kaplama süreci kaplama uygulamasıyla başlayıp, sırasıyla ön kurutma, kurlenme ve soğutmayla devam eden bir işlemler zinciridir.

Çinko lamelli kaplamaların kimyasalları sıvı halde temin edilir ve uygulamadan önce istenen koşullara göre çözücü veya su bazlı olarak hazırlanmaları gerekmektedir. Uygulamadan önce viskozite, sıcaklık ve karıştırma süresi gibi parametreler önemli bir rol oynamaktadır. Çinko lamelli kaplama üç farklı uygulama tekniği kullanılarak uygulanabilmektedir. Bunlar;

- Püskürtme ile Uygulama
- Dökme ve Daldırma Metodu ile Uygulama
- Askılama ve Daldırma Yöntemi ile Dip-Spin

Püskürtme ile uygulamada, hazırlanmış kaplama kimyasalı, bir püskürtme tabancası kullanılarak parçaların yüzeyine uygulanır. Bu, manuel olarak veya tam otomatik bir püskürtme tesisinde yapılabilir. Bu işlem, askı kaplama işlemine getirilen daha büyük veya ağır parçalar için kullanılmaktadır. Parçalar sprey uygulama sonrasında tekil olarak fırına girmekte ve kurlenme işlemi gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2017: 55).

Dökme ve daldırma metodu ile uygulamada, parçalar bir sepete yüklenir. Kaplama işlemi, daha önce hazırlanmış ve boya tankına doldurulmuş kimyasala hazırlanan sepetin daldırılmasıyla yapılmaktadır. Daldırma işleminden sonra, kaplama malzemesinin kalıntılarını gidermek için sepetin kendi etrafında döndürülmesiyle işlem tamamlanmaktadır. Bu işlem, tambur parçaları olarak da adlandırılan daha küçük yüksek hacimli ve dökme parçalar için kullanılır. Kaplama işlemi sonrasında parçalar fırın konveyörüne dökülerek kurlenme işlemi gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2017: 80).

Askılama ve daldırma yöntemi ile uygulamada ise parçalar bir sepette bulunan kancalara sabitlenerek sisteme yüklenir. Daha önce hazırlanmış ve boya tankına doldurulmuş kimyasala askı sepetinin daldırılmasıyla işlem gerçekleşir ve kaplama malzeme kalıntılarını gidermek için de sepetin kendi etrafında döndürülmesiyle işlem tamamlanmaktadır. Bu işlem görsel, ölçüsel hassaslık ve yapısal olarak boya birikintileri kalabilecek malzemelerde kullanılmaktadır. Parçalar kaplama işlemi sonrası askıyla birlikte fırına verilerek kürlenme işlemi gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2017: 80).

Çinko lamelli kaplama işlemi biten parçalar askı sistemde olanlar sepetle birlikte, dökme sistemine göre olanlar ise konveyör üzerine dökülerek ön kurutmaya alınmamaktadır. 60-100°C'de 6-10 dk arasında ön kurutma işleminden geçmektedir. Bu şekilde parçalar üzerindeki ilk uçucu kimyasallar parçadan uzaklaştırılmaktadır.

Parçalar direk yüksek ısı ile işleme uğramadan ön kurutma işlemi ile kaplama kalitesinde ve görünümde yüksek kaliteye ulaşılması için bu işleme tabi tutulmaktadır (Anonim, 2017: 80).

Parçalar ön kurutma işlemi sonrasında konveyör bant ile fırına taşınır. Çinko lamelli kaplama işlemi görmüş parçaların kürlenme işlemi 300-350°C'de 15-45 dakika sürmektedir. Parçalar aynı konveyör sistemi ile kürlenme işlemi sonrasında soğuma bölümüne gelerek, dışarıdan çekilen hava ile ortam koşullarına soğutulmaktadır (Anonim, 2017:88).

2.4.2.3. Üst Kat Kaplama Süreci

Üst kat kaplama süreci de aynı taban kaplamada olduğu gibidir. Aralarındaki fark sadece kullanılan kimyasalın türü ve korozyon dayanımıdır (Anonim, 2017: 110).

Üst kat kaplama süreci, çinko lamelli kaplama işlemi sonrasında istenilen özellikler doğrultusunda parçanın soğuma işleminden sonra gerçekleştirilir. Hazır gelen sıvı boya kimyasal hammaddeleri istenilen çalışma parametrelerine göre çözücü veya su bazlı olarak hazırlanarak kullanıma uygun hale getirilir. Üst kat kaplama süreci çinko lamelli kaplama işleminde uygulanan yöntemler (püskürtme, dip-spin, askı yöntemiyle dip-spin, dip-drain) ile aynı şekilde uygulanmaktadır (Anonim, 2017: 110).

Püskürtme ile uygulamada, hazırlanmış kaplama kimyasalı, bir püskürtme tabancası kullanılarak parçaların yüzeyine uygulanır. Bu, manuel olarak veya tam otomatik bir püskürtme tesisinde yapılabilir. Bu işlem, askı kaplama işlemine getirilen daha büyük veya ağır parçalar için kullanılmaktadır (Anonim, 2017: 110).

Dökme metodu ile uygulamada, parçalar bir sepete yüklenir. Kaplama işlemi, daha önce hazırlanmış ve boya tankına doldurulmuş kimyasala hazırlanan sepetin daldırılmasıyla yapılmaktadır. Daldırma işleminden sonra, kaplama malzemesinin kalıntılarını gidermek için sepetin kendi etrafında döndürülmesiyle işlem tamamlanmaktadır. Bu işlem, tambur parçaları olarak da adlandırılan daha küçük yüksek hacimli ve dökme parçalar için kullanılır. Kaplama işlemi sonrasında parçalar fırın konveyörüne dökülerek kürlenme işlemi gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2017: 80).

Askılama ve daldırma yöntemi ile uygulamada parçalar bir askıda bulunan kancalara sabitlenerek sisteme yüklenir. Daha önce hazırlanmış ve boya tankına doldurulmuş kimyasala askı sepetinin daldırılmasıyla işlem gerçekleşir ve kaplama malzeme kalıntılarını gidermek için de sepetin kendi etrafında döndürülmesiyle kaplama işlemi tamamlanmaktadır. Bu işlem görsel, ölçüsel hassaslık ve yapısal olarak boya birikintileri kalabilecek malzemelerde kullanılmaktadır. Parçalar kaplama işlemi sonrası askıyla birlikte fırına verilerek kürlenme işlemi gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2017: 80).

Üst kat kaplama işleminden sonra parçalar konveyör bant üzerine alınarak kürlenme işleminin gerçekleşeceği fırına alınır. Üst kat kaplama işleminde kürlenme sıcaklıkları düşük olduğundan dolayı herhangi bir ön kurutma işlemi uygulanmasına gerek duyulmamaktadır ve kürlenme işlemi üst kat kaplama süreci için 180-200°C’de 15-30 dakika sürmektedir (Anonim, 2017: 111).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Ying vd. (2019), yaptıkları çalışmada alüminyum oksit (Al_2O_3) kaplamanın çinko korozyon direncine olan etkisini incelemişlerdir. Hidrojen gelişim reaksiyonu ile oluşan korozyon, alkali pillerdeki korozyonun elektrot potansiyelini kısıtlamaktadır. Alkali çözelti içerisindeki çinko korozyonunu kontrol etmek amacı ile Al_2O_3 kaplama çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu kaplamanın çinko ile alkali çözelti arasındaki teması önlediği ve hidrojen gelişimini en aza indirdiği görülmüştür. Çinko alt tabanına uygulanan $18\ \mu m$ 'lik Al_2O_3 kaplamanın daha düşük gözeneklilik ve daha yüksek korozyon direnci ile %88,5 oranında verimlilik sağladığını tespit etmişlerdir.

Zhao vd. (2019), okyanuslardaki gemiler için korozyonun engellenemez olduğunu belirtmiş fakat kontrol altına alınıp alınamadığı konusunda çalışmalar yürütmüşlerdir. Korozyonu önlemenin iki yolu olarak katodik koruma ve kaplama ön plana çıkmıştır. Korozyon önleyici olarak çeliklerin boyanması veya kaplanması işleminde kullanılan uçucu organik bileşikler üstün koruma sağlamanın yanında dezavantaj olarak yüksek oranda atmosferik kirliliğe neden olmaktadır. Yapılan çalışmada silikatın kaplama ve metal arasındaki tutuculuk payı araştırılmıştır. Silikat kaplamalar uygulandığında reçine ve işlenen malzeme arasında Van der Waals bağları oluşur ve daha sonra kürlenme esnasında bu bağlar kovalent bağlara dönüşür. Bu sayede sadece tutuculuğu arttırmakla kalmaz korozyon performansını da olumlu yönde etkiler. Bunun yanında mekanik özellikler ve zayıf su direnci gibi dezavantajlar da yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir. Bu dezavantajlar asit modifikasyonu, hibridizasyon ve nano modifikasyon ile iyileştirilebilir. Çalışmada ayrıca nano boyutlu silikon akrilik emülsiyon ile modifiye edilmiş silikat reçinesinin uygulaması da araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda su bazlı silikat kaplamalar için sertleşme mekanizması değiştirilerek ortosilikatlar oluşturulmuştur. Yapılan testler sonucu kaplamalı yüzeyde 168 saatte tuz sisi testi uygulamasında korozyon gözlenmemiştir.

Sadaway ve Eid (2019), yaptıkları çalışmada alüminyum, çinko ve magnezyum alaşımlarının yüksek mukavemetleri, işlenebilirlikleri, döküm kabiliyetleri ve kaynaklanabilirlikleri sebebiyle otomotiv, havacılık ve askeri savunma sanayisinde sıkça kullanıldıklarını tespit etmişlerdir. Araştırmaları neticesinde son zamanlarda korozyon performansını artırmak amacıyla çinko fosfat kaplamalarında tercih edilmeye başlandığını belirlemişlerdir. Çinko fosfat kaplamanın, ekonomisi, uygulama kolaylığı, iyi yapışması ve

korozyon dayanımı sebebiyle demir içeren ve içermeyen alaşımlar için oldukça uygun bir kaplama çeşidi olduğunu belirlemişlerdir. Gerçekleştirdikleri çalışmalar neticesinde sulu fosfatlama banyolarında çinko fosfat kaplama yapılan alaşımların performansı incelendiğinde grafen oksit tabakalarının çinko fosfat kaplama oluşumunu hızlandırdığı, içerik olarak %2,5 magnezyum, %5 çinko alaşımının korozyon direnci hususunda, çinko fosfat kaplamanın korozyon direncini artırdığı belirlenmiştir.

Mora ve Ballester (2019), kaplama maddelerinin karşılaştırılması konusunda yaptıkları çalışmada geleneksel çinko bazlı uygulamalara alternatif olarak çinko, alüminyum ve magnezyum bazlı alaşımların geliştirilip uygulanması ile çoğu sektör için bilgi kirliliği varlığını tespit etmişlerdir. Yaptıkları araştırmanın amacı bu belirsizliği azaltmak adına tüm mevcut bilgileri toplamak ve bu tür kaplamaların temel özellikleri ile farklı ortamlarda kullanımları sonucu tespit edilebilecek sonuçlar doğrultusunda bir kılavuz sunmaktır. Elde edilen bilgilere dayalı yapılan analizler neticesinde uzun süreli korozyon testleri baz alındığında uygulanan kaplamanın performansı metal içeriğine ve çevre koşullarına göre çeşitlilik göstermektedir. Analizlerin ortak sonucunda ise her türden yüksek kaplama kalınlığına sahip ürünlerin korozyon direncinin, düşük kaplama kalınlığına sahip ürünlere oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Can (2019), yaptığı çalışmalarda alkali çinko, alkali çinko demir ve alkali çinko nikel kaplı malzemelerin üzerine solvent bazlı lamelli kaplama ve üst kaplama uygulamalarına yer vermiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda alkali çinko, alkali çinko demir ve alkali çinko nikel üzerine solvent bazlı lamelli kaplama kimyasalı olan Deltaprotekt KL 100 uygulamalarında istenilen yapışma (adezyon ve çekme yapışma adezyon) değerlerine ulaşamamıştır. Yüzey pürüzlülüğü artırılarak ve alkali çinko/alkali çinko demir/alkali çinko nikel üzerine uygulanabilecek Deltaprotekt KL 100 ün ıslatma açısı ve temas açısı ile ilgili çalışmalar yapılarak problemin çözümü sağlanabileceğini tespit etmiştir.

Kılınç (2019), yaptığı çalışma kapsamında, kataforez kaplama ile su bazlı lamelli kaplama, solvent bazlı lamelli kaplama ve lamelli kaplama üzerine uygulanan son kat kaplamalar arasındaki ilişkileri incelemiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda görsel olarak en uygun kaplama süreçlerini belirlemiş ve kaplama sürecinin performans değerlerini ölçmüştür. Yaptığı tüm kaplama çalışmalarında, görsel uygunluk değerlendirmeleri ve test sonuçlarının sonrasında yaptığı değerlendirmeler sonucunda su bazlı çinko lamelli kaplamanın kataforez

kaplama ile uyum sağlamadığını gözlemlemiş ve bunun nedeni olarak da kataforez kaplamanın hidrofobik özellikte olup çözücüsü su olan çinko lamelli kaplamayla gerekli reaksiyona giremeyip kataforez kaplı yüzeye tutunamaması olduğu yönünde görüş bildirmiştir.

Wolpers vd. (2001), çinko fosfat kaplama işleminde aktivasyonun etkileri ve karakteristik yapısına dair yaptıkları incelemede fosfat kaplamayı sodyum titanyum fosfat ve saf su ile ayrı ayrı denemişler; saf su ile yaptıkları uygulamada fosfat taneciklerinin 10 µm, sodyum titanyum fosfat ile yaptıkları uygulamada fosfat taneciklerini yaklaşık olarak 1 µm olarak ölçmüşlerdir. Aktivasyon işleminde kullanılan sodyum titanyum fosfatın fosfat kaplama işlemi üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

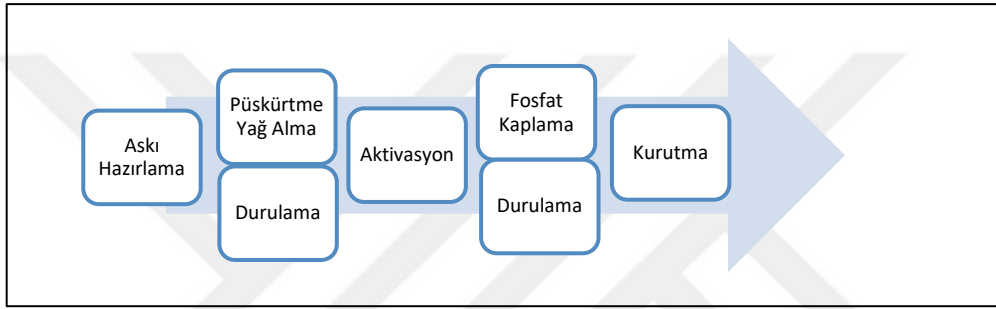


4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında fosfat kaplama ve çinko lamelli kaplama uygulamaları incelenmiştir. Fosfat kaplama uygulamasında aktivasyon süresi, aktivasyon pH'ı ve fosfat kaplama süresi; çinko lamelli kaplamasında ise kum tipi, kumlama amperi, kumlama süresi, santrifüj hızı, santrifüj süresi ve uygulama yöntemi parametre olarak değiştirilmiştir.

4.1. Fosfat Kaplama Uygulaması

Fosfat kaplama işleminin gerçekleştirebilmek için parçalara sırasıyla, yüzey temizliği sağlamak amacıyla yağ alma uygulaması, durulama, aktivasyon, fosfat kaplama, durulama ve kurutma işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4.1. Fosfat kaplama uygulaması iş akış diyagramı

4.1.1. Püskürtme Yağ Alma

Banyo hacminin yaklaşık 1/4'ü şebeke suyu ile doldurularak çalışma sıcaklığına getirilir (40-50 °C). 30-90 kg CLEANOX 7250 kimyasal banyoya dökülür. Kimyasal iyice karıştırılarak çözünmesi sağlanır, banyonun hacmi su ile tamamlanır.

Tablo 4.1. Püskürtme yağ alma banyosu çalışma parametreleri

	ÇALIŞMA PARAMETRELERİ
Süre (dk)	1-10
Sıcaklık (°C)	30-60
Konsantrasyon (g/L)	20-60

4.1.2. Aktivasyon

Fosfat kaplamanın yüzeye iyice tutunmasını sağlamak amacıyla yağ alma işleminden sonra metale aktivasyon işlemi uygulanır. 2000 litrelik aktivasyon banyosu kurulumu için 1500 litre saf su doldurulmuş banyoya 1-4 kg GARDOLINE V 6513 ilave edilir. Banyo hacmi tamamlanır ve sürekli hava sirkülasyonu sağlanır. Aktivasyon süreleri 15, 30, 45 ve 60 saniye; aktivasyon ph değeri ise 8.5, 8.75, 9, 9.25, 9.50 ve 10 olarak değiştirilmiştir.

4.1.3. Fosfat Kaplama

3000 litrelik banyonun dörtte üçü saf suyla doldurulur. 150-180 litre CHEMFOS 510A-511E veya GARDOBOND Z 3400E kimyasalı ilave edilir ve banyo hacmi tamamlanır. Fosfat kaplama basamağında kaplama süresi 3, 5, 8, 10 dk olarak değiştirilmiştir.

Banyo parametreleri X-MR kartıyla kontrol edilir ve filtrasyon sistemiyle sürekli temizleme yapılır. Deneysel çalışmalar sırasında olması gereken teorik değerler ve ölçülen çalışma koşulları değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Fosfat kaplama prosesi teorik ve deneysel banyo proses analizleri

FOSFAT KAPLAMA PARAMETRELERİ		Teorik Değer	Çalışma Koşulları
	Toplam Asit (mL)	17-25	22,2
	Nikel Oranı (g/L)	0,6-1,1	1,01
	Çinko Oranı (g/L)	0,6-1,2	0,98

4.1.4. Kurutma

Fosfatlama yapılmış metaller durulama banyosundan geçirilmesinin ardından kürlenmesi için 50-120 °C sıcaklıktaki fırında 3-15 dakika arası kurutma işlemi uygulanır.

4.2. Çinko Lamelli Kaplama Uygulaması

Çinko lamelli kaplama işlemi gerçekleştirebilmek için parçalara sırasıyla yağ alma, kumlama, kaplama ve gerekirse üst kaplama işlemi uygulanır.



Şekil 4.2. Çinko lamelli kaplama iş akış diyagramı

4.2.1. Yağ Alma

Gerekli miktardaki BONDERITE C-AK UPON ALKALINE CLEANER 40-50 °C ısıtılmış suya eritilerek ve yavaşça ilave edilir. Temizleyici tamamen çözüldüğünde banyo işleme sokulur. Banyo sıcaklığı daha sonra çalışma sıcaklığına getirilir.

Tablo 4.3. Çinko lamelli kaplama öncesi yağ alma banyosu çalışma parametreleri

	BANYO ÇALIŞMA PARAMETRELERİ
Süre (dk)	1-5
Sıcaklık (°C)	70-90
Konsantrasyon (g/mL)	20-60

4.2.2. Kuşlama

Yağ alma işlemi uygulanan parçalara lamelli kaplama öncesinde kaplama kimyasalının yüzeye iyice tutunması amacıyla yüzey pürüzlülüğü oluşturmak için kuşlama yapılır.

Kumlama yapılacak parçaya göre ince ya da kalın kum kullanılır. Yapılan test kapsamında dört tip kum kullanılmıştır.

- S20 : Paslanmaz çelik bilye kum (çap 0,12-0,36 mm)
- S70 : Çelik bilye kum (çap 0,12-0,36 mm)
- S30 : Paslanmaz çelik bilye kum (çap 0,10-0,30 mm)
- S110 : Çelik bilye kum (çap 0,10-0,30 mm)

Bu aşamada kum tipinin yanı sıra kumlama amperi 8, 10, 12, 16 Amper ve kumlama süresi

5, 8, 10, 12 dk olarak değiştirilmiştir.

4.2.3. Kaplama Uygulaması

Yağ alma işlemiyle kirliliği giderilmiş ve kumlama ile yüzey pürüzlülüğü oluşturulmuş parçalara kaplama işlemi uygulanır.

Karışım için kullanılacak Geomet® B1 ve B2 hammaddeleri oda sıcaklığı 20-25 °C' de olan depoda muhafaza edilmiyorsa, Geomet® B1 ve B2 hammaddesi sıcaklığı sabit olan (20-25 °C) hammadde odasında 24 saat bekletilir. Geomet® B1 ve B2 hammaddesi karışım öncesi Sıcaklığı 20-25 °C olmalıdır.

Geomet® B1 Hammadde sıcaklığı istenen değerde ise, B1 hammaddesi karıştırıcının üzerine alınır ve karıştırma işlemine başlanır. Metal çubuk veya kürek ile hammaddenin kenarları ile dip kısmı karıştırılır (Karıştırıcı Devri 150 devir/dk-800 devir/dk) Geomet® B1 hammaddesi yaklaşık 220-240 devir/dk' da B1 maddesi akışkan ve homojen olana kadar karıştırılır.

Karışmakta olan Geomet® B1 Hammaddesine Geomet® B2 hammaddesi ilave edilir. Bu işlem aynı karıştırma hızında ve hızlı bir şekilde yapılmalıdır. (225 kg Geomet® 30-60 saniye) B1 hammaddesine B2 hammaddesi ilave edildikten 5-10 dk sonra B1- B2 hammaddesi reaksiyon göstererek 3-8 °C arasında yükselir (en fazla 33°C). Hammadde ısı 33 °C'yi geçerse hammadde bidonunun etrafına soğutma uygulanır. Geomet® 321-500 Z tozu ilave edilmesi; B2 hammaddesinin ilavesinden 15 dakika sonra Z tozu ilavesi yapılır.

Banyo ağırlığına göre oran 4 g Geomet® 321/500 Z/kg, ilave edilmesi durumunda AFNOR CUP4 ile viskozite 60-85 saniye aralığında olur.

Parçalar kimyasal üreticisinin teknik bilgi formlarında belirttiği normlarda hazırlanmış kaplama kimyasalına daldırılır ve sonrasında parça yüzeyindeki fazla boyayı uzaklaştırmak amacıyla santrifüj işlemi yapılır (Şekil 4.3). Bu aşamada santrifüj hızı 280, 320, 400 ve 480 rpm; santrifüj süresi ise 30, 60, 90 ve 120 s olarak değiştirilmiştir.



Şekil 4.3. Parçanın kaplanması ve sonrasındaki santrifüj işlemi

Santrifüjden çıkan parçalar sırasıyla 70-90 °C sıcaklıktaki ön kurutma fırınından daha sonra da 300-325 °C sıcaklıktaki pişirme fırınından geçirilip kimyasalın yüzeye tutunup kürlenmesi sağlanır ve son olarak soğutulur. Bu işlemler 2 ya da 3 kez tekrarlanabilir. Çinko lamelli kaplama için banyo ve fırın parametreleri Tablo 4.4’ de verilmiştir.

Tablo 4.4. Çinko lamelli kaplama için banyo ve fırın parametreleri

				Teorik
LAMELLİ KAPLAMA	Lamelli Kaplama	Kaplama	Viskozite (s)	69-83
			Yoğunluk (g/L)	1,3-1,4
			Katı Madde Miktarı (%)	40-42
			Sıcaklık (°C)	18-22
			pH	7-8,5
		Ön Kurutma	Sıcaklık (°C)	80-100
			Süre (dk)	6-10
		Kürlenme	Sıcaklık (°C)	300-320
			Süre (dk)	15-45
	Üst Kat Kaplama	Kaplama	Yoğunluk (g/L)	1,04-1,24
			Katı Madde Miktarı (%)	17-26
			Sıcaklık (°C)	10-30
		Kürlenme	Sıcaklık (°C)	180-200
			Süre (dk)	24-36

4.3. Uygulanan Testler

Yürütülen çalışma süresince yapılan testler aşağıdaki gibi listelenmiştir.

- Püskürtme yağ alma konsantrasyonu analizi
- Aktivasyon banyosu pH kontrolü
- Toplam asit tayini
- Fosfat kaplama ağırlığı
- Katı içerik miktarı tayini
- Alkali kontrolü analizi
- Hogaboom testi
- Kuru yapışma testi (Adhesion Test)
- Tuzlu sis testi

4.3.1. Püskürtme Yağ Alma Konsantrasyonu Analizi

10 mL banyo Numunesi 250 mL'lik erlene alınır. Üzerine 50 mL saf su ilave edilir. 2-3 damla metil orange indikatörü damlatılarak sarı renk kırmızı renge dönünceye kadar 1 N HCl çözeltisi ile titre edilir. Konsantrasyon faktörü 7,0 g/ (L.mL) olarak alınır.

$$\text{Konsantrasyon} = \text{harcanan 1 N HCl (mL)} \times \text{Faktör} \quad (4.1)$$

4.3.2. Aktivasyon Banyosu pH Kontrolü

Cihazın elektrotu yuvasına takılır ve cihazın açma/kapama düğmesine basılır. Daha sonra elektrot saf su ile yıkanır. Cihazın ekranından sıcaklık ve pH değeri okunabilir. Cihazın üzerindeki M tuşuna basarak ekranda pH, toplam katı madde ve tuzluluk değerleri görülebilir.

Cihaz ekranının sağ üst köşesinde bulunan elektrot işareti içinde bulunan 3 seviye kontrol edilir. 3 veya 2 seviye tam dolu ise ölçüm yapılabilir. 1 veya hiçbir seviye kalmamışsa kesinlikle kalibrasyon yapılmalıdır.

Elektrot çalışma yapılacak numunenin içerisine daldırıldığında, ekranda çözeltinin pH ve sıcaklık değerinin sabitlenmesi beklenir. Bu sabitlenmeyi otomatik olarak yapmak için numune içerisine daldırıldıktan sonra cihazın üzerindeki AR ve RUN/ENTER tuşlarına basılır. Cihazın ekranında sol alt köşede AR yanıp sönmeye başlayacaktır. AR sabitlendiği andaki

değer numunenin sıcaklık ve iletkenlik değeri olarak kaydedilir. Bu değer herhangi bir tuşa basılmadığı takdirde ekranda sabit olarak kalacaktır ve 1 saat sonra cihaz otomatik olarak kapanacaktır. Ölçüm işlemi tamamlandıktan sonra elektrotlar çıkartılır ve bol su ile yıkanır. Dış yüzeyi kurulandıktan sonra çantasına yerleştirilir. Elektrotun ucunu nemli tutmak için elektrot 3M KCl çözeltisi içerisinde muhafaza edilir.

4.3.3. Toplam Asit Tayini

Fosfat banyosundan alınan 10 mL numune 250 mL'lik balon joje içine alınır ve üzerine 50 mL saf su ilave edilir. 2-3 damla fenolftalein damlatılarak 0,1 N NaOH ile pembe renk oluncaya kadar yavaşça titre edilir. Sarf edilen NaOH not edilir.

4.3.4. Fosfat Kaplama Ağırlığı Tayini

Çözelti hazırlanırken 1000 mL cam behere 500 mL saf su 1 litrelik balon jojeye alınır, 100 g %50 Sodyum Hidroksit eklenip karıştırılır. Üzerine 50 g Sodyum Glukonat eklenir ve çözünene kadar karıştırılır. Daha sonra 4 g 3-ethanol amin eklenir ve karıştırılır. Çözelti 1 litreye tamamlanır ve çözelti berrak oluncaya kadar karıştırılır. Çözelti ısıtıcı ile 40 °C'ye ısıtılır.

- Fosfat kaplanmış plaka ya da numune hassas terazide tartılır (İlk Tartım A).
- Plaka 40 °C'ye ısıtılmış kaplama ağırlığı çözeltisi içinde 40 saniye bekletilir.
- Kaplaması sökülen plaka 90 °C etüvde 15 dakika kurutulur.
- Kurutulan plaka desikatörde soğutup tekrar tartılır (Son tartım B)

$$\text{Kaplama Ağırlığı (g/m}^2\text{): (A-B) / Plakanın Yüzey Alanı (m}^2\text{)} \quad (4.2.)$$

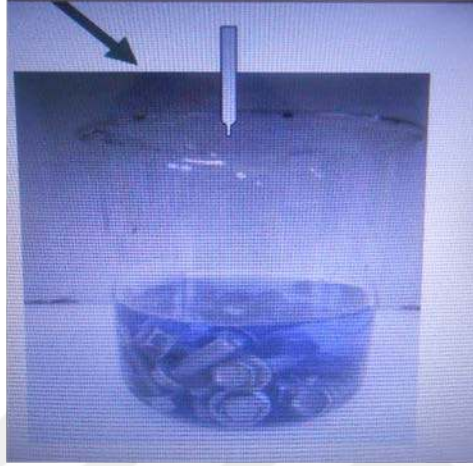
4.3.5. Katı İçerik Miktarı Tayini

Boş alüminyum tartı kabı hassas terazide tartılır (M_0). Sıfırlamadan alüminyum tartı kabının üzerine 1-2 g arasında boya tartılır (M_1). Tartılan numune 180 °C etüvde 1 saat bekletilir. Tartı kabı desikatöre alınır, soğutulup tekrar tartılır (M_2). İki örnek alınıp analiz yapılır ve bunların ortalaması alınır.

$$\text{Katı içerik miktarı (\%)} = [(M_2 - M_0) / (M_1 - M_0)] \times 100 \quad (4.3.)$$

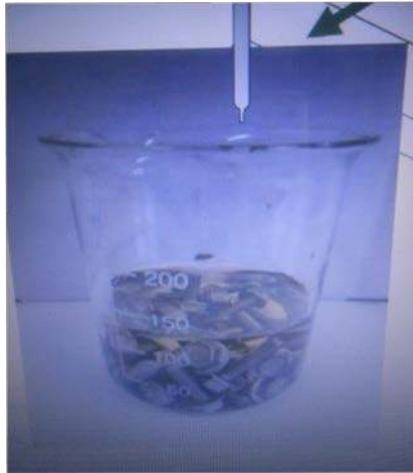
4.3.6. Alkali Kontrolü Analizi

Beher içerisine metal parça ve parçanın yüzeyini kaplayacak şekilde 1 cm³ saf su koyulur. Kimyasal temizleme durumunda, inhibitör banyosuna girmeden hemen önce parça örnekleri alınır. Beherin içine birkaç damla Timol mavisi damlatılır ve karıştırılır. Mavi renk oluşumu ekil 4.4'te görüldüğü gibi alkali varlığını gösterir.



Şekil 4.4. Alkali kirlilik içeren parça test görseli

Şekil 4.5.'teki gibi renk oluşumu yok ise alkali yoktur. Alkali olmaması ürünün Geomet kaplama için hazır olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 4.5. Alkali kirlilik içermeyen parça test görseli

4.3.7. Hogaboom Testi

Hogaboom testi kumlama işlemi sonrası metal yüzeyin lamelli kaplamaya uygun olup olmadığını anlamak ve tespit etmek amacıyla yapılan kontrol metodudur. Çözelti hazırlanırken 1 litrelik beherde 30 g Bakır sülfat 200 mL saf su ile çözülür. Üzerine 30 mL sülfürik asit eklenir. Saf su ile 1 litreye tamamlanır. 500 mL'lik behere hazırlanan Hogaboom çözeltisinden konulur. Numune parça çözelti içine tam olarak daldırılır. 15 saniye beklenir ve parça çözeltiden çıkarılır. Parçanın görünümü Şekil 4.6'daki gibi somon renginde olmalıdır.



Şekil 4.6. Hogaboom testinden başarılı olan parça

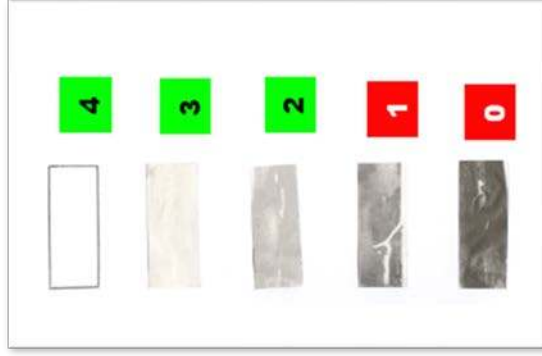
Uygun olmayan parçalar Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Hogaboom testinden başarısız olan parça

4.3.8. Kuru Yapışma Testi

Kumlama makinesinden çıkan parçalardan alınır. Yapışma bandı 3 M N°610 kullanılır (çelik üzerine yapışma mukavemeti 47 N/100 mm). Yapışma bandını parça yüzeyine hava kalmayacak şekilde yapıştırılır. 3M silecek ile üç kez aynı yönde basınç uygulanır. Bant yüzeyden hızlı bir şekilde alttan yukarı doğru kuvvet uygulayarak kaldırılır. Şekil 4.8'deki skala ile bant görünümü karşılaştırılır.



Şekil 4.8. Kumlama sonrası yapışma testi skalası

Kumlama sonrası yapışma testi için kullanılan materyaller aşağıda Şekil 4.9.’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Kumlama sonrası yapışma test kiti

Kaplamalı yüzey üzerine Şekil 3.10’daki gibi yapışma bandı (TESA 4657) yapıştırılır. Yapışma bandı yüzeyden elle hızlı bir şekilde alttan yukarıya doğru kuvvet uygulayarak kaldırılır. Uygulanan bant sonucu yüzey değerlendirmeleri standartlara göre kontrol edilmektedir.



Şekil 4.10. Kaplama sonrası yapışma bandı uygulama yöntemi

4.3.9. Tuz Sisi Testi (Korozyon Testi)

Test numuneleri kaplandıktan sonra test standartlarına göre hazırlanmış %5’lik hazırlanan sodyum klorür çözeltisini spreyci olarak uygulayan tuz sisi kabin içerisine, 35°C’de

ve %95 oranında nemli ortama maruz bırakılarak gerçekleştirilir. Kırmızı pas korozyonun metal yüzene ulaştığının göstergesidir. 720 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'inde kırmızı pas olmalıdır.



Şekil 4.11. Tuz sisi test cihazı

5. DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Yapılan tez çalışmasındaki deneysel süreç ana başlıklar olarak fosfat kaplama ve çinko lamelli kaplama basamaklarından oluşmaktadır.

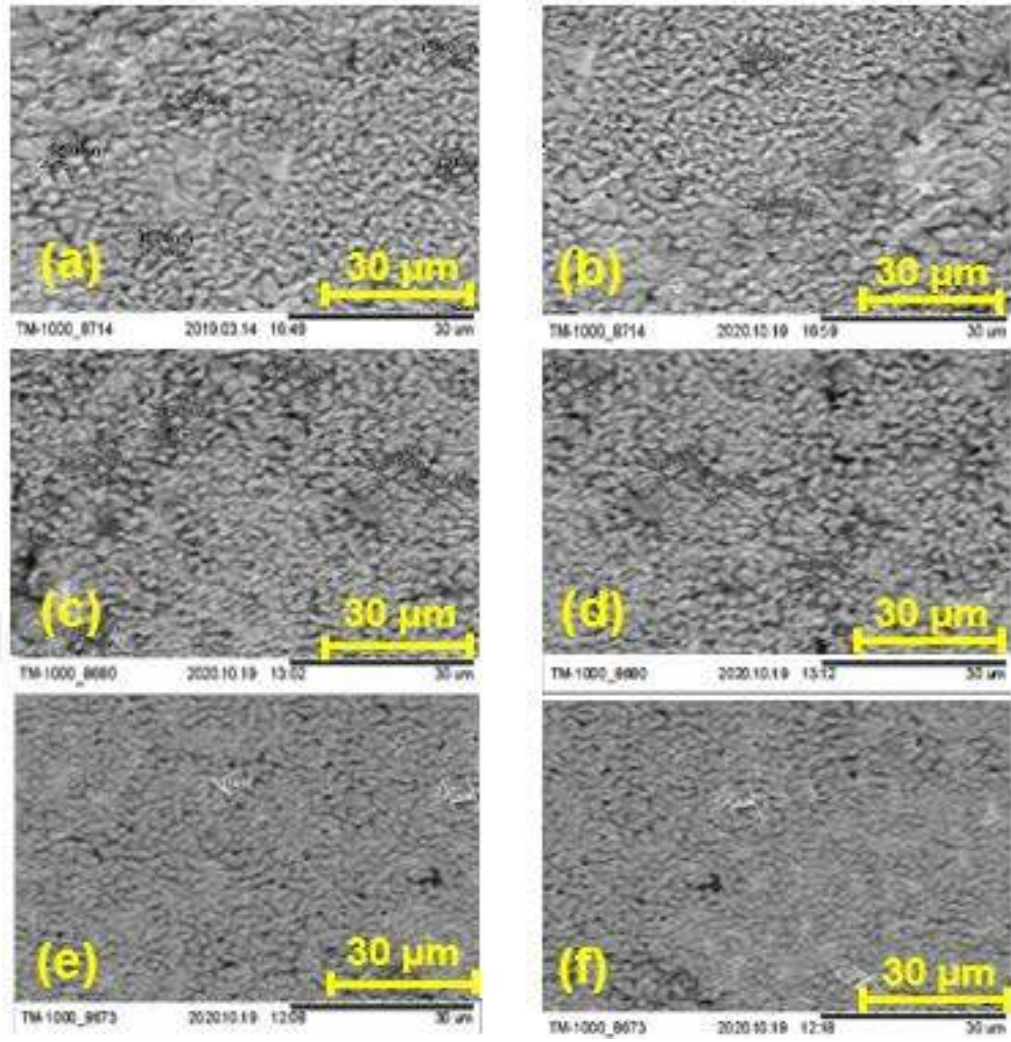
Fosfat kaplama sürecinde en önemli basamaklardan birisi kaplamanın yüzeye tutunmasını güçlendirdiği için aktivasyon basamağıdır. Çalışma kapsamında da parametre olarak aktivasyon süresi ve aktivasyon pH'ı değiştirilmiş ve bu parametrelerin kaplama kalitesi üzerine etkileri belirlenmiştir. Ayrıca Fosfat kaplama süresinin de kaplama kalitesi üzerine etkisi irdelenmiştir.

Çinko lamelli kaplama uygulamasında ise yüzey hazırlama basamağı oldukça önemlidir. Bu aşamada parametre olarak kum tipi, kumlama amperi ve kumlama süresi değiştirilmiştir. Ayrıca kaplama basamağında santrifüj hızı ve santrifüj süresi de değiştirilerek bu parametrelerin kaplama kalitesi üzerine olan etkileri belirlenmiştir.

Son olarak, farklı yöntemler olan dökme ve askılama ile kaplama uygulamasında diğer parametreler sabit tutularak, santrifüj hızı ve santrifüj süresinin kaplama kalitesi üzerine olan etkileri incelenmiştir.

5.1 Fosfat Kaplamada Aktivasyon Süresinin ve pH'ının Kaplama Kalitesine Etkisi

Fosfat kaplama aşamalarından biri olan aktivasyon işleminde, aktivasyon banyosu pH değerinin değiştirilmesiyle elde edilen metal örneklerin yüzey görüntüleri Şekil 5.1'de verilmiştir. pH değerinin 8,75 ve 9,50 arasında olduğunda aktivasyon işleminin fosfat kaplama öncesi parça yüzeyini aktive ettiği belirlenmiştir.



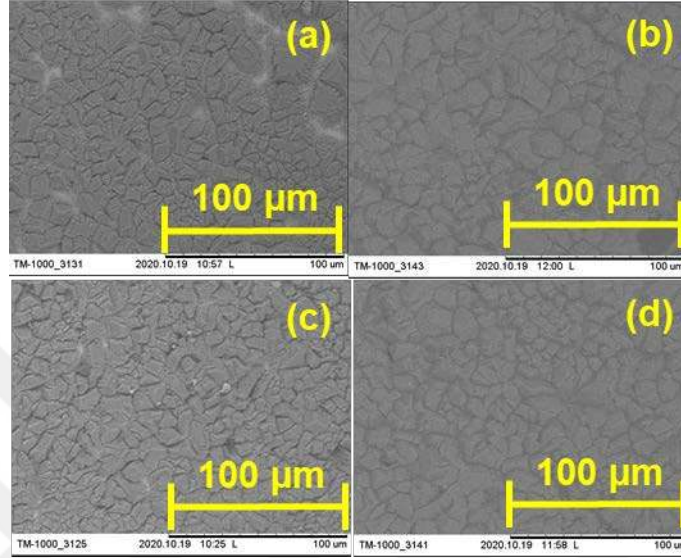
Şekil 5.1. Farklı pH değerlerinde elde edilen metal yüzeylerin SEM görüntüleri (a) pH 8,5 (b) pH 8,75 (c) pH 9,00 (d) pH 9,25 (e) pH 9,50 (f) pH 10,00

Taramalı Elektron mikroskobu ile elde edilen görüntülere göre aktivasyon ortamının pH değeri azaldıkça, fosfat kristal oluşumu kötü yönde etkilenmiş ve fosfat kaplama yüzeyinde lekeli bir görüntü elde edilmiştir. Yüksek pH değerlerinde ise metal yüzeyinde homojen olmayan fosfat tabakası olduğu görülmüştür. En uygun pH değerinin 9,00 ve 9,25 olduğu belirlenmiş ve aktivasyon süresinin etkisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda pH değeri 9,00 olarak sabit tutulmuştur.

Aktivasyon süresinin kaplama kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalardan elde edilen SEM görüntüleri Şekil 5.2’de verilmiştir.

15 s aktivasyon uygulanan parçalarda kristaller arası boşluğun oldukça fazla olduğu görülmektedir. 30 s aktive edilmiş yüzeyde homojen yüzey dağılımının olmadığı ve aktive

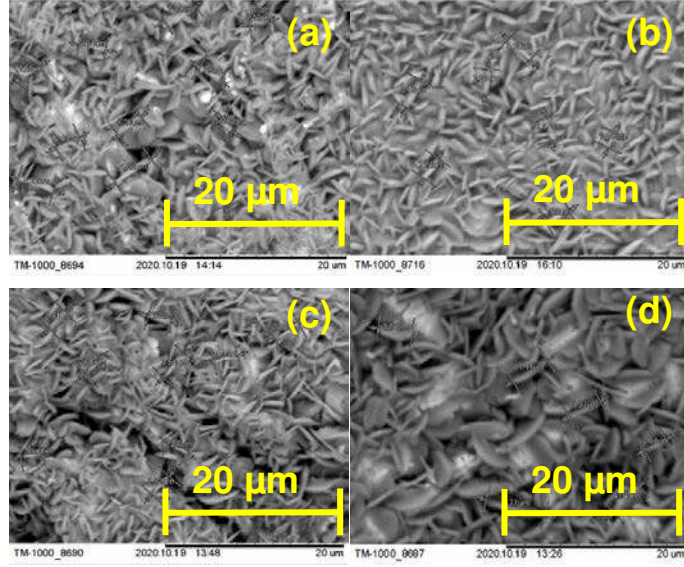
edilemeyen bölgenin lekeli bir görünüme sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.2b). Aktivasyon süresinin düşük olduğu denemelerde parça yüzeyinin yeterince aktive olmadığı ve fosfat kaplama tabakasının güçlü tutunma sağlamayacağı sonucuna varılmıştır. Elde edilen SEM görüntülerine göre, aktivasyon maruziyeti için en uygun pH değerinin 9,00 ve aktivasyon süresinin 60 s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.2. Farklı aktivasyon süresi değerlerinde elde edilen metal yüzeylerin SEM görüntüleri (a) 15 s (b) 30 s (c) 45 s (d) 60 s

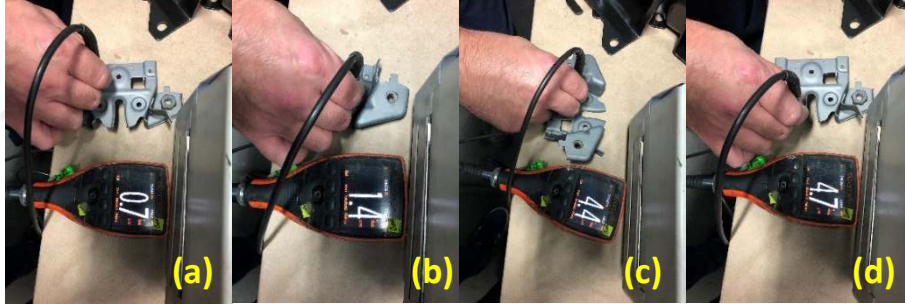
5.2. Fosfat Kaplama Süresinin Kaplama Kalitesine Etkisi

Fosfat kaplama süresinin kaplama kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda pH 9,00 olan aktivasyon banyosunda 60 s yüzeyi aktive edilmiş parçalar 3, 5, 8 ve 10 dk fosfat banyosunda tutulmuştur (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Farklı fosfat kaplama sürelerinde elde edilen metal yüzeylerin SEM görüntüleri (a) 3 dk (b) 5 dk (c) 8 dk (d) 10 dk

Fosfat kaplama süresinin her seviyesinde aktifleşmiş yüzeye tutunmanın gerçekleştiği görülmüş fakat düşük sürelerde fosfat kaplanan parçaların kaplama kalınlığının daha ince olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.4 ve Tablo 5.1).



Şekil 5.4. Kaplama kalınlıkları (a) 3 dk (b) 5 dk (c) 8 dk ve (d) 10 dk

Tablo 5.1. Fosfat kaplama süresinin kaplama kalınlıklarına etkisi

	Deneme I	Deneme II	Deneme III	Deneme IV
Kaplama Süresi (dk)	3	5	8	10
Kaplama kalınlıkları (mm)	0,7	1,4	4,4	4,7

5.3. Çinko Lamelli Kaplamada Kum Tipinin Kaplama Kalitesine Etkisi

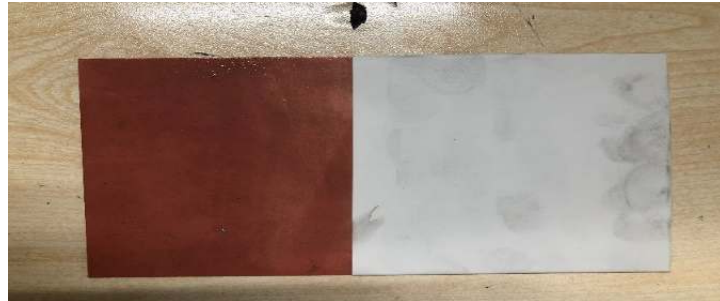
Sac parçalarda S20 ve S70 kumla yapılan denemelerde kumlamanın her ikisinde de yeterli derecede olduğu fakat S20 paslanmaz çelik bilyeli kumda yüzey pürüzlülüğünün daha iyi seviyede sağlandığı görülmüştür. Bundan sonraki aşamalarda kum tipi olarak S20 kum kullanılacaktır. Farklı kum tipleri ile yapılan deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kum tipinin yüzeye etkileri ile ilgili denemeler

	DENEME I	DENEME II	DENEME III	DENEME IV
KUM TİPİ	S20	S70	S30	S110
Kumlama Amperi (Amp)	8-16	8-16	8-16	8-16
Kumlama Süresi (dk)	5-12	5-12	5-12	5-12
				

5.4. Çinko Lamelli Kaplamada Kumlama Amperinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Kumlama amper değerini maksimuma yakın değerde tuttuğumuzda parçalarda çarpan kumun şiddetiyle deformasyona uğrama riski yükselmektedir. Farklı kumlama amperlerinde ve 12 dk kumlama süresince elde edilen parçaların görüntüleri Tablo 5.3’te verilmiştir. Kumlama yapılan parça görüntüsü Şekil 5.5’te verilmiştir. Çalışmanın devamında en uygun değer olarak 12 Amper baz alınmıştır.



Şekil 5.5. Kumlama yapılmış plaka

Tablo 5.3. Kumlama amperinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ile ilgili denemeler

	DENEME I	DENEME II	DENEME III	DENEME IV
Kumlama Amperi (Amp)	8	10	12	16
Kumlama Süresi (dk)	12	12	12	12
				

5.5. Çinko Lamelli Kaplamada Kumlama Süresinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Kumlama süresinin yetersiz olduğu durumlarda parça yüzey pürüzlülüğünün yeterli olmadığı gözlemlendi ve süre yeterince fazla uzun tutulduğunda 12 Amper şiddette yüzey pürüzlülüğü oluşturulurken fosfat tabakasının zarar gördüğü tespit edilmiştir. Çalışmanın devamında en uygun değer olarak 12 Amper şiddette 12 dakika kumlamının en verimli süreç değeri olduğu belirlenmiştir. Sabit 12 Amper değerinde farklı kumlama süreleri uygulanan plaka görüntüleri Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.4. Kumlama süresinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ile ilgili denemeler

	DENEME I	DENEME II	DENEME III	DENEME IV
Kumlama Amperi (Amp)	12	12	12	12
Kumlama Süresi (dk)	5	8	10	12
				

5.6. Çinko Lamelli Kaplamada Santrifüj Hızı ve Süresinin Dökme Uygulamasında Kaplama Kalitesine Etkisi

Santrifüj hızının dökme uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmaların sonuçları Tablo 5.5'te verilmiştir. Santrifüj hızı düşük olduğunda metalin geometrik yapısına göre yer yer kaplama birikimleri gözlenmiştir. Dolayısıyla kaplama bant testi yapıldıktan sonra yüzeye tutunma konusunda problem yaşandığı görülmüştür. Santrifüj hızının yüksek olması halinde dönme şiddetiyle yüzeyden fazla boya uzaklaştırıldığı için ince bir kaplama tabakası elde edildiği gözlenmiştir. Çalışma süresince lamelli kaplamada baz alınacak santrifüj hızı 320-400 rpm olacaktır.

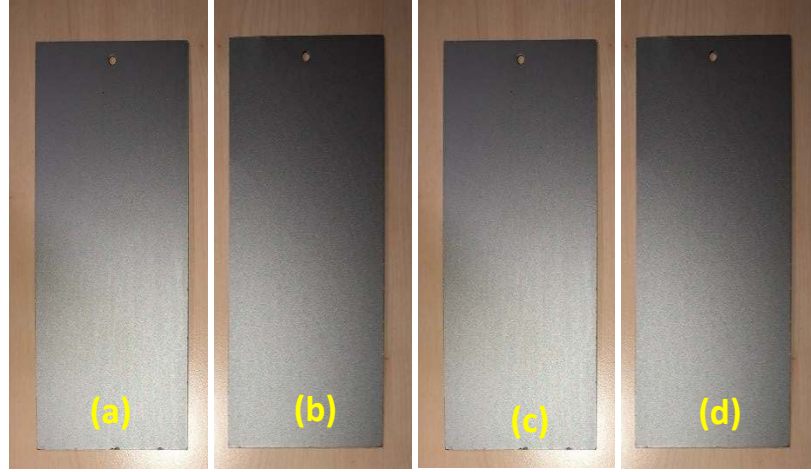
Tablo 5.5. Santrifüj hızının dökme uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili denemeler

	DENEME I	DENEME II	DENEME III	DENEME IV
Santrifüj Hızı (rpm)	280	320	400	480
Santrifüj Süresi (s)	60+60	60+60	60+60	60+60
Ön Kurutma (°C)	70-100	70-100	70-100	70-100
Kürlenme (°C)	310±10	310±10	310±10	310±10
Fırın Bant Hızı (cm/dk)	16	16	16	16
Kaplama Ağırlığı (g/m ²)	35,8	28,2	26,2	23,6

320 ve 400 rpm sabit santrifüj hızında farklı sürelerde gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları sırasıyla Tablo 5.6, Şekil 5.6, Tablo 5.7 ve Şekil 5.7'de verilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda lamelli kaplama için en uygun uygulama parametreleri 320-400 rpm döndürme hızı ve 60 saniye sağa ve sola döndürme süresi olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.6. 320 rpm santrifüj hızında santrifüj süresinin dökme uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili denemeler

	DENEME I	DENEME II	DENEME III	DENEME IV
Santrifüj Süresi (s)	30+30	60+60	90+90	120+120
Santrifüj Hızı (rpm)	320	320	320	320
Ön Kurutma (°C)	70-100	70-100	70-100	70-100
Kürlenme (°C)	310±10	310±10	310±10	310±10
Fırın Bant Hızı (cm/dk)	16	16	16	16
Kaplama Ağırlığı (min 24 g/m ²)	28,4	27,4	26,8	26,1

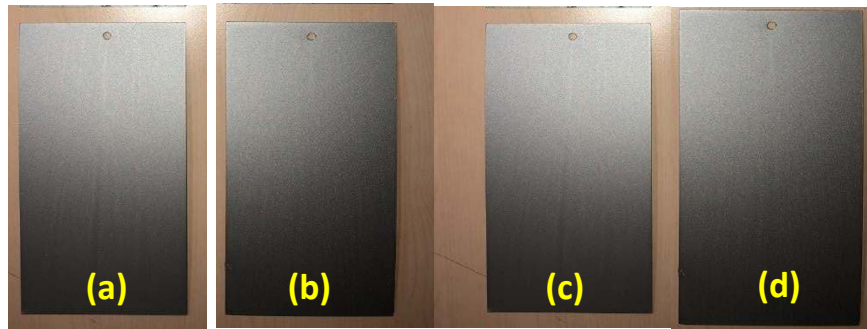


Şekil 5.6. 320 rpm santrifüj hızında dökme yöntemiyle kaplanmış plakalar

(a) 30+30 s (b) 60+60 s (c) 90+90 s (d) 120+120 s

Tablo 5.7. 400 rpm santrifüj hızında santrifüj süresinin dökme uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili denemeler

	DENEME I	DENEME II	DENEME III	DENEME IV
Santrifüj Süresi (s)	30+30	60+60	90+90	120+120
Santrifüj Hızı (rpm)	400	400	400	400
Ön Kurutma (°C)	70-100	70-100	70-100	70-100
Kürlenme (°C)	310±10	310±10	310±10	310±10
Fırın Bant Hızı (cm/dk)	16	16	16	16
Kaplama Ağırlığı (min 24 g/m²)	26,6	26,1	24,9	24,6



Şekil 5.7. 400 rpm santrifüj hızında dökme yöntemiyle kaplanmış plakalar

(a) 30+30 s (b) 60+60 s (c) 90+90 s (d) 120+120 s

5.7. Çinko Lamelli Kaplamada Santrifüj Hızı ve Süresinin Askı Uygulamasında Kaplama Kalitesine Etkisi

Farklı santrifüj hızlarının ve sürelerinin askı uygulamasında kaplama kalitesine etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmaların sonuçları Tablo 5.8, Tablo 5.9, Tablo 5.10, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da verilmiştir.

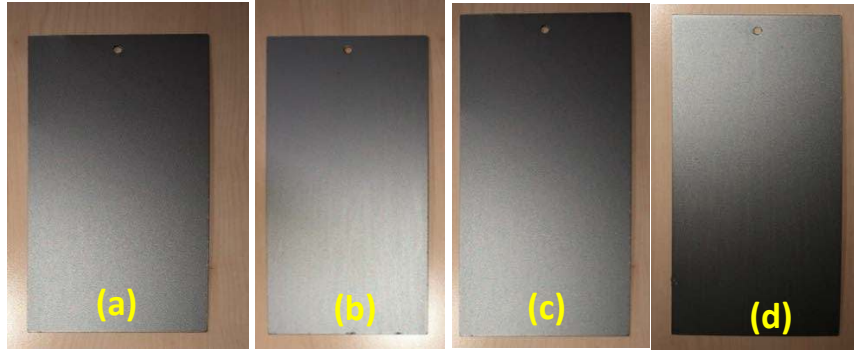
Santrifüj hızı düşük olduğunda asılan metalin geometrik yapısına göre tırnaklı bölgelerde birikme, düz yüzeylerde ise akıntı gözlenmiştir. Kaplama kalınlığının ise santrifüj hızı azaldıkça arttığı belirlenmiştir. Santrifüj hızının yüksek olması halinde dönme şiddetiyle parçaların asma yerlerinde deformasyona uğrayabildiği ya da savrulup süreç dışı kalabildiği gözlenmiştir. Çalışma süresince askı lamelli kaplamada baz alınacak santrifüj hızı 320-400 rpm olacaktır. Fakat tüm değerlerde kaplamada yapışmama ya da yüzeyden kopma gibi problemler belirlenmemiştir.

Tablo 5.8. Santrifüj hızının askılama ile kaplama uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili deneyler

	DENEME I	DENEME II	DENEME III	DENEME IV
Santrifüj Hızı (rpm)	280	320	400	480
Santrifüj Süresi (s)	60+60	60+60	60+60	60+60
Ön Kurutma (°C)	70-100	70-100	70-100	70-100
Kürleme (°C)	310±10	310±10	310±10	310±10
Fırın Bant Hızı (cm/dk)	16	16	16	16
Kaplama Ağırlığı (min 24 g/m ²)	34,6	27,2	26,2	23,8

Tablo 5.9. 320 rpm santrifüj hızında santrifüj süresinin askılama ile kaplama uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili deneyler

	DENEME I	DENEME II	DENEME III	DENEME IV
Santrifüj Süresi (s)	30+30	60+60	90+90	120+120
Santrifüj Hızı (rpm)	320	320	320	320
Ön Kurutma (°C)	70-100	70-100	70-100	70-100
Kürleme (°C)	310±10	310±10	310±10	310±10
Fırın Bant Hızı (cm/dk)	16	16	16	16
Kaplama Ağırlığı (min 24 g/m ²)	28,1	27,8	26,4	26,4

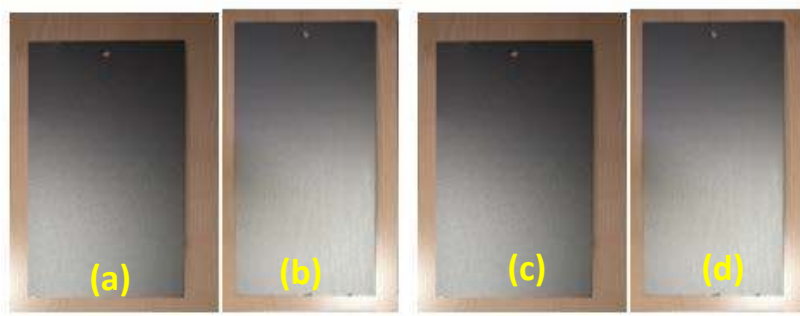


Şekil 5.8. 320 rpm santrifüj hızında askılama yöntemiyle kaplanmış plakalar

(a) 30+30 s (b) 60+60 s (c) 90+90 s (d) 120+120 s

Tablo 5.10. 400 rpm santrifüj hızında santrifüj süresinin askılama ile kaplama uygulamasında lamelli kaplama kalitesine etkisi ile ilgili denemeler

	DENEME I	DENEME II	DENEME III	DENEME IV
Santrifüj Süresi (s)	30+30	60+60	90+90	120+120
Santrifüj Hızı (rpm)	400	400	400	400
Ön Kurutma (°C)	70-100	70-100	70-100	70-100
Kürleme (°C)	310±10	310±10	310±10	310±10
Fırın Bant Hızı (cm/dk)	16	16	16	16
Kaplama Ağırlığı (min 24 g/m²)	26,6	26,9	24,1	24,1

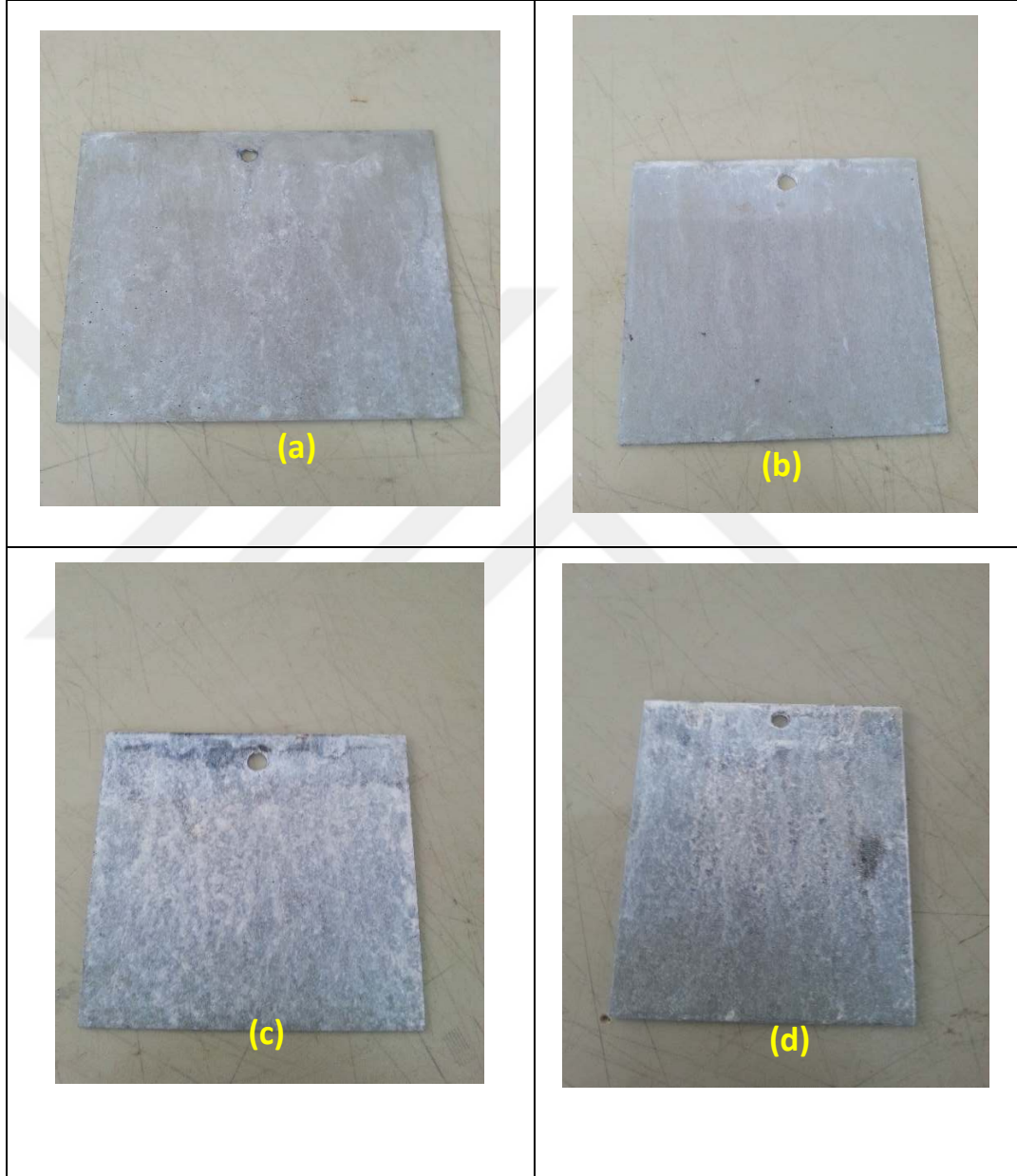


Şekil 5.9. 400 rpm santrifüj hızında askılama yöntemiyle kaplanmış plakalar

(a) 30+30 s (b) 60+60 s (c) 90+90 s (d) 120+120 s

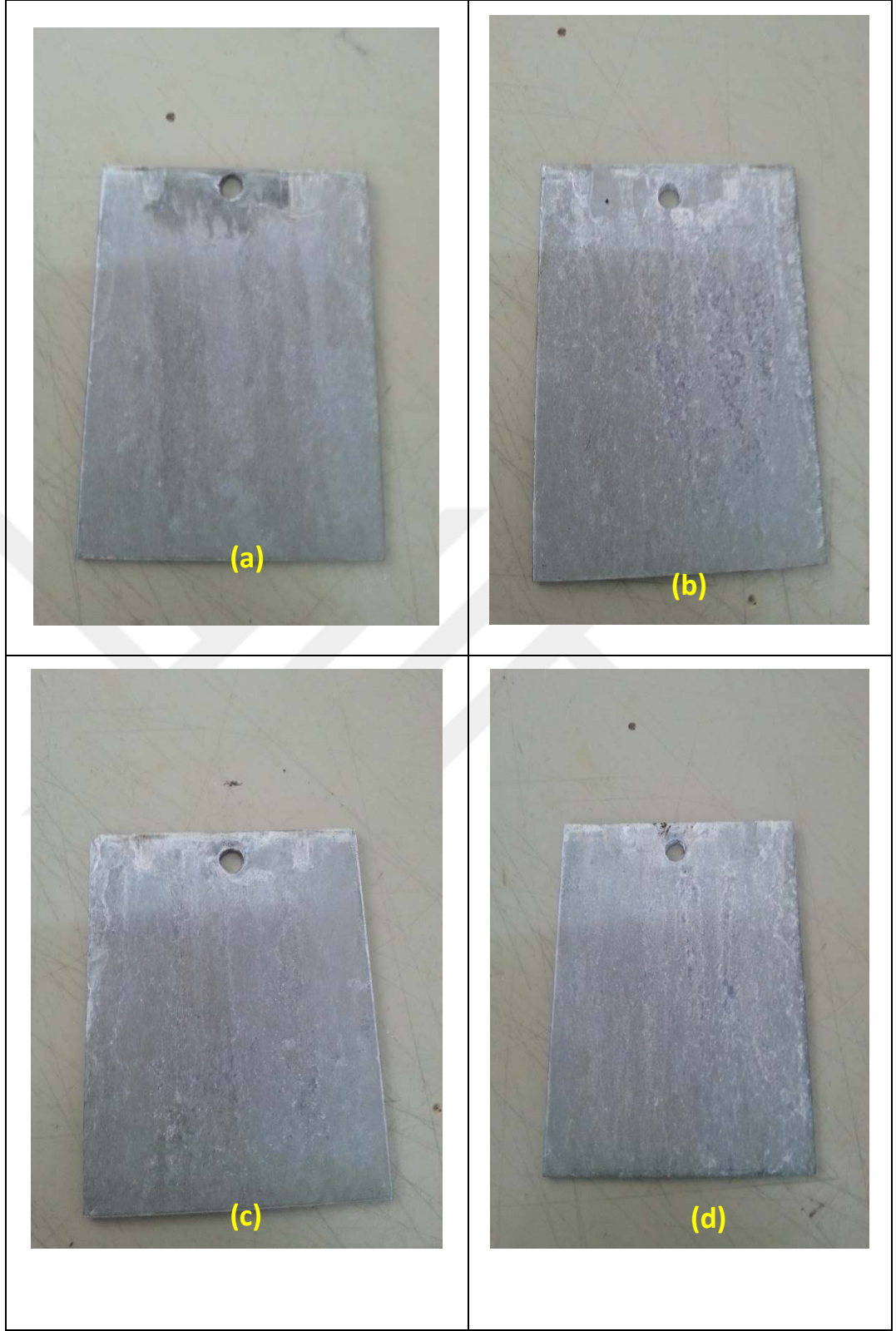
5.8. Korozyon Test Sonuçları

Kaplama denemesi yapılan numune plakalara ASTM B117 standardına uygun olarak korozyona karşı dayanıklılığını ölçmek adına tuz sisi testi uygulanmıştır. Yapılan testler sonucunda kaplamanın korozyona karşı yeterince dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Test sonuçları aşağıda belirtilmiştir.



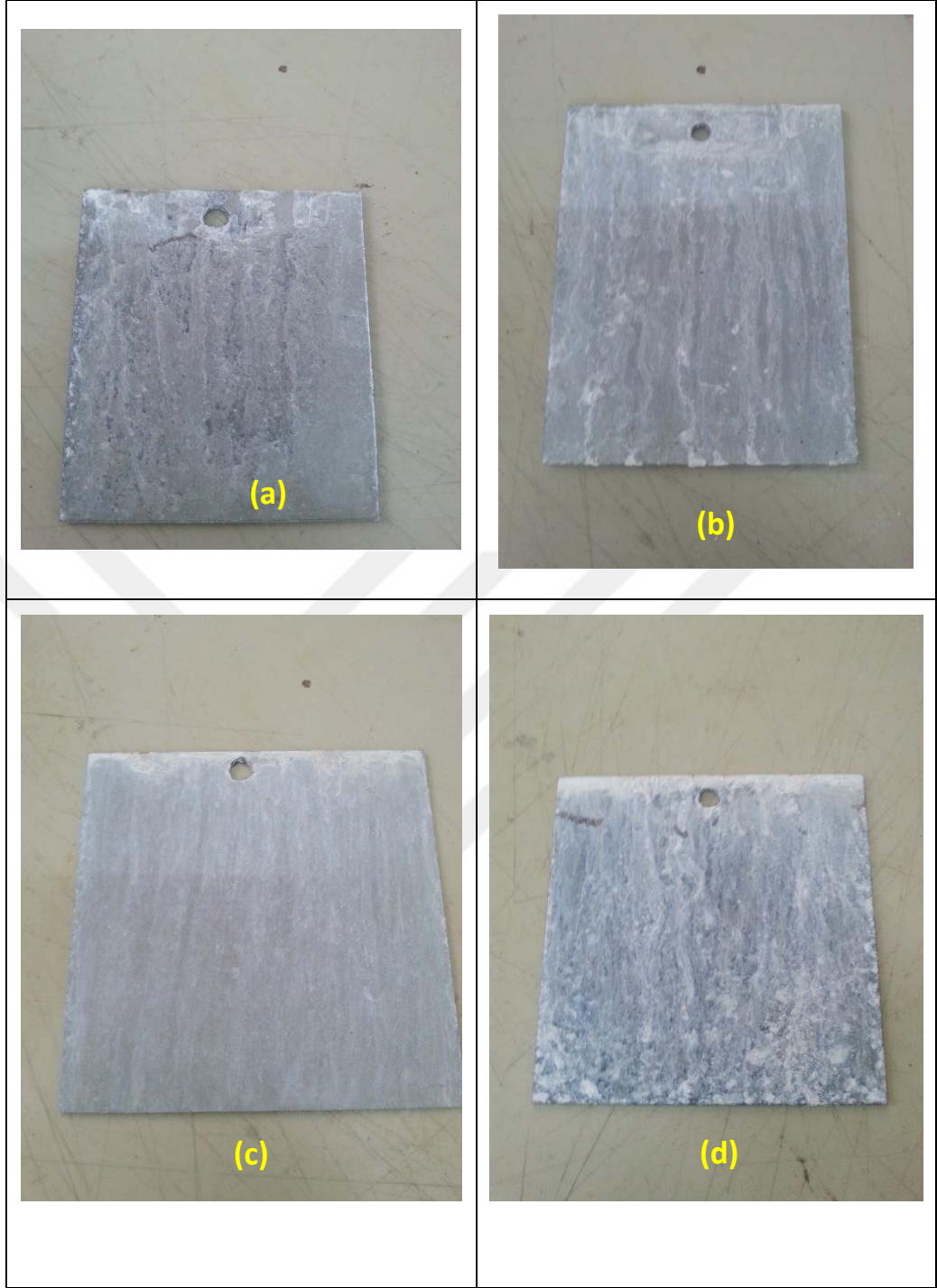
Şekil 5.10. 320 rpm santrifüj hızında dökme yöntemiyle kaplanmış plakaların test sonucu

(a) 30+30 s (b) 60+60 s (c) 90+90 s (d) 120+120 s



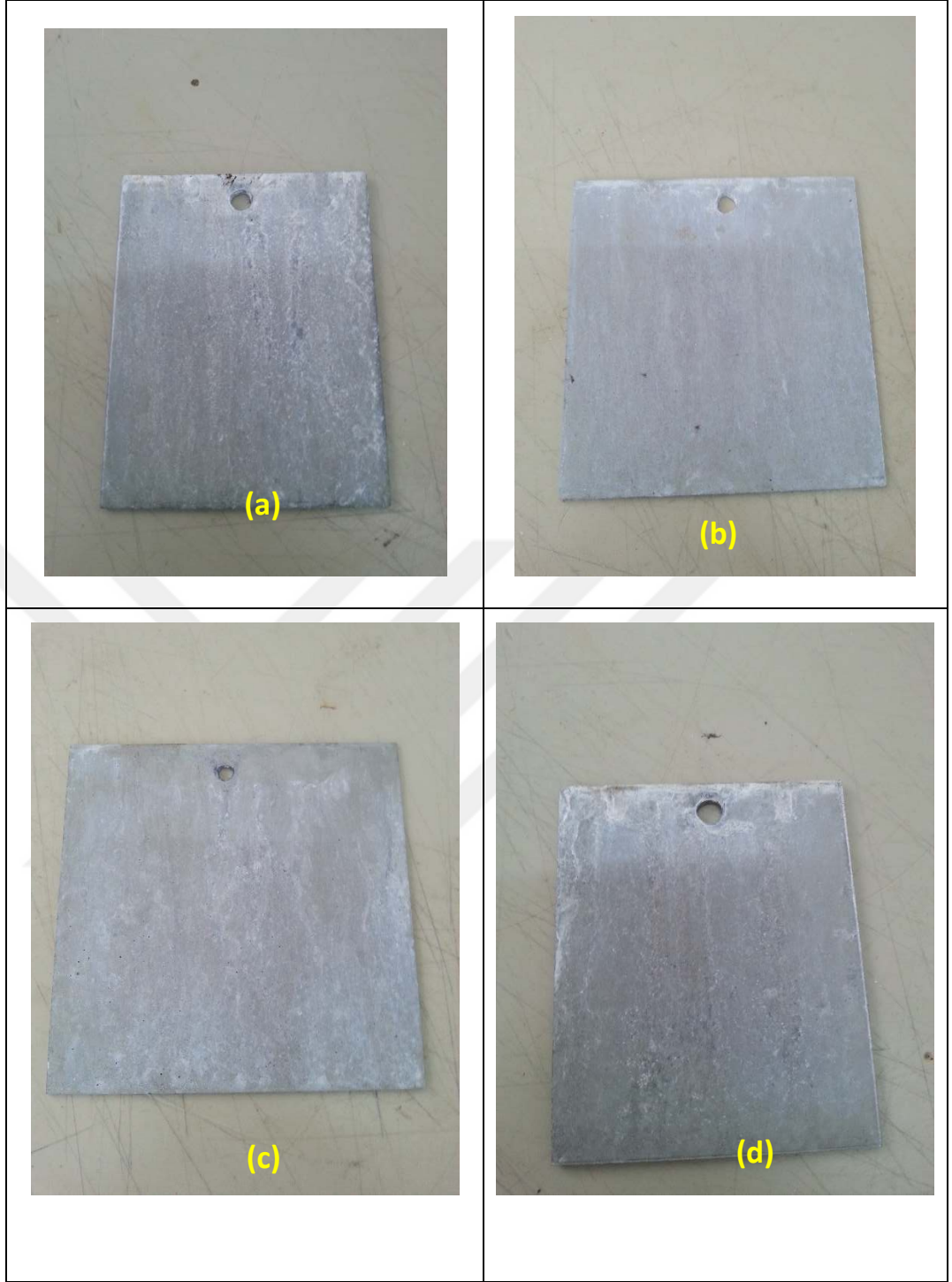
Şekil 5.11. 400 rpm santrifüj hızında dökme yöntemiyle kaplanmış plakaların test sonucu

(b) 30+30 s (b) 60+60 s (c) 90+90 s (d) 120+120 s



Şekil 5.12. 320 rpm santrifüj hızında askılama yöntemiyle kaplanmış plakaların test sonucu

(c) 30+30 s (b) 60+60 s (c) 90+90 s (d) 120+120 s



Şekil 5.13. 400 rpm santrifüj hızında askılama yöntemiyle kaplanmış plakaların test sonucu

(d) 30+30 s (b) 60+60 s (c) 90+90 s (d) 120+120 s

6. GENEL SONUÇLAR

Yapılan tez çalışmasında elde edilen genel sonuçları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Fosfat kaplama öncesi yüzey hazırlama işlemi olan aktivasyon uygulamasının kaplama kalitesine etkisi incelenirken banyo pH değeri 8,5 ile 10,0 arasında; aktivasyon uygulama süresi ise 15 saniye ile 60 saniye arasında tutulmuştur. Aktivasyon pH alt limitlerde çalışıldığında fosfat kristal yapısının bozulduğu ve lekeli bir kaplama görünümü elde edildiği tespit edilmiştir. Aynı şekilde pH üst limitlerde çalışıldığında aktivasyon uygulaması yüzeyi aktive etmek yerine pasifleştirdiği ve homojen olmayan fosfat tabakası elde edildiği belirlenmiştir. Aktivasyon banyosunun pH değeri 9,00 uygulama süresi 60 saniye belirlendiğinde en uygun yüzey aktifliği elde edilmiştir.

- Yüzeyi aktifleşmiş metalin fosfat kaplanması işleminde fosfat banyosunda kalma süresi yeterli olmadığında çok ince bir fosfat tabakası oluştuğu ve kristal yapının gözlenemediği, maruziyetin fazla olması durumunda ise kaplama ağırlığında ya da kalınlığında herhangi bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde en uygun fosfat kaplama süresinin 10 dakika olduğu uygun görülmüştür.

- Fosfat kaplama ile temizlenmiş metal parça yüzeyinde lamelli kaplama öncesi yüzey pürüzlülüğü oluşturmak amaçlı yapılan kumlama işleminde kullanılacak olan kumlar incelendiğinde paslanmaz çelik bilyeli kumda yüzey pürüzlülüğünün uygun seviyede olduğu ve kumlama sonrası metal yüzeyde bıraktığı tozun normal çelik bilye kuma göre çok daha az olduğu hogaboom testi ve kuru yapışma testi ile belirlenmiştir. Çalışmalarda kum olarak S20 ve S30 paslanmaz çelik kum kullanılmıştır.

- Kumlama işlemi sırasında uygulama parametreleri olarak amper seviyesi 8 Amper ile 16 Amper arasında, kumlama süresi de 5 dakika ile 12 dakika arasında tutulmuştur. Amper değeri en yüksek seviyelerde tutulması durumunda çarpan kumun şiddeti ile doğru orantılı olarak metal yüzeyinde deformasyon riski oluştuğu tespit edilmiştir. Kumlama süresini arttırdığımız durumda ise yüzey temizliği için uygulanan fosfat kaplama tabakasının zarar gördüğü tespit edilmiştir. Tüm incelemeler ışığında uygun parametre olarak 12 Amper şiddette 12 dakika kumlamının en verimli süreç değeri olduğu belirlenmiştir.

- Lamelli kaplama işleminde, yüzeyde fazla kimyasalın uzaklaştırılması amacıyla uygulanan santrifüj işleminde hız 280 rpm ile 480 rpm arasında tutulmuştur. Santrifüj hızının yüksek olması durumunda dönme şiddetiyle yüzeyden çok fazla boya uzaklaştırıldığı için ince

kaplama tabakası elde edildiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda santrifüj hızı düşük olduğuunda ise metalin geometrik yapısına göre birikme gibi görsel hatalar ve yapışma testinde tutunma zafiyeti gözlenmiştir. Çalışmalar sonucu edinilen tecrübelerle 60 saniye sola ve 60 saniye sağa olmak üzere uygun hız değeri olarak 320 rpm ve 400 rpm baz alınmıştır ve yapılan kaplamanın normlara uygun olduğu görülmüştür.

- Düz yüzeyle parçalarda dökme ile kaplama yöntemi uygulandığında temas noktalarında izler olduğu ve kürlenme işlemleri sırasında parçaların birbirlerine yapışabildiği gözlenirse de korozyon dayanımları konusunda istenilen şartlar sağlanmıştır. Görsel olarak uygun kaplama elde etmek adına düz yüzeyle parçalara askılama işlemleri yapılması daha uygun bulunmuştur.
- Kaplaması yapılan parçalara korozyon dayanımını tespit etmek amacıyla uygulanan tuz sisi testinde 120 saatte beyaz pas ve 720 saatte kırmızı pas görülmemiştir.

KAYNAKÇA

Anonim, (2000). (ISO International Organisation for Standardisation. ISO 10683 Fasteners–Non-electrolytically applied zinc flake coatings, 2000).”

Anonim, (2017). NOF METAL COATINGS GROUP. GEOMET 321/500 Technical manuel (EN). (2017)

Anonim, (2019a) <http://alierbulut.blogcu.com/elektrokimyasal-hucreler/9442690> (Erişim tarihi: 15.05.2019)

Anonim, (2019b).

https://www.fabory.com/en/knowledge_center/technical/surface_treatments/zinc_flake_coatings Erişim tarihi: 15.05.2019).

Anonim, (2019c). "toxicological review of hexavalent chromium" (PDF). cfpub.epa.gov. Retrieved 2019-01-14.

Batchelor, A.W., Lam, L.N. ve Chandrasekaran, M. (2002). Materials Degradation and its Control by Surface Engineering, p. 219-225, Imperial College Press, London.

Berk, V. (2004). Yüzey işlem teknolojileri 1. 6-7

Campbell, F.C. (2008). Elements of Metallurgy and Engineering Alloys, p. 323-549, ASM International, Materials Park, Ohio.

Can, A. (2019). Alkali ve alaşımlı çinko kaplama üzerine solvent bazlı lamelli kaplama uygulaması ile oluşacak dubleks kaplamanın korozyon ve ömür testine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.

CEN Comité Européen de Normalisation. EN 13858 Corrosion protection of metals. Non-electrolytically applied zinc flake coatings on iron or steel components).

Holmes, A. L.; Wise, S. S.; Wise, J. P. (2008). "Carcinogenicity of hexavalent chromium". The Indian Journal of Medical Research. 128 (4): 353–372. ISSN 0971-5916. PMID 19106434

Kakani, S. ve Kakani, A. (2004). Material Science, p. 382-394, New Age International, Daryaganj, Delhi.

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.

Kojima, R., K. Nomura and Y. Ujikara (1982). J. Japanese Soc. Colour. Mater. 55 365.

Mora, E. ve Ballester, V. (2019). Review and long-term corrosion analysis of coatings based on Zinc-Aluminium-Magnesium alloys, as an alternative to traditional zinc-based coatings for cable trunking systems in electrical installations. Novasineria 2019, Vol 2, No.1, Junio

Sadaway, M.M., Eid, E.A. (2020). Preparation and Electrochemical Behavior of Graphene-Oxide/Zinc-Phosphate Composite Coatings on as-Cast Al-Zn (5.0 wt.%)-Mg (2.5 wt.%).Alloy. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2019.116236> (Erişim tarihi: 15.08.2020).

Sugaya, I. and Kondo, S. (1963). J. Japanese Soc. Colour. Mater. 36 (283)

Sugimaru, S., Tanaka, S., Hikita, N., Ohba, H., Yoshie, A., & Nishida, S. (2007). Zinc Alloy Coated Steel Wire with High Corrosion Resistance. NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 96

Sugimura, S. & Liao, J. (2016). Long-term corrosion protection of arc spray Zn-Al-Si coating system in dilute chloride solutions and sulfate solutions. Surface & Coatings Technology, 302, 398-409

Vu, T. N. (2012). Selective dissolution from Zn-Al alloy coatings on steel. Material chemistry. Universite Pierre et Marie Curie-Paris VI, (41)

Ying, Y., Zuo, Y., Zhang, Z., Wu, L., Ning, C. And Zuo, C. (2019). Al₂O₃ Coatings on Zinc for Anti-Corrosion in Alkaline Solution by Electrospinning. Coatings 2019, 9 p.692

Wolpers, M. ve Angeli, J. (2001). Activation of galvanized steel surfaces before zinc phosphating, XPS and GDOES investigations. Applied Surface Science. Volume 179, Issues 1–4, 16 July 2001, Pages 281-291.

Zhao, Xu., Yuhong Qi, Zhanping Zhang and Kejiao Li. (2019). The Influence of Glass Flake and Micaceous Iron Received: 6 October 2019; Accepted: 1 December 2019; Published: 6 December 2019 Oxide on Electrochemical Corrosion Performance of Waterborne Silicate Coatings in 3.5% NaCl Solution

Zimmermann D. ve Munoz, A.G. J.W. Schultze, (2003). Microscopic local elements in the phosphating process, accepted 6 April 2003.



ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Semih Ulubayrak

Doğum Tarihi : 19.03.1991

Doğum Yeri : Bursa

Medeni Hal : Evli

Askerlik : Yapıldı (03.11.2016)

ORCID ID : 0000-0003-0474-8318

İletişim Bilgileri

GSM : +90 536 204 39 30

E-Mail : semih.ulubayrak@outlook.com

semih.ulubayrak@icloud.com

Deneyim

Nisan 2017 Uzman Kataforez Yüzey Kaplama San. Tic. A.Ş.

Ar-Ge Proses Kalite Mühendisi

Lamelli Kaplama Hattı Proses & Kalite Sorumlusu

Eğitim Bilgileri

2018- Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

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

2018- Anadolu Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi/Yönetim Bilişim Sistemleri (Lisans)

2009-2016 Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Fen-Edebiyat Fakültesi/Kimya (Lisans)

Seminer & Kurslar ve Yetkinlikler

C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı	Ç.S.G.B.
Lamelli Kaplama Uzmanlığı	Nof Metal Coatings / Isabelle Persche
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
FMEA-Hata Türleri ve Etkileri	Mavi Akademi/ Nizami Molla
KAIZEN (Sürekli İyileştirme)	SİGMA AKADEMİ
Toplam Kalite Yönetimi	BEMAR Kariyer Okulu
Gelecek Durum Tasarımı	Coşkunöz Holding/ Nilay Çetiner
Risk ve Fırsat Yönetimi	Serdar Aksoylar
MICROSOFT Excel Advanced	BİLİŞİM EĞT. MERKEZİ/Mustafa ŞİŞMAN
CRM-Müşteri İlişkileri Yönetimi	İstanbul İşletme Enstitüsü
İşletme Yönetimi ve Organizasyon	İstanbul İşletme Enstitüsü
Stratejik Yönetici Asistanlığı	İstanbul İşletme Enstitüsü

Aralık, 2020

SEMİH ULUBAYRAK

