

T.C.

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PASLANMAZ MALZEMELERİN ELEKTROPOLİSAJ PROSESİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRAH ÇİMEN

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. GAMZE GÜNDÜZ MERİÇ

BİLECİK, 2025

10678856

T.C.

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PASLANMAZ MALZEMELERİN ELEKTROPOLİSAJ PROSESİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRAH ÇİMEN

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. GAMZE GÜNDÜZ MERİÇ

BİLECİK, 2025

10678856

BEYAN

“Paslanmaz Malzemelerin Elektropolisaj Prosesinin İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik 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, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	×
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....	

Emrah Çimen

.../.../2025

İmza

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Doç Dr. Gamze GÜNDÜZ MERİÇ' e çalışmamın son haline gelmesindeki değerli katkıları adına teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarında ekipmanlarından yararlandığım ROLLMECH SANAYİ TİCARET A.Ş. çalışanlarına yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında yardımcı olan Bünyamin EREN'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Kadir ÇİMEN, annem İsmet ÇİMEN, eşim Zehra ÇİMEN, oğlum Süleyman Arif ÇİMEN ve kızım Hafsa ÇİMEN 'e içten dileklerle teşekkür ederim.

Emrah ÇİMEN

2025

ÖZET

PASLANMAZ MALZEMELERİN ELEKTROPOLİSAJ PROSESİNİN İNCELENMESİ

Elektropolisaj kaplama otomotiv ana sanayii sektöründe anodik akım altında metal yüzeyinden mikron boyutunda parçalar koparılarak metale özgün parlaklığını geri verme, yüzeyin kendi karakteristik parlaklığını ortaya çıkarma dekoratif işlemidir. Bu çalışmanın literatürde yer alan diğer çalışmalardan farkı; elektropolisaj kaplamada çizik nedeniyle kabul olmayan parçaları kataforez kaplama yaparak yüksek korozyon, yapışma gibi özelliklerin bir araya getirilmesidir. Yapılan çalışmalar sonucunda görsel ve korozyon testleri en uygun kaplama proses süreleri belirlenmiştir. Paslanmaz sacdan, 100x100 mm numune plaka ham sac + kumlama + elektropolisaj çizik nedeniyle red olan kızak + kumlama + tufal alma (5 dk. çinko fosfat) SEM görüntüsü sonucunda yüzeyde seyrek 4-8 mic. kristal büyüklüğü kristal görüntülenmiştir. Kapama ağırlığı $< 0,1 \text{ g/m}^2$ dir. Elektropolisaj olmuş çizik bir kızak, yüzeyi daha parlak olması nedeniyle kataforez kaplamaya alınmadan önce kumlama + tufal alma yapılarak trikatyon fosfat ve kataforez kaplamanın kızak yüzeye daha iyi yapışması sağlanmıştır. Tuz sisi sonuçlarının (720 saat sonunda kabarma ve kırmızı pas görülmemiş ve parça üzerine çizilen çizikte açılma $d \leq 1,5 \text{ mm}$ 'nin altında) istenilen standartlara uygun olduğu görülmüştür. Elde edilen nihai kaplamaya, su direnci, tuz sisi, taş çarpma, çevrimsel korozyon performansı testleri uygulanmıştır. Ayrıca, glossmetre, elcometre etüv ve kül fırını cihazında kaplama test ölçümü yapılmış ve taramalı elektron mikroskobun (SEM) da fosfat kristal görünümü alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz malzemeler, Elektropolisaj, Kataforez.

ABSTRACT

AN INVESTIGATION OF THE ELECTROPOSCHING PROCESS OF STAINLESS MATERIALS

Electropolishing coating is a decorative process in the automotive main industry sector, where micron-sized pieces are broken off from the metal surface under anodic current to give the metal its original shine back, revealing the surface's own characteristic shine. The difference of this study from other studies in the literature is that in electropolishing coating, the parts that are not accepted due to scratches are cathodically coated, combining features such as high corrosion and adhesion. As a result of the studies, the most suitable coating process times were determined by visual and corrosion tests. Stainless steel, 100x100 mm sample plate raw sheet + sandblasting + electropolishing scratched rejected sled + sandblasting + descaling (5 min. zinc phosphate) SEM image showed sparse 4-8 mic. crystal size crystals on the surface. Coverage weight is $< 0.1 \text{ g/m}^2$. An electropolished scratched sled was sandblasted + descaled before being applied to the cathodization coating due to its brighter surface, thus ensuring better adhesion of the trication phosphate and cathodization coating to the sled surface. It was observed that the salt fog results (no swelling and red rust were observed after 720 hours and the opening in the scratch drawn on the part was less than $d \leq 1.5 \text{ mm}$) complied with the desired standards. Water resistance, salt fog, stone impact, cyclic corrosion performance tests were applied to the final coating. In addition, coating test measurements were made in the glossmeter, elcometer oven and muffle furnace device, and the phosphate crystal appearance was taken with the scanning electron microscope (SEM).

Keywords: Stainless materials, Electropolishing, Cathodization.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ

İÇİNDEKİLER..... iv

TABLOLAR LİSTESİ vi

ŞEKİLLER LİSTESİ..... vii

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ..... ix

1. GİRİŞ..... 1

2. KOROZYON ÇEŞİTLERİ 2

2.1. Korozyon, Oluşumu ve Zararları 2

3. ELEKTROPOLİSAJ KAPLAMA..... 4

3.1. Elektropolisaj Kaplama Tanımı 4

3.2. Elektropolisaj İş Akışı..... 5

3.3. Mekanik Polisaj-Kumlama..... 5

3.4. Tufal Alma 6

3.5. Ön Parlatma..... 6

3.6. Elektropolisaj..... 6

3.7. Pasivasyon 8

3.8. Ultrasonik Yağ Alma 8

3.9. Deiyonize Sıcak Durulama 8

3.10. Kurutma..... 8

4. KATAFOREZ KAPLAMA 9

4.1. Yüzey Hazırlama Prosesi..... 10

4.2. Aktivasyon..... 12

4.3. Fosfat Kaplama 13

4.4. Pasivasyon 14

4.5. Deiyonize Durulama..... 14

4.6. Kataforez Kaplama Banyosu 15

4.7. Ultrafiltrasyon Banyoları 17

4.8. Anot Sistemi 18

4.9. Kürlenme Prosesi 20

5.	LİTERATÜR TARAMASI	22
6.	MATERYAL VE METOD	24
6.1.	SEM Cihazı İle Fosfat Kaplama Görünümü Tayini	24
6.2.	Su Direnci Testi	25
6.3.	Şok Testi	27
6.4.	Tuz Sisi Testi	28
6.5.	Taş Çarpma Testi	28
6.6.	Cycle Korozyon Testi	29
7.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
7.1.	Kaplama Çalışma Koşulları ve Kaplama Sırasında Ölçülen Parametreler	31
7.2.	Kaplama Sonrasında Deneysel Değerlendirmeler ve SEM cihazı ile fosfat kaplama görünümü	33
7.3.	Tuz sisi testi	37
8.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	39
	KAYNAKÇA	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Elektropolisaj prosesi iş akışı.....	5
Tablo 4.1. Katarforez iş akışı.....	10
Tablo 6.1. Su banyosu sonrası, cross cut testi sınıflandırması	26
Tablo 6.2. Müşteri şok testi şartnameleri	27
Tablo 6.3. Bir çevrim döngüsü	29
Tablo 7.1. Yüzey temizlemede teorik ve deneysel analizler	31
Tablo 7.2. Min.20µm katarforez prosesi teorik ve deneysel analizleri.....	32

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1.Elektropolisaj öncesi ve sonrası mikroskopik görünümü.....	7
Şekil 3.2.Mekanik Elektrolisaj görüntüsü.....	7
Şekil 4.1. Yüzeyden Partikülün ayrılma mekanizması	11
Şekil 4.2. Yağın yüzeyden ayrılma mekanizması	12
Şekil 4.4. Kataforez banyosunda oluşan reaksiyonlar	15
Şekil 4.5. Kataforez kaplamada, elektrotta oluşan OH^- konsantrasyonu	16
Şekil 4.6.Kataforez banyosu akım–zaman grafiği	17
Şekil 4.7. Ultrafiltrasyon sistemi.....	17
Şekil 4.8.Kataforez kaplama, ultrafiltrasyon membran	18
Şekil 4.9. Boru şeklindeki membranla ultrafiltratın ayrılma prosesi	19
Şekil 4.10. Kataforez kaplama asit-baz dengesi.....	19
Şekil 4.11.(a) Anolit Devresi, (b) Çubuk Anot	20
Şekil 4.12. Kataforez kürlenme grafiği	21
Şekil 4.13. Kürlenme sıcaklık-zaman grafiği.....	22
Şekil 6.1. SEM (taramalı elektro mikroskop) cihazı	24
Şekil 6.2.Su direnci test cihazı	25
Şekil 6.3.Tuz sisi test kabini	29
Şekil 6.4.Taş çarpma test	30

Şekil 6.5. Çevrimsel korozyon test kabini.....	33
Şekil 7.1. Paslanmaz sacdan, 100x100 mm numune plaka.....	33
Şekil 7.2. 3000 büyütme SEM görüntüsü, yüzeyde 4-7 mic. kristal büyüklüğü	34
Şekil 7.3. 3000 büyütme SEM görüntüsü, yüzeyde 4 -8 mic. kristal büyüklüğü.	35
Şekil 7.4. 1000 büyütme SEM görüntüsü, yüzeyde seyrek kristal görünümü.	36
Şekil 7.5. Elektropolisaj yapılan ürün fotoğrafı.....	36
Şekil 7.6. Elektropolisajlı ürün 720 saat tuz sisi korozyon testi	39
Şekil 7.7. Parça aktivasyon süresi 30 sn. - fosfat kaplama süresi 5 dk.	38

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

ml	: Mili litre [Birim]
Dk	: Dakika [Birim]
min	: Minimum
dm	: Desi metre kare [Birim]
sn	: Saniye [Birim]
gr/l	: Gram/Litre [Birim]
μS	: Mikro simens [Birim]
cm	: Santimetre [Birim]
ms	: Metre saniye [Birim]
μm	: Mikro metre [Birim]
l/dk	: Litre/dakika [Birim]
ppm	: Parts per million
A/dm	: Amper/Desi metre [Birim]
EPD	: Electrophoretic deposition
KTL	: Cathodic lacquer
ED	: Elektro deposition
EO	: Etoksi
PO	: Proksi
EDS	: Enerji dağıtıcı spektroskop
ESCA	: Elektrok spektroskop
XRD	: X-Işın kırınımı
SRIRA	:Specular reflectanc infrared absorption
ESR	: Electro spin resonance
SEM	: Scanning electronic micrographs

CRS	: Cold rolled steel
UF	: Ultrafiltrat
DI	: Deiyonize
PVC	: Poli vinil klorür
DIN	: Deutsche institute norm
IR	: Infrared
VOC	: Votalite organic compound
Zn	: Çinko
Al	: Alüminyum
ISO	: International standart organization
EN	: European norm
CR	: Krom
AD	: Adhesion derecesi
ASTM	: American standart test method
γ	: Gama
α	: Alfa
Δ	: Delta
H	: Eta
$^{\circ}\text{C}$: Derece santigrat
$^{\circ}\text{F}$: Derece fahrenheit

1. GİRİŞ

Elektropolisaj kaplama otomotiv ana sanayii sektöründe paslanmaz metal kızığa özgün parlaklığı verme dekoratif işlemdir. Metal yüzeyinden anodik akım altında mikron boyutunda parçalar koparılır. Bu çalışma; elektropolisaj kaplamada çizik nedeniyle red olan kızaklara kataforez kaplama yaparak yüksek korozyon ve yapışma özelliğinin bir araya getirilmesidir. Paslanmaz kızığa redresörden anodik akım vererek, çeşitli kimyasallar içerisinde gloss miktarının artırılması işlemidir. Kimyasallar ve elektrik akımı yardımıyla olması nedeniyle "elektropolisaj" denir. Parlatılmış metalin kendi fiziksel özellikleri aynı kalır. Elektropolisaj öncesinde mekanik polisaj – kumlama -tufal alma yapılır. Elektropolisaj sonrasında süzülme, pasivasyon, ultrasonik yağ alma ve kurutma yapılır. Bu işlemler metalin stresinin giderilmesi, korozyon direncinin yükseltilmesi gibi korumalar sağlanır. Parça elektrolit, sıcaklık ve akım yardımıyla parlatılması yapılır. Parlatılacak olan metal pozitif (+) yüklü anot görevi görür. Özel materyalden imal edilmiş Katot ise DC çalışan bir güç kaynağının negatif (-) kutbuna bağlanarak işlem gerçekleştirilir. DC güç kaynağından gelen elektrik akımı elektrolit aracılığıyla anottan katoda iletilir. Elektrik akımı parçanın yüzeyindeki metal iyonlarının oksitlenmesine ve elektrolit içinde çözünmesine neden olur. Bu işlem, son derece küçük, sıkı bir şekilde kontrol edilen metal miktarlarını çözebilir ve bu da mikron seviyesinde yüzeyden metal koparmaya neden olur. (Euro Inox, 2010)

2. KOROZYON ÇEŞİTLERİ

2.1. Korozyon, Oluşumu ve Zararları

Metal ve alaşımlar çevresiyle etkileşime girerek korozyona uğrayabilmektedir. Korozyonun oluşması için elektrolit, anot ve katot olmalıdır. Elektrotlar, anot ve katot olup, farklı veya aynı metallerden olabilir. Aynı metal olması durumunda farklı elektrokimyasal gerilime sahip bölgeleri olmalıdır. Elektrolit, elektrik potansiyelindeki farkı ileten çözeltilerdir. Korozyon, elektrik potansiyeli farklı iki elektrot arasında olur. Korozyon sonrası çürüme, aşınma, kütle kayıpları ve bozulma olur. (Kalan, 2019)

Kimyasal korozyon, yüksek sıcaklıkta oksitleyici yapıda bulunan asidik veya bazik buharlar ve gazlar tarafından oluşur. Elektrokimyasal korozyon atmosferde bulunan çözünmüş su buharının, iletken olan bir çözeltili olması durumunda olur. Havadaki nemin korozyon veya metalin oksidasyonuna pozitif etkisi vardır. Metallerin elektrokimyasal korozyonu, katodik bir redüksiyon veya anodik bir oksidasyon reaksiyonudur. (Duyak, 2019)

Korozyon türleri,

- **Homojen dağılımlı korozyon**

Malzeme yüzeyinde eşit bir hızda gerçekleşen korozyondur.

- **Galvanik korozyon**

Birbirine benzemeyen elektrolit ortamda, elektriksel iletkenliğe bağlı olarak temasın meydana getirdiği korozyondur.

- **Çatlak korozyonu**

Mekanik olayların etkisi altında çatlak oluşumuyla meydana oluşur.

- **Çukur korozyonu**

Belirli bir bölgede meydana gelir.

- **Atomlar arası korozyon**

Atomlar arasında meydana gelen İç yapısındaki korozyondur.

- **Hız etkili korozyon**

Bir akışkan içerisinde oluşan korozyondur. Akışın yüksek hızlarda seyrettiği bölümlerde kavitasyon korozyonu, hızlı seyrettiği bölümlerde erozyon korozyonu olur.

- **Aşınma korozyonu**

Sürtünen yüzeyler arasında oluşan titreşim ve yük ile aşınma korozyonu meydana gelir. (Topal, 2016).

- **Yüksek sıcaklık korozyonu**

Yüksek sıcaklık nedeniyle oluşan korozyondur. Metal veya alaşım olan parçaları, Korozyondan korunma için koruyucu kaplama (Zn -Fe + kataforez /Zn -Ni + kataforez vb.), malzeme seçimi ve tasarım aşamalarında (paslanmaz ile galvanizli paraca aynı mekanizma üzerinde tasarlanması, kaplamanın korozyon direncine negatif yönde etki etmesine neden olmaktadır. vb.) korozyon oluşumu önlenir.

3. ELEKTROPOLİSAJ KAPLAMA

3.1. Elektropolisaj Kaplama Tanımı

Elektropolisaj, metalin veya alaşımların Asidik karakterli kimyasallar içerisinde redresörden anodik akım verilmesiyle, belirli sıcaklıkta parçanın yüzeyinin düzleştirme işlemidir. Pürüzsüz yüzey ışığı daha iyi yansıtır ve parça yüzeyi parlak gözüktür. Parlatılacak olan metal pozitif (+) yüklü anot görevi görür. MOHAN, S (2001)

Özel materyalden imal edilmiş Katot ise DC çalışan bir güç kaynağının negatif (-) kutbuna bağlanarak işlem gerçekleştirilir. DC güç kaynağından gelen elektrik akımı elektrolit aracılığıyla anottan katoda iletilir. Elektrik akımı parçanın yüzeyindeki metal iyonlarının oksitlenmesine ve elektrolit içinde çözünmesine neden olur. Bu işlem, son derece küçük, sıkı bir şekilde kontrol edilen metal miktarlarını çözebilir ve bu da mikron seviyesinde yüzeyden metal koparmaya neden olur. (ASTM B 912 -02 Standard) Yüzeyden metal koparma miktarı aşağıdaki faktörler tarafından kontrol edilir:

- Elektrolitin kimyasal bileşimi
- Elektrolitin banyo içerisindeki hacmi ve DC güç kaynağı kapasitesi
- Elektrolitin sıcaklığı
- Elektropolisaj süresi
- Elektrik akımının yoğunluğu, amper / dm² olarak
- Elektropolisaj işlemi yapılacak olan metal alaşımın bileşimi
- Elektropolisaj işlemi yapılacak olan metalin geometrik şekline göre askılama

tasarımı

Metal yüzeyinde kesme kaynaklı çapakları ve bükme (roll form) sırasında oluşan çizikleri ve metal yüzeyindeki oksidasyonu 15-30 mikron kalınlığındaki metali yüzeyini çözererek (10 dk- 6 amp/dm² -sıcaklık 40-42 °C) parlatması (pürüzsüleştirme) sağlanır. Elektropolsaj yapılan banyo ısınır, Soğutma işlemi otomatik chiller ünitesinde yapılır. Elektropolisaj banyosu kurulum 100 kg olarak-kimyasal olarak (H₂SO₄ Sulphuric acid, , density 1.84 g/mL= 95-97% -- 43 kg (23 L) & H₃PO₄ Phosphoric acid, density 1.69 g/mL= 85% -- 52 kg (31 L) & Additive 5 kg (approx. 3.5L) içerikli kullanılmaktadır. Elektropolisaj işleminden sonra süzme ve durulama daha sonra nötrleme banyosuna HNO₃ içerikli olarak, özel oranlarda hazırlanır. MacDermid Enthone, POLSTAR RST 2K TDS (2019)

3.2. Elektropolisaj İş Akışı

Elektro polisaj işlemi 3 ana procesten oluşmaktadır. Ön işlem-yüzey hazırlama prosesi, elektro kaplama prosesi, son işlem-korozyon artırma prosesidir (Tablo 3.1)

Tablo 3.1. Elektropolisaj prosesi iş akışı

ÖN İŞLEM				ELEKTROKAPLAMA				SON İŞLEM- KOROZYON DİRENCİ ARTIRMA						
MEKANİK POLİSAJ	KUMLAMA	TUFAL ALMA	DURULAMA	ÖN PARTLATMA	DURULAMA	ELEKTRO POLİSAJ	SÜZÜLME	DURULAMA	PASİVASYON	DURULAMA	ULTRASONİK YAĞ ALAMA	DURULAMA	SICAK DURULAMA	KURUTMA

3.3. Mekanik Polisaj-Kumlama

Mekanik polisaj işleminde alüminyum oksitler ve silisyum karbürden yapılan şerit zımparalar kullanılır. Alüminyum oksit zımparalar, yüksek dayanımlı karbon ve alaşımlı çelikler için kullanılmaktadır. Silisyum karbür alaşımlı zımparalar sert ve gevrek malzemeler için kullanılır. İş parçasının kimyasal özellikleri, seçim yapılırken dikkate alınır. Mekanik polisaj işlemi, 316 ve 304 dahil tüm paslanmaz kalitelerinde yapılır.

Kumlama işleminde, müşterinin istemiş olduğu gloss ve korozyon dayanımı isteğine göre S10 kum tanecik boyutu seçimi yapılır. Parça yüzeyinde homojen kumlama olmalı. Parça üzerinde mekanik polisaj izi olmamalıdır. Yüzey pürüzlendirme işlemleri için sivri köşeli kumlar, yüzey parlatma işlemleri için yuvarlak şekilli kumlar kullanılır. Paslanmaz çelik bilyeler, paslanmaz çelik kumlamasında kullanılır.

Kumlama makinesi içine asılan parça kendi etrafında döner ve kumlama nozulları aşağı yukarı hareket etmesi ile parçanın tüm yüzeyinde , aynı şekilde kumlama işlemi meydana gelir. Bükme (Rollform) kaynaklı çizikleri ve kesme çapaklarının alınmasında kumlama işlemi etkilidir.

3.4. Tufal Alma

Tufal alma nitrik asidin aşındırıcı etkisi kullanılarak yüzeydeki çapak, kaynak noktalarında kalan tufal ve yağ kalıntıları alınır. Banyo kurulumu 1000 ml için (Nitrik asit % 68 d=1,51 165 ml /mL—Water 722 ml /mL & Additive 112 ml/ Lt içerikli) kullanılmaktadır. Elektropolisaj kaplamada kumlamadan çıkan parça üzerindeki kumlama kalıntıları bu banyoda alınmaktadır. Elektropolisaj banyosu öncesi ön temizlik tufal alma banyosunda yapılması nedeniyle banyo konsantrasyonu önemlidir. Elektropolisaj hattında en uzun süreli (10 dk.) banyo olması nedeniyle banyo adedi hat kapasitesine göre 2 veya daha fazla yapılabilmektedir.

3.5. Ön Parlatma

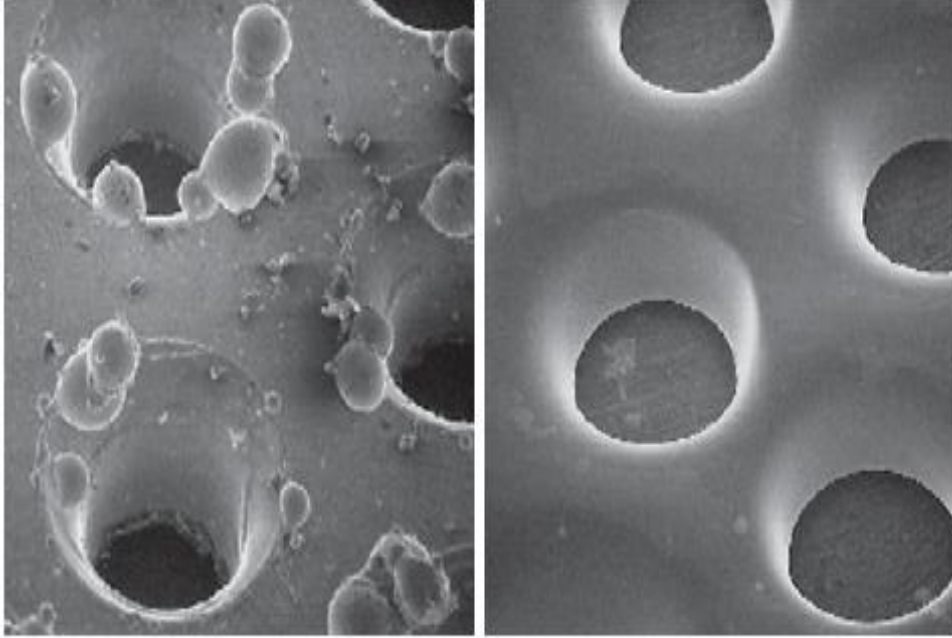
Elektropolisaj banyosu öncesi, ön elektropolisaj işlemidir. Elektropolisaj banyosu giren parça miktarına göre değiştirilir. Değişim periyodu geldiğinde, ön parlatma banyosuna alınır. Dolayısıyla atık kimyasal tekrardan kullanılır. Ana elektropolisaj banyosu değişim periyodu uzar ve kimyasal tüketimi azalmış olur.

3.6. Elektropolisaj

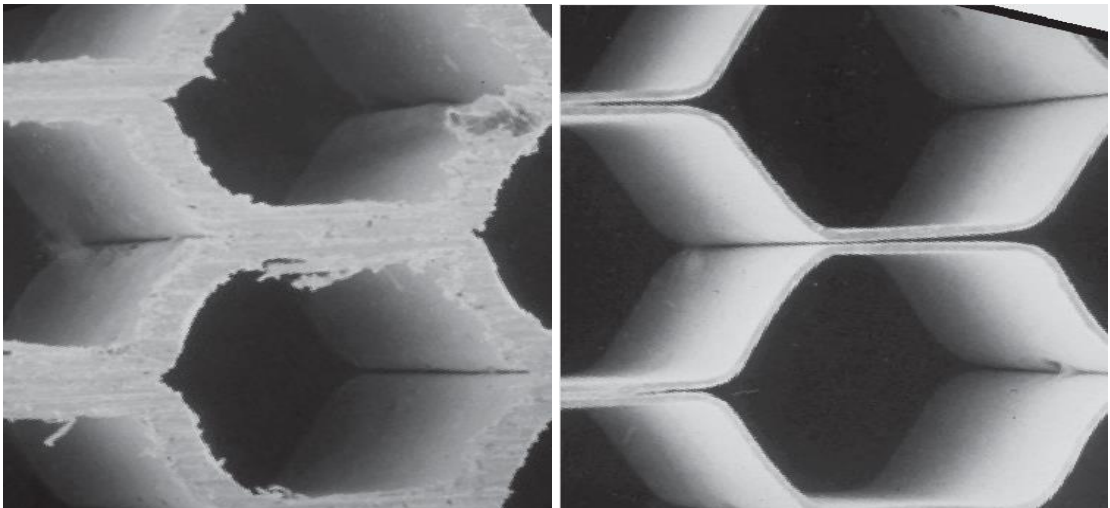
Elektropolisajda metal yüzeyinden krom atomlarına kıyasla demir ve nikel atomları, daha kolay alınır. Elektropolisajda tercihen demir ve nikel atomları uzaklaştırmakta ve kromca zengin parlak bir yüzey oluşmaktadır. Farklı sıcaklık, akım ve kumlama süreleri kullanılarak elektropolisaj kaplamada çizik nedeniyle red olan kızaklar minimum seviyeye (Çalışma sıcaklığı 8 dk- 6 A/dm²-sıcaklık 40-42 °C) düşürülmektedir. ISO 15730. (2000)

İlk aşamada tırnağa gelen çizik kızaklar kataforez kaplama işlemine alınmıştır. Kataforez kaplama fosfatlama malzemenin yüzeyi ince bir fosfat tabakasıyla kaplanarak korozyona direnci artırılmıştır. Otomobil parçası paslanmaz sac olması nedeniyle farklı fosfatlama süreleri ile katoforez boya uygulanması sağlanmıştır. Çalışma sıcaklığı 28-35 derecedir.

Paslanmaz çeliklerde yapısal ve fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla parçaların SEM (taramalı elektron mikroskopisi), korozyon testleri analizlerinden yararlanılmıştır (Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.)



Şekil 3.1. Elektropolisaj öncesi ve sonrası mikroskobik görünümü.



Şekil 3.2. Mekanik elektrolisaj görüntüsü

Kaynak: (Delstar - Electropolishing, A User's Guide to Applications 2003)

3.7. Pasivasyon

Elektropolisaj işleminden sonra süzme ve durulama işleminden sonra nötrleme banyosu sudur. Bu banyoda süre 2 dk. dır.

3.8. Ultrasonik Yağ Alma

Kaplanacak olan parçanın yüzeyindeki yağın kimyasal olarak temizlenmesi amacıyla daldırma yöntemi uygulanır. Ultrasonik yağ alma işlemi 60-70 °C sıcaklıkta 5 dakika süreyle uygulanır. Ultrasonik yağ alma banyosunda NaOH ve ilave kimyasallar kullanılmaktadır. Elektrik kullanarak banyo içinde sondalar yardımıyla titreşim oluşturulur ve titreşim ve kimyasal yardımıyla malzeme yüzeyindeki polisaj kimyasalı kalıntıları çözeltilmeye alınır.

3.9. Deiyonize Sıcak Durulama

Durulama işlemi 50-60 °C sıcaklıkta, 5 dk. süreyle daldırma olarak uygulanır. Banyoda kullanılan saf suyun iletkenliği kurulumda 10 ms dir.

3.10. Kurutma

Kurutma işlemi 70-80 °C sıcaklıkta 5 dakika süreyle uygulanır. Kurutma yeterli olmadığında parça yüzeyinde su kalması nedeniyle leke ve paslanma olacaktır.

4. KATAFOREZ KAPLAMA

Kataforez kaplama otomotiv endüstrisindeki yüksek korozyon performansı beklentisine sahiptir. Kataforez kaplama ilk kat (astar) olarak metal yüzeyine uygulanır. Elektrik alanı altında iletken metal malzemeler üzerine, Saf su içerisinde süspansiyon olmuş boya partiküllerinin çöktürülerek boya filmi oluşmasıdır. Tuz testi direnci oldukça yüksektir. Parça üzerindeki yağlar alındıktan sonra, Tri katyon fosfat + min. 20 mikron kaplama işlemi yapılarak 1000 saat tuzlu sis korozyon dayanımı sağlanabilir.

Kataforez kaplama su bazlı olması nedeniyle çevreci kaplamadır. Arıtma kolaylığı nedeniyle bosta otomotiv endüstrisi olmak üzere tercih edilmektedir. İlk yatırım maliyeti yüksektir. Geri kazanımı sistemi ile mükemmel verimlilik sağlar. Keskin köşe, kapalı hacimler ve kaynaklı bölgelerde homojen kaplanma sağlar.

Otomotiv Ana Sanayi teknik Şartnamelerinde kataforez dört farklı şekilde tanımlanmaktadır. (Lawrance, 1963)

- Asya ED Paint – Elektrodeposition paint
- ABD E - Coat – Elektro Coat
- Almanya KTL – Katodik lacquer
- Avrupa Cataphoresis

4.1. Yüzey Hazırlama Prosesi

Tablo 4.1.'de kataforez iş akışı görülmektedir.

Tablo 4.1. Kataforez iş akışı

ÖN HAZIRLAMA						KAPLAMA		KÜRLEME	
YAĞALMA	DURULAMA	AKTİVASYON	TRİ KATYON FOSFAT KAPLAMA	DURULAMA	PASİVASYON	SAF SU DURULAMA	KATAFOREZ ANA BANYO	ULTRAFİLTRASYON DURULMA	PIŞİRMESİNİ

Tablo 4.1.'de gösterilen kataforez kaplama prosesi;

Yüzey hazırlama prosesi

Elektro-kaplama prosesi

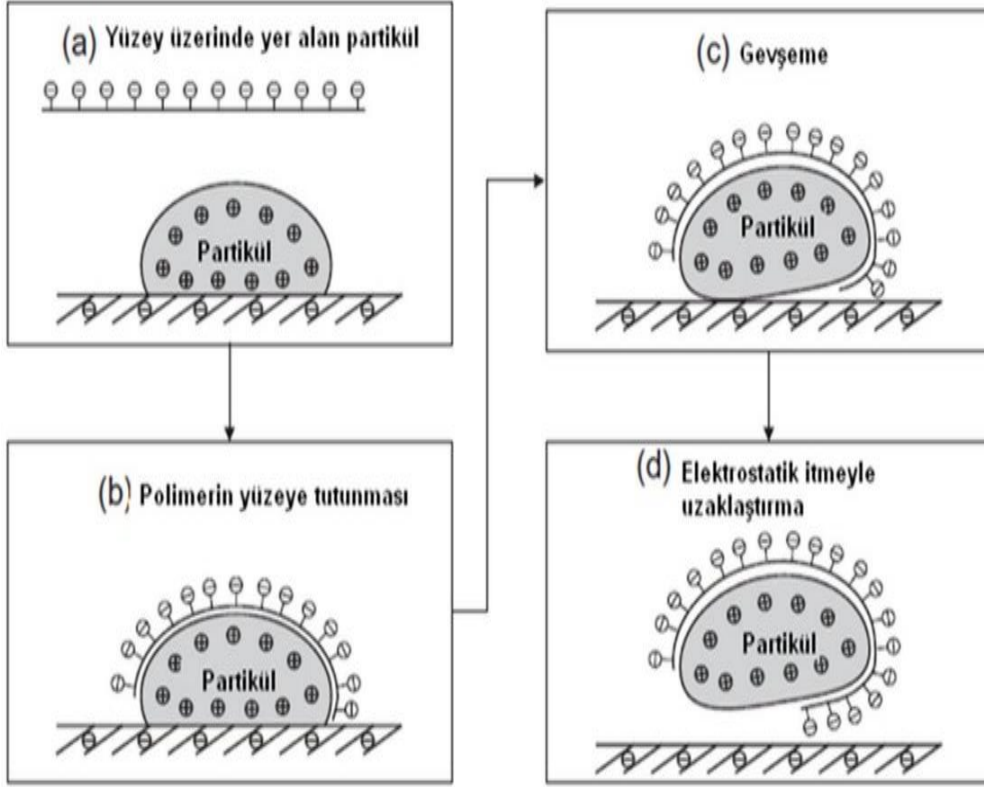
Kürleme prosesi olmak üzere üç aşamadır.

Yağ Alma

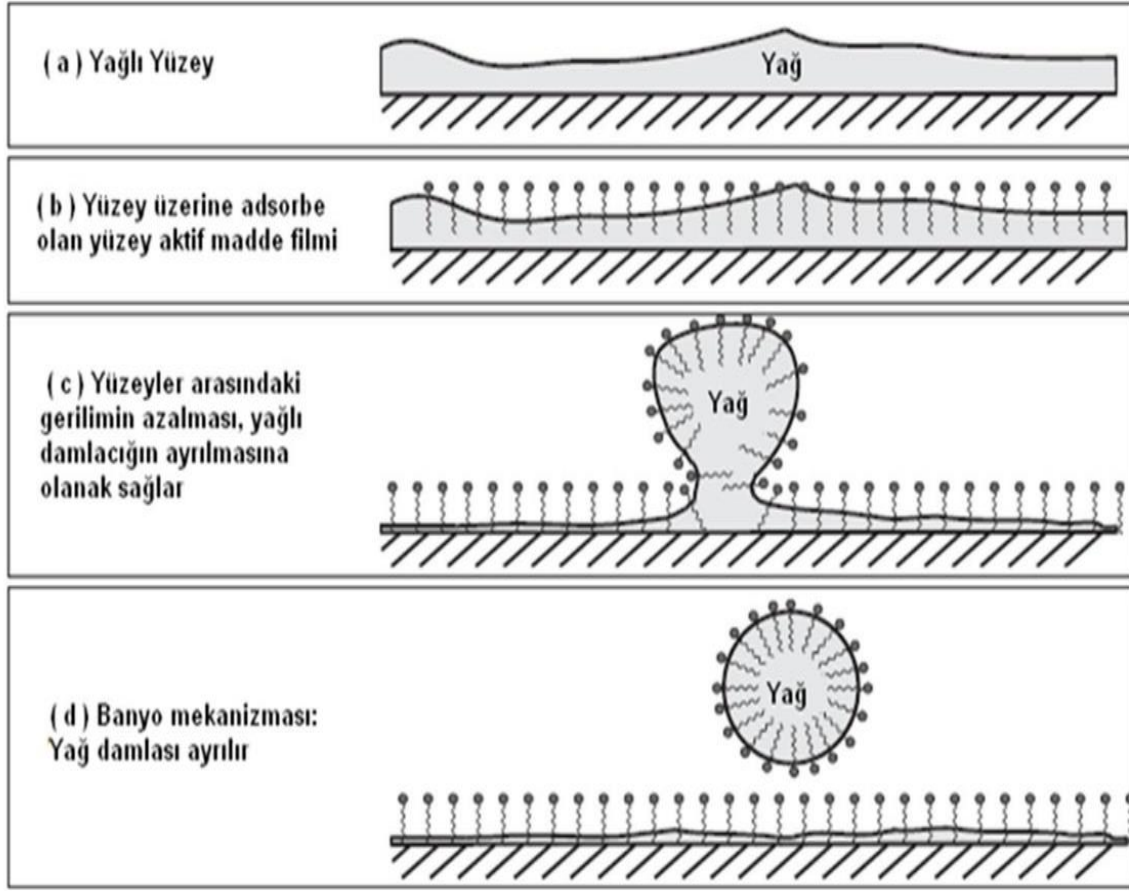
Kataforez kaplama yapılacak malzemenin üzerindeki yağın, metal tozunun alınıp, çinko fosfat öncesi kaplamaya uygun hale gelmesi sağlanır. Yüzey hazırlama prosesi tam yapılması kaplamamın yapışması ve korozyon testlerinde olumlu sonuç alınmasına etkisi büyüktür.

Yağ alma banyoları alkali ve asidik karakterli yüzey temizleyici banyolardır. Sıvı veya toz şeklindeki kimyasallar ile kullanılabilir. Yağ almanın görevi metal üzerindeki kirlilikleri almaktır. Yağ alma kimyasalı içindeki yüzey aktif maddeler, yağları ve organik atıkları metal yüzeyinden alır. Sprey ve daldırma yöntemiyle uygulanabilir. Alüminyum, çinko

demir ve çinko Nikel kaplı metaller, alkali multi metal kimyasalar ile temizlenir. Alüminyum ve çinko kaplı metal yüzeylerinde aşınmaya karşı yüzeyi korumak için borat ve silikat gibi inorganik inhibitörler kullanılır. Beyaz leke oluşmasının nedeni Borat ve silikat gibi inhibitörlerin eksikliğidir. (Kılınç, 2019)



Şekil 4.1. Yüzeyden Partikülün ayrılma mekanizması



Şekil 4.2. Yağın yüzeyden ayrılma mekanizması

Kaynak: (Kılınç, 2019:4-7)

4.2. Aktivasyon

Aktivasyon işlemi fosfat prosesinin etkinliğini artırır. Bunun sonucu olarak birim yüzeyde, Tri katyon fosfat kristali adet ve boyutu artar. Yüzeydeki fosfat kaplama ağırlığı 2-4 gr/ m² olması sağlanır. Aktivasyon banyosunun etkinliği (Titanyum fosfat kolloidi) geçen parça adedinden bağımsız olarak zamanla azalır. Saf su ile kurulmalıdır. Aktivasyon banyosunda Titanyum fosfat dispersiyon kimyasalı banyo içinde askıda olması gereklidir. Sürekli karıştırılması ile çökmesi önlenir. Karıştırma hızı fosfat kristal yapısına önemli bir etkisi vardır. Kataforez banyosu saatte max. 5 kez devir – daim edilmelidir.

4.3. Fosfat Kaplama

Ön işlem proseslerinde Tri katyon fosfat çok yaygın olarak kullanılır. Yağlama ve adezyon özelliği nedeniyle Tri katyon fosfat kaplama, otomotiv beyaz eşya, mobilya, savunma, genel endüstri ve tarım sektörlerinde yaygın olarak kullanılır.

Tri katyon Fosfat kaplamanın kristal yapısı, ön hazırlama metodu, sıcaklık ve banyo konsantrasyonuna bağlıdır. Tri katyon Fosfat kaplamada Hepoitler ve fosfolitler önemlidir. Banyo ilk kurulumunda banyoya paslı demir konulup fosfat banyosunda toplam demir miktarını artırıp kaplamanın oluşması sağlanır. Tahribatsız Tri katyon fosfat kaplama ağırlığını, cihaz ile metal üzerindeki kaplama kalınlığını direkt olarak speküler yansıma kızılötesi emilimi ile analiz etmektedir. Metal yüzeyinde oluşan fosfat kristalleri üzerine kataforez ve toz boya kaplamanın nedeni, adezyonu ve korozyon dayanımını artırmasıdır. Kataforez kaplama öncesi tri katyonlu çinko fosfat kaplama yapılır. Mn^{+2} iyonlarının varlığı fosfat kaplamanın oluşum hızı artar. Düşük sıcaklıkta çalışmaya olanak sağlar ve enerji tüketimine olumlu yönde katkı sağlar. Galvanizli ve çinko kaplı metal üzerinde beyaz beneklerin oluşmasını önlemek için Tri katyon fosfat içinde Mn^{+2} iyonları yeteri miktarda olmalıdır. Mn^{+2} iyonları miktarı aşılması korozyon direncinin azalmasına sebep olur. Tri katyon Fosfat banyosundaki Ni^{+2} iyonları korozyon dayanımını arttırmaya ve yüzeyindeki adezyonu artırır.

Fosfat kaplamada ilk iş serbest fosforik asit ile metal yüzeyinden demir taneciklerini almaktır. Banyoda biriken Fe II değerlikli hali Fe III değerlikli hale getirip çöktürme reaksiyonu ile çamur olarak banyo tabanına çökmesi sağlanır. Banyo tabanı huni şeklindedir. Çamur banyo dibinde huni şeklinde kısımda birikip, filtre pres yardımıyla süzülerek alınır. Filtre presten çıkan kek halindeki çamur lisanslı bertaraf firmalarına gönderilir.

Çelik yüzeyinden gelen demir iyonları, Zn, Ni, Mn iyonları ve fosforik asitle beraber tri katyon fosfat kaplamanın yüzeyde oluşmasını sağlar. (Zimmermann vd, 2003)

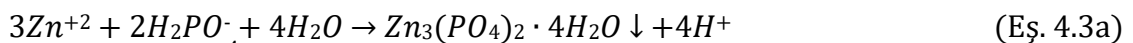
Pickling reaksiyonu:



veya



Kaplama oluşumu:



Çamur Oluşumu:



Fosfat proseslerinde çamur oluşur, filtrepres tekniği ile uzaklaştırılması sağlanır. Fosfat banyosunda çamur miktarının artması Sodyum nitrit (hızlandırıcı) fazla dozlanması nedeniyle olur. PLC yardımıyla banyoya giren askı m² hesaplama yapılarak banyoya, hızlandırıcı ve Fosfat kimyasalı dozlanır. Dozajlama banyonun farklı noktalarından askıya uzak kenar köşelerden yapılmalıdır. Bu ayrıntılar, çamur miktarı ve fosfat kaplamanın kalitesini artırır. Dozaj miktarları ve banyo sıcaklıkları her vardiya başında kontrol edilmelidir.

Paslanmaz çelikte (316 ve 304 kalite) krom, nikel ve demir toplam konsantrasyonu 800 ppm'e aştığı için fosfat kaplama yok denecek kadar azdır. Fosfat kaplama ağırlığı karbon, fosfor, sülfür, mangan ve silisyum miktarına göre değişiklik gösterir. Düşük karbonlu çelikler kolaylıkla fosfatlama yapılabilir. Çelikte karbon miktarı arttığında fosfat kaplama ağırlığı azalır. Paslanmaz çeliklerde (316 ve 304 kalite) fosfat kaplama ağırlığı yok denecek kadar azdır. (Sankara N, 2005).

4.4. Pasivasyon

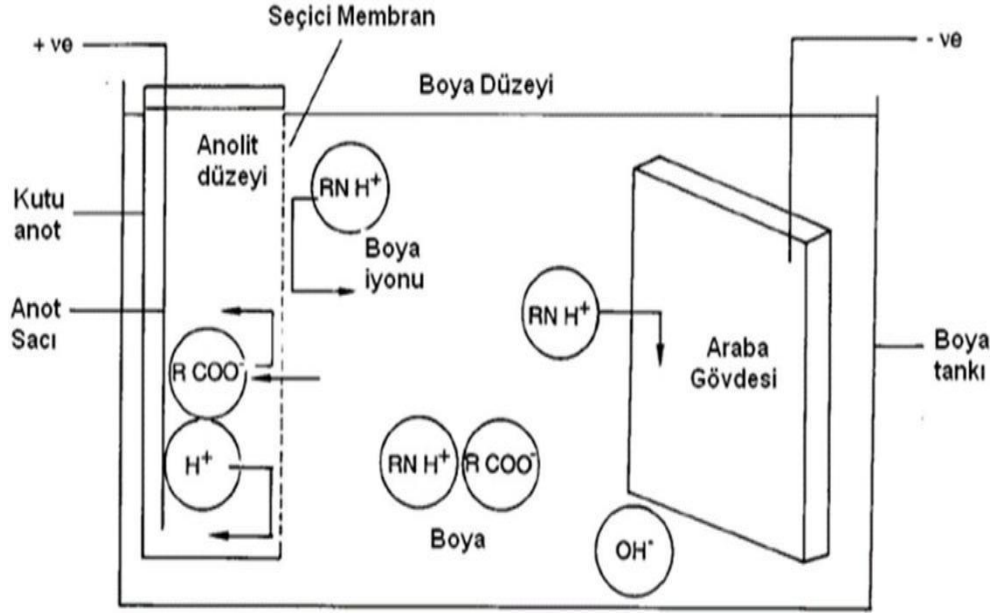
Fosfat kaplı metal sac üzerindeki fosfat kristalleri arasında, boşluklar vardır. Pasivasyon işleminde bu boşluklar zirkonyum tanecikleri ile doldurması sağlanır. Otomotiv üreticileri tarafından zirkonyum temelli çözeltiler ile yapılan pasivasyon işlemi etkin olmadığı için kullanılmamaktadır. Onun yerine üç kademeli saf su ile yıkama işlemi yapılmaktadır. (Satake M. Nagahiro, 1990).

4.5. Deiyonize Durulama

Kataforez kaplama öncesi saf su ile durulama yapmak, kataforez kaplama banyosuna iyon taşınımını engellemektir. Bu iyonlar kataforez kaplama sonrasında yapışma performansını doğrudan etkilemektedir. Kataforez Kaplama hattını besleyen Saf su ünitelerinde çıkış suyunun iletkenlik ve pH her vardiya kontrol edilir. Kum – Karbon ve ultrafitrasyon üniteleri temizliği cihaz tarafından otomatik ters yıkama ile yapılır. Saf su ünitesi ters yıkama yaptığında saf su üretimi durmaz. Saf suyun iletkenliğini (20 °C'de) cihazdan çıkış max.10 µs/cm olması olmalıdır.

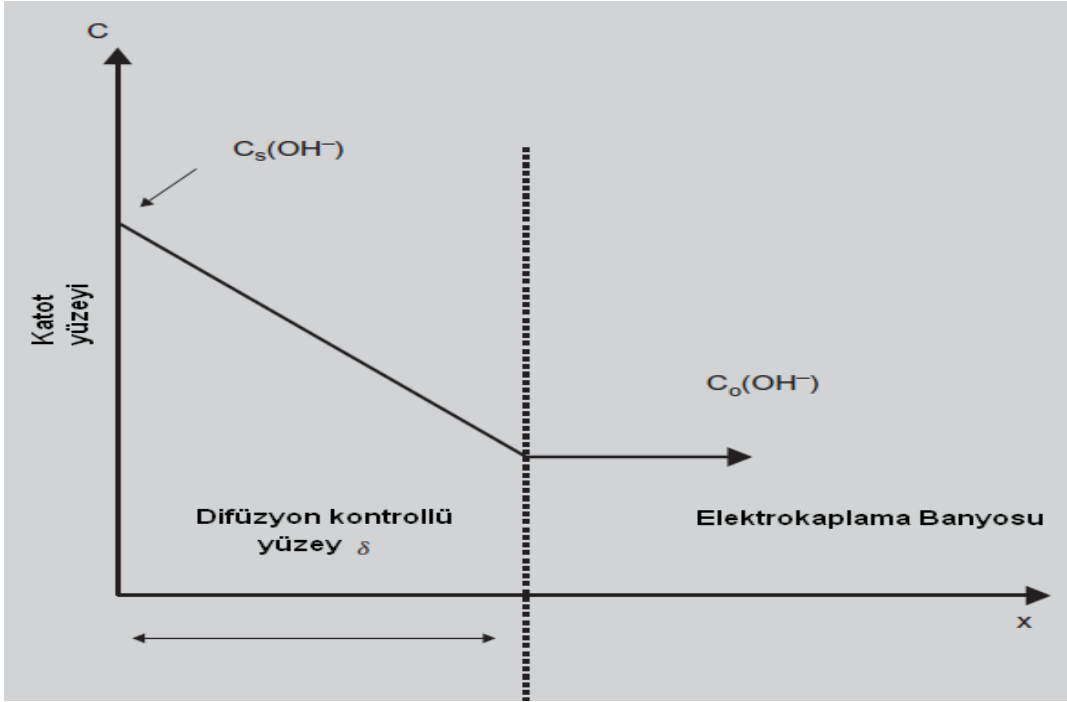
4.6. Katarforez Kaplama Banyosu

Katarforez banyosu %80 Saf su, %10 Reçine, %7 Pasta ve diğere bileşenler (solventler) %3 yer alır (Şekil 4.4.)



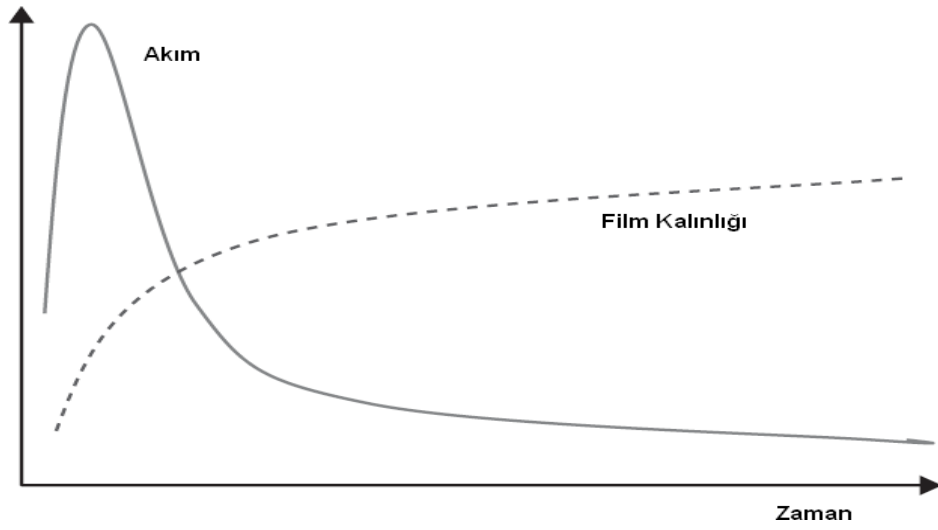
Şekil 4.4. Katarforez banyosunda oluşan reaksiyonlar

Katarforez kaplama olabilmesi için pH değışimi önemlidir. pH her vardiya kontrol edilmelidir. Düşük pH da kaplama yapılamaz.



Şekil 4.5. Katarforez kaplamada, elektrotta OH^- konsantrasyonu

Katarforez banyosuna giren baranın film kalınlığı, voltaj, anot alanı ve anot ile askı arasındaki mesafe hesaplanarak belirlenir. Hesaplama 2- 3 dk da 20 μm film kalınlığına oluşumu hedeflenmektedir.

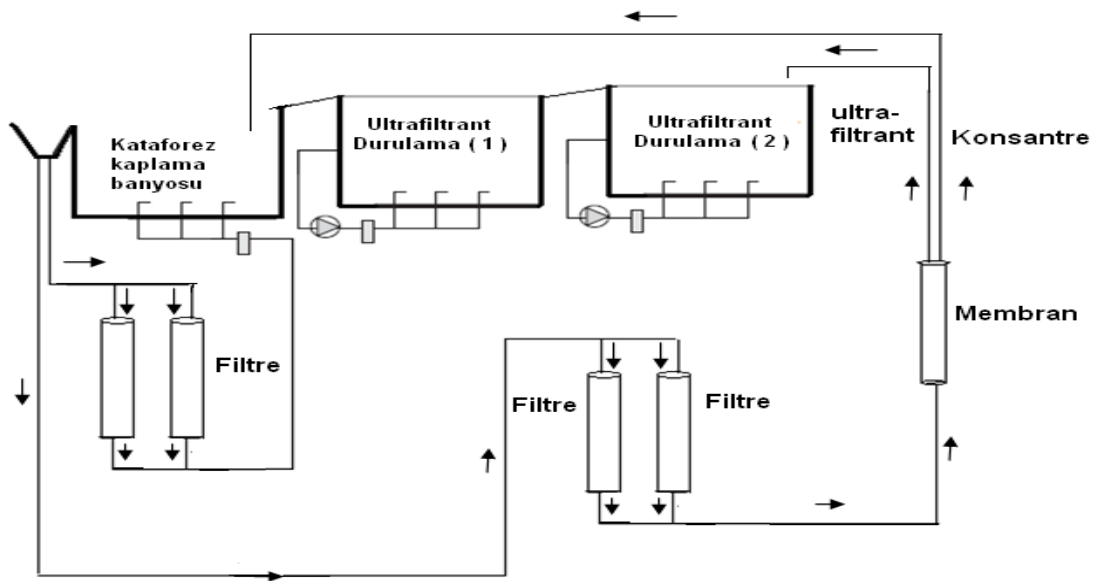


Şekil 4.6.Kataforez banyosu akım-zaman grafiği

Kataforez kaplama tankı boya akış- sirkülasyon hızı 0,3 m/s olmalıdır. Kataforez banyosunun saatte max. 5 kez çevrim yapılıdır. Örnek olarak banyo 10 bin litre ise sirkülasyon pompası seçimi saatte, 40 bin litre pompalayabilme kapasitesinin olarak gereklidir. Katı, kül miktarının değişimi, banyonun iletkenliği, voltaj, sıcaklık ve solvent miktarı günlük analiz edilmelidir. Banyo içinde çevrim yüksek olduğunda akış hızında kataforez kaplama kalınlığında azalma olmaktadır. (Satake ve Nagahiro, 1990)

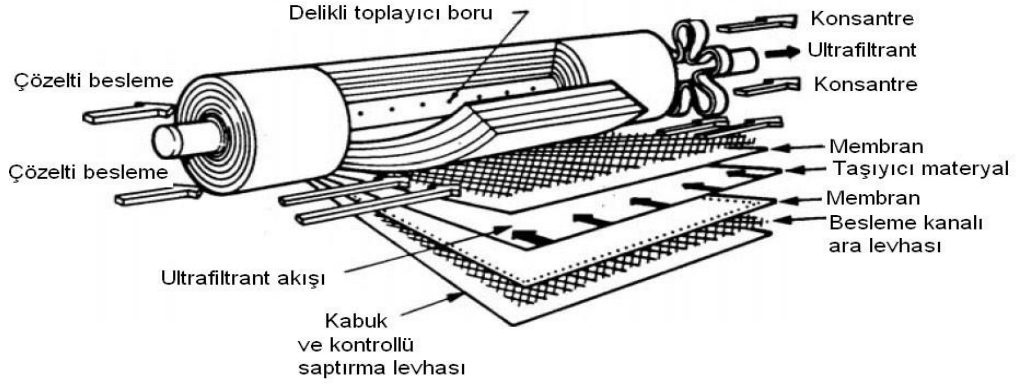
4.7. Ultrafiltrasyon Banyoları

Ultrafiltrasyon membran ile boya ve ultrafiltrantı birbirinden ayırma işlemidir.



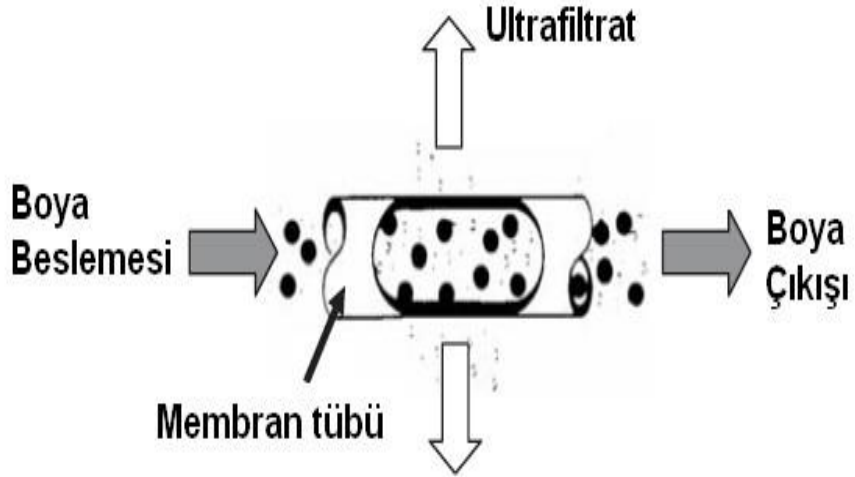
Şekil 4.7. Ultrafiltrasyon sistemi

Kataforez kaplama UF durulama banyosundaki katı miktarı artar. UF (1) %1–2 , UF (2) %0,5–1,0 katı miktarının olmalıdır.



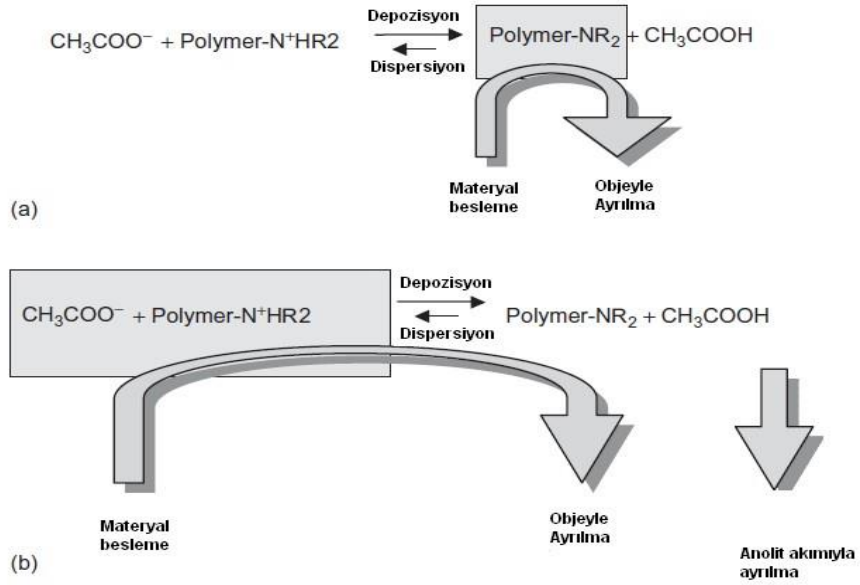
Şekil 4.8. Kataforez kaplama, ultrafiltrasyon membran

4.8. Anot Sistemi



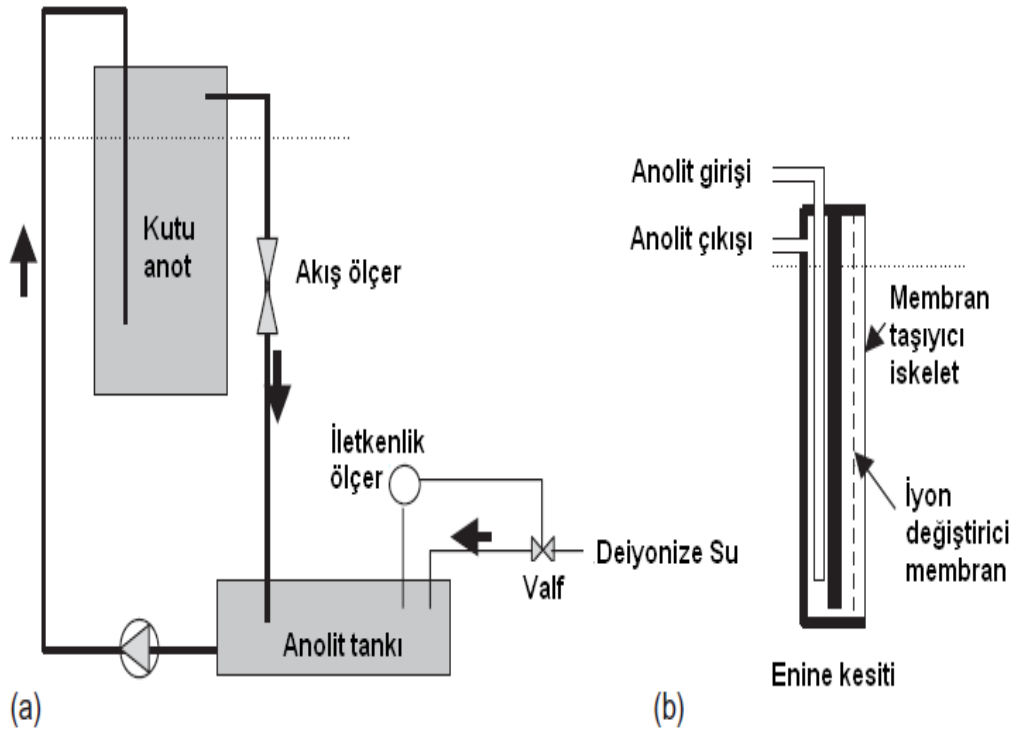
Şekil 4.9. Boru şeklindeki membranla ultrafiltratın ayrılma prosesi

Anot sistemi kataforez kaplama için önemli bir süreçtir.



Şekil 4.10. Katarforez kaplama asit-baz dengesi

Anot hücresinde kullanılan saç, çelik alaşım, 316L kalitesinde paslanmaz boru malzemeli olmalıdır. İletkenlik değeri üst limite 1400 μS e ulaştığı zaman, PLC anolit tankı saf su valfını açar ve anolit tankındaki şamandıra yardımıyla seviyesi tamamlanır.

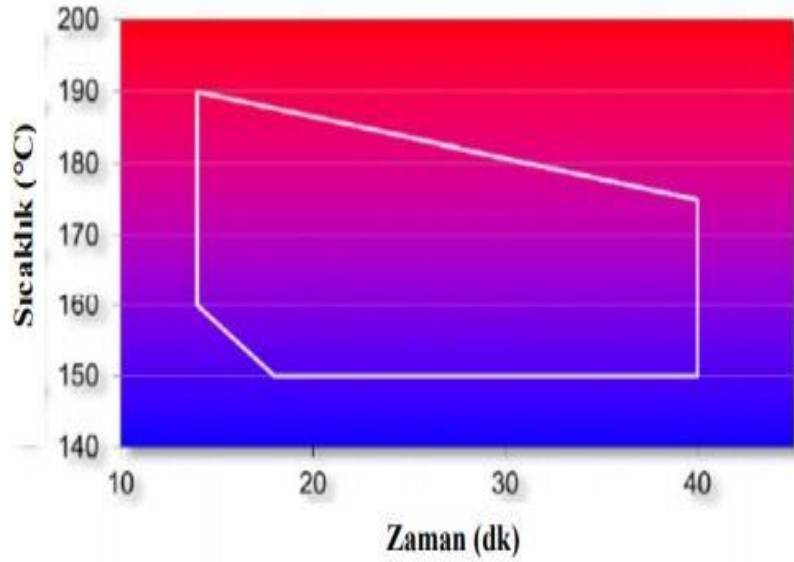


Şekil 4.11.(a) Anolit Devresi, (b) Çubuk Anot

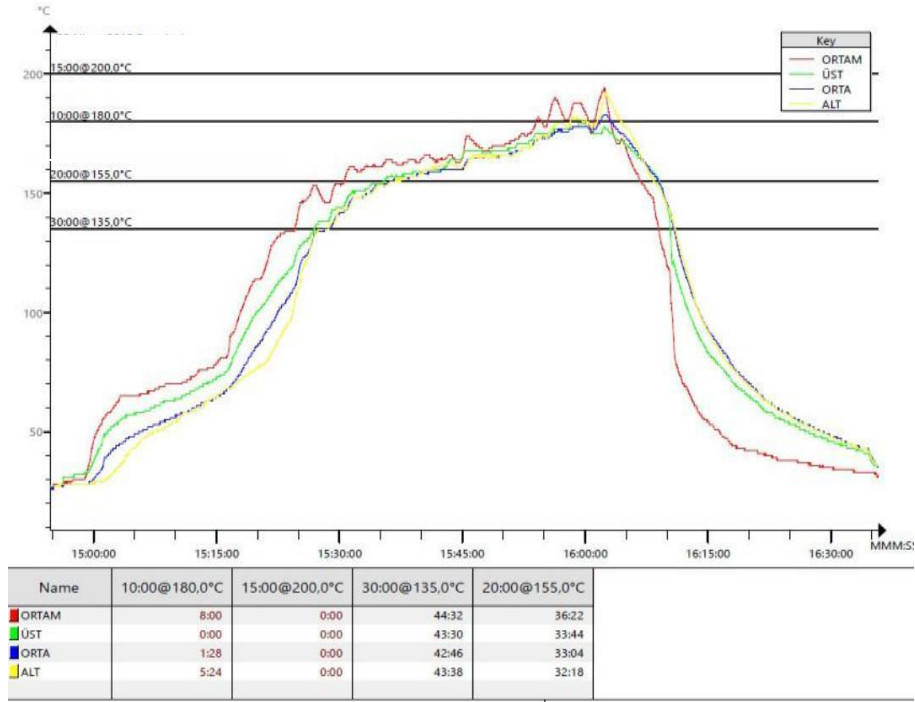
Kataforez banyosunda Kaplama işleminde çözücüler ayrılır ve banyoda birikir. Anolit tankı uzun süre çalışmadığında, çözücü banyoda birikir ve metal üzerindeki boyayı mekanik olarak sökmeye çalışır. Anolit sistemi, banyoda biriken çözücünün fazlasını banyodan uzaklaştırır. Anot üzerindeki iyon seçici membran, çözücünün banyodan anolit sıvısına geçmesini sağlar. Anolit tankı iletkenliği çözücülerin eklenmesi nedeniyle artar. İletkenlik değeri ulaştığında (yaklaşık 1500 μ S), otomatik olarak PLC tarafından, tank içindeki sıvı boşaltılır ve saf su ile doldurulur. Banyo içinde kaplanacak m² alan anot / katot oranına (1/4) bağlıdır.

4.9. Kürlenme Prosesi

Piştirme fırınından kürlenme hangi sıcaklıkta ne kadar duracağı, kürlenme olup doğru şekilde gerçekleşmesi için fırında homojen bir ısı dağılımı, ısı enerjisinin parçalara doğru bir şekilde iletilmesi ve hassas bir sıcaklık kontrolü olmalıdır. Fırınlar sıcak hava sirkülasyonludur. Kataforez kaplanmış malzemeler konveyör fırınlarda kürlenmesi zorunludur. Konveyör fırınlarda ani sıcaklık yükselmesi olmaz. Sıcaklı yavaş şekilde yükselir ve cehennem bölgesinde max sıcaklığı görür ve çıkış bölgesinde malzemeler başlangıç sıcaklığında geri döner. Kürlenme olması için metal sıcaklığında, 150 °C'nin üzerinde min. 15 dk. kalmalıdır.



Şekil 4.12. Kataforez kürlenme grafiği



Şekil 4.13. Kürlenme sıcaklık-zaman grafiği

Fırında, kaplama film ağırlık kaybı %8-18 aralığındadır. Fırın egzoz bacasındaki her metre küp için organik emülsiyon konsantrasyonu 1-2 gr'dır. VOC (volatile organic component) Uçucu organik bileşikler ,emülsiyon tüzüğüne göre baca gazı ölçümleri lisanslı firmalarca yönetmeliğin belirttiği süre içinde yapılmaktadır. Fırın içerisine parçanın metal sıcaklığında az veya çok kalması adezyon yetersizliği gibi film performansında etkiler. Kürlenme sıcaklığı ve süresi az olduğunda, kataforez kaplı parça yüzeyinde çizilme olur. Kürlenme sıcaklığı ve süresi fazla olduğunda, kataforez kaplı parça yüzeyin kavrulma olur. (Athey, 2003).

5. LİTERATÜR TARAMASI

Kataforez kaplamada yatay yüzeylerde pürüzlülük ve matlaşmaların neden kaynaklandığı araştırılmış (Tekkalmaz, 2010) ve araştırmanın sonucunda, banyo içerisindeki çözünmüş demir ve fosfat fazla olmasından kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Kataforez banyosunda demir ve fosfat miktarının fazla olması, görsel hatalara nedeni olduğu belirlenmiştir. Yağ almalara miknatıs filtre ve kataforez banyosu öncesi saf su banyosu kaskat durulama yapıp, kataforez banyosunda demir ve fosfat miktarının azaltılması sağlanmıştır. Fosfat banyosundan çıkan askılara süzülme süresi düzenlemeleri yapılmıştır. Sonuç olarak kataforez banyosundaki istenmeyen iyonlar azaltılmıştır.

Kataforez kaplama üzerine, solvent bazlı lamelli kaplama ve su bazlı lamelli kaplama yapılabilirliği incelenmesi yapılmış. (Kılınç, 2019) Kataforez kaplama ile su bazlı çinko lamelli kaplamanın, uyum sağlamadığı gözlenmiştir. Kataforezin hidrofobik özelliği nedeniyle çinko lamelli kaplamayla gerekli reaksiyona giremeyip, kataforez kaplı yüzeye tutunamamaktadır. Kataforez kaplamaya bağlayıcılık - katı/kül oranı gibi parametreler değiştirilerek hidrofilik özelliği kazandırılabilir başka bir çalışmada incelenebilir.

Zırh çeliğinin kataforez kaplama sonrası fiziksel özellikleri incelenmiş. (Beller, 2021) Zırh çelikleri savunma sanayinde kullanılan önemli malzemelerdir. Zırh çeliğinde 'Mülux 500' seçilmiştir. Savunma sanayinde kullanılan zırh çelikleri genellikle kaplama yapılmadan astar ve boya işlemi yapılarak kullanılmaktadır. Zırh çeliği üreticilerinin ürünlerine ısı girdisinin yüksek olmamasını ve uzun süre ısıya maruz kalmamasını tavsiye etmekte, uzun süre ısıya maruz kalan zırh çeliklerinin mekanik özelliklerinin değişebilecektir. Bu çalışmada fırınlama işlemi sırasında ısı girişi olan ve çevre koşullarına dayanımı yüksek 'kataforez kaplama' seçilmiştir. Bu çalışma da kataforez kaplaması yapılmış zırh çeliğinin korozyon direncinde ve çevre koşullarını simule eden testlerde iyi bir performans sergilediği görülmüştür. Koruma performansını etkileyecek sertlik ölçme testi ve çekme testinde ise fabrika kataloglarında belirtilen uyarıyı destekler nitelikte bir azalma görülmüştür. Tasarımsal olarak kullanım yeri ve beklentiler doğrultusunda zırh çeliği üzerine kataforez kaplama uygulanabilir.

Sıcak dövme ve döküm parçalarının korozyon performans dayanımının artırılması çalışılmış. (Eren, 2020) Alkali çinko, alkali çinko-demir, alkali çinko-nikel kaplama üzerine kataforez kaplama yapılmıştır. İki farklı prosesin bir araya getirilmesiyle her bir prosesten elde edilen ürünlerden daha üstün kaplama özelliklerine sahip bir ürün üretimi gerçekleştirilmiş ve taramalı elektron mikroskopunda da fosfat kristal görünümü ve çinko kaplama kalınlığı X-ışını kırınım cihazında ölçümü yapılmış. Çinko-demir - Alkali çinko/çinko-nikel/ üstü kataforez kaplamanın darbe dayanımı analiz edildiğinde, kaplama kalınlığı arttıkça darbe dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir. %14 ile %16 nikel oranında alkali çinko-nikel kaplama yapıldığında istenilen performans testlerinin sağlandığı gözlemlenmiştir. Alkali ve asitli 5 mikron çinko-nikel kaplamalarda %14 ile %16 nikel oranında en iyi korozyon dayanımı ve yapışma sağlanmıştır. Normal şartlarda sac levhalar üzerine çinko kaplama + kataforez kaplama en yüksek darbe ve korozyon dayanımı, alkali (çinko/çinko-demir ve çinko-nikel) kaplamalar ile sağlarken, sıcak dövme ve döküm parçalar üzerinde bu performans özellikleri sağlanamamıştır. Sıcak dövme ve döküm parçalar üzerine uygulanan kaplama performansı şu şekildedir: Asitli çinko-nikel + kataforez> Asitli çinko + kataforez> Alkali çinko-nikel+ kataforez> Alkali çinko-nikel + kataforez> Alkali çinko-demir + kataforez> Alkali çinko + kataforez. Test sonuçları, otomotiv sanayinin onayına sunulmuş, onay alınmıştır.

Metal parçalar üzerine, Su bazlı lamelli ve fosfat kaplama araştırılması çalışılmıştır. İki farklı şekilde silindir arasından geçirilip haddelenmiş DKP (Karbon Çelik) sac plakalar kullanılmıştır. (Ulubayrak,2020) Su bazlı lamelli kaplama ile Fosfat kaplama arasındaki ilişkilerin kaplama kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen verilerden, görsel olarak uygun kaplama tipi, yüzey üzerine kumlama , fosfat kaplanma ve su bazlı çinko lamelli kaplama uygulaması olarak belirlenmiştir. Çalışmada; 60 Sn. aktivasyon ve üzerine 10 dakika fosfat kaplama yapılmıştır. Ardından 5- 7 dk. 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. 720 saat korozyon dayanımı olduğu belirlenmiştir.

6. MATERYAL VE METOD

Malzemelerin korozyona karşı farklı koşullarda kaplama yapılarak, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan su direnci testi, taş çarpma testi çevrim testi ve tuzlu sis testi özellikleri incelenmiştir.

6.1. SEM Cihazı ile Fosfat Kaplama Görünümü Tayini

Kaplanan galvalizli kızak – çinko kaplı sac malzeme üzerindeki tri katyon fosfat kristal yapısı ve kristallerin homojen dağılımı ve analizi SEM cihazı ile yapılır. Cihaza konulan parçadan kesit alınarak 3000 μ büyütme , 1000 μ büyütme yapılarak kristal yapıları ve kristallerin boyutları incelenir. Fosfat kaplamanın metal yüzeyini homojen olarak kaplamış olması istenir. Fosfat kristal boyutları 3-6 μ m büyüklüğünde olması istenir. SEM cihazı ile fosfat kristali görüntülenmiştir (Şekil 6.1.).



Şekil 6.1. SEM (taramalı elektro mikroskop) cihazı


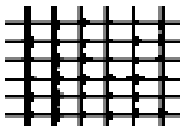
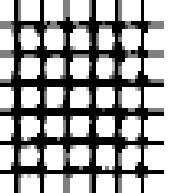
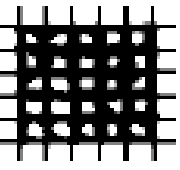
6.2. Su Direnci Testi

Kaplamanın metal yüzeyine ve Kaplamaların birbirine yapışıp yapışmadığını test etmek için kullanılan test yöntemidir. Test, kaplanmış parça, 24 saat deiyonize (60 ± 2 °C'de) suya daldırılır. Çıkarılan parça, 24 saat sonunda, kurutma kağıdı ile kurulanır. İki saat ortam koşullarında bekletildikten sonrasında, parça yapışma testine tabi tutulur. Kaplamanın renginde değişim olmamalı ve yapışma direnci testi Ad0 ve Ad1 olmalıdır (Şekil 6.2.).



Şekil 6.2. Su direnci test cihazı

Tablo 6.1. Su banyosu sonrası, cross cut testi sınıflandırması

Sınıf	Tanım	Görsel
Ad0	Kesik kenarlar ve karelerde boya kalkması yoktur.---	
Ad1	Kesişme noktalarında ve karelenmiş yüzeyde %5 boya kalkması	
Ad2	Kare keşim noktalarında kaplam kalkması	
Ad3	Kesik kenar boyunca, kısmi veya geniş şeritlerde kaplam kalkması	
Ad4	Geniş şeritler, tek karelerden tamamen veya kısmen %65 kaplama kalkması	
Ad5	Karelenmiş yüzeylerden % 65'den fazla kaplama kalkması	---

6.3. Şok Testi

Bu yöntem ani soğutma ve ısıtma sonrasında metal ile kaplama arasındaki tutuculuğu test etmekte için bir yöntemdir. Kaplama öncesi yüzey temizliği ile ilgili bilgi veren test yöntemidir. Oda sıcaklığında suya ve etüve ihtiyaç vardır (Tablo 6.2.).

Tablo 6.2. Müşteri şok testi şartnameleri

FİRMA	ŞARTNAME NO	İLGİLİ STANDART	FIRIN SICAKLIĞI	SÜRE
FIAT-TOFAŞ	9,57405	50765	200± 10°C	30DK.
	9,57409			
FORD	WSK-M2P149	ASTMB571	200 ±10°C	30DK.
	WSD-M1P85			
	WSS-M21P17			
BMWGROUP	GS90010	-	220 ±5°C	30DK.
VOLKSWAGEN	TL 217	-	220 ± 10°C	30DK.
	VW-TL 153	-	220± 10 °C	30DK.

Yapılışı ve Değerlendirilmesi:

Müşteri isteklerine göre, test edilecek parça, tablodan sıcaklık değeri ve bekleme süresi etüve set edilir. Etüv istenen şartları oluşturunca parça etüve konur. Sonrasında etüvde süresi dolunca çıkarılır ve oda sıcaklığındaki (15 - 25 °C) su banyosuna koyulur. Soğuduktan sonra parça su banyosundan çıkarılır ve kurumaya bırakılır. Parça göz ile kontrol edilir , yüzeyde yapışmadan kaynaklanan, kabarma ve kaplama kalkması olmasına bakılır.

6.4. Tuz Sisi Testi

Tuz sisi testi müşteri teknik şartnamelerine göre yapılır. Parçalar kaplandıktan sonra test standartlarına göre hazırlanmış , %5'lik sodyum klorür çözeltisini sprey olarak uygulayan tuz sisi kabini ve 35 °C sıcaklıkta içerisinde, %95 neme maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Kırmızı pas, korozyonun metal yüzeye ulaştığını ve beyaz pas korozyonun çinko kaplı tabakaya ulaştığını göstermektedir. 720 saat korozyon testi sonrası boya yapışmasında dökülme, lekelenme ve yüzey bozuklukları olmamalıdır. (ASTMB117 Standart Method. 1974). Parça yüzeyinin max. %5' de kırmızı pas olmalıdır (Şekil 6.3.).



Şekil 6.3.Tuz sisi test kabini

6.5. Taş Çarpma Testi

Müşteri şartnamesine göre yapılır. Boya film tabakasının taş çarpmasına karşı, direncini belirlemek amacıyla yapılır. Araç hareket halindeyken taşın kaplamaya çarpmasını simüle etmek için yapılır. (Şekil 6.4.).



Şekil 6.4.Taş çarpma testi

6.6. Cycle Testi

Şartnamesine göre çevrim testi yapılır. 30 cycle olacak şekilde yapılır. Müşteri parçanın kullanım yerine göre cycle adedini şartnamede belirtmektedir. Bir çevrim 12 saatten oluşmaktadır. Bir çevrim aşamaları;

Tablo 6.3. Bir çevrim döngüsü

80°C - % 80RH, 1saat	12 saat
80°C - % 80RH, 4saat	

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

Çevrim testinde kabininde kuru hava, nem, %5 tuzlu çözelti yağmurlama, sıcaklık ve soğukluk faktörlerini simüle edilerek uygulanma yapılmaktadır. Bir aracın hızlı ve programlı bir yapıyla gerçek hayatta göreceği tüm şartlar, test edilmektedir. Test bitiminde 30 çevrim sonunda korozyon, boya kalkması, kabarma, gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır. Parça üzerine çizilen çizikte açılma max. $d \leq 1,5$ mm olmalıdır (Şekil 6.5.).



Şekil 6.5.Çevrimsel korozyon test kabini

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılan paslanmaz çelik parçaların bükme ve kesmede çizilmesi ve elektropolisaj kaplamada red olarak ayrılması, ardından elektropolisaj kaplamada çizik nedeniyle red olan kızaklara Min. 20 µm kataforez kaplama yaparak yüksek korozyon ve yapışma özelliğinin bir araya getirilmesidir.

7.1. Kaplama Sırasında Ölçülen Parametreler ve Kaplama Çalışma Koşulları

Elektropolisaj ve kataforez banyolarında ölçülen değerler.

Tablo 7.1. Yüzey temizleme, teorik ve deneysel analizler

			Teorik	Ölçülen
YÜZEY TEMİZLEME	Tufal Alma	Sıcaklık	25-35°C	33°C
		Süre	5-15 dk.	10dk.
		Konsantrasyon	%5-15ml	9 ml
	S10 Kumlama	Süre	Min.10 dk.	10 dk.

Tablo 7.2. Min.20µm kataforez prosesi teorik ve deneysel analizleri

		Teorik	Ölçülen	
Yüzey Hazırlama Prosesi	Sıcak Yağ Alma	Süre	5-10 dk.	9dk.
		Sıcaklık	50-85°C	55°C
		Konsantrasyon	%3-10ml	6 ml
	Aktivasyon	Süre	30-60 sn.	60sn.
		pH	8,5-10	9,5
	Fosfat Kaplama	Süre	2-5dk.	3dk.
		ToplamAsit	17-25 ml	21ml
		SerbestAsit	0,6-1,1ml	1 ml
		Hızlandırıcı	1,5-3 ml	2,4ml
		ToplamFlor	550-850 ppm	730ppm
		SerbestFlor	50-150ppm	81ppm
		NikelOranı	0,6-1,1gr/L	0,81gr/L
		ÇinkoOranı	0,6-1,2gr/L	1,21gr/L
		ManganOranı	0,2-0,5gr/L	0,41gr/L
		DemirOranı	Max.7ppm	0ppm
Pasivasyon	Süre	Min.15sn.	30sn.	
	TitrasyonNoktası	1,7-6,9ml	3,3ml	
	İletkenlik	Max.900µS	730 µS	
Elektro-Kaplama Prosesi	Kataforez	Süre	3-5dk.	3,5dk.
		KatıMiktarı	%12-17	15
		KülMiktarı	%1,2-2	1,7
		P / L Oranı	0,11- 0,16	0,14
		Sıcaklık	29 - 35°C	32 °C
	pH	Kataforez	5,6-6,1	6
		DISu Tankı	5,5 - 7,5	6,5
	İletkenlik	Kataforez	1000 - 2000 µS	1200µS
		Anolit Tankı	2000 - 6000 µS	2350µS
		DI Su Tankı	5 - 50 µS	10 µS
Ultrafiltrat	Süre	1-10 dk.	1dk.	
	İletkenlik	400-1200 µS	800µS	
	pH	5,6-6	5,8	
Kürleme Prosesi	Pişirme Fırını	Süre	Min.20dk.	25dk.
		Sıcaklık	Min.155°C	200°C

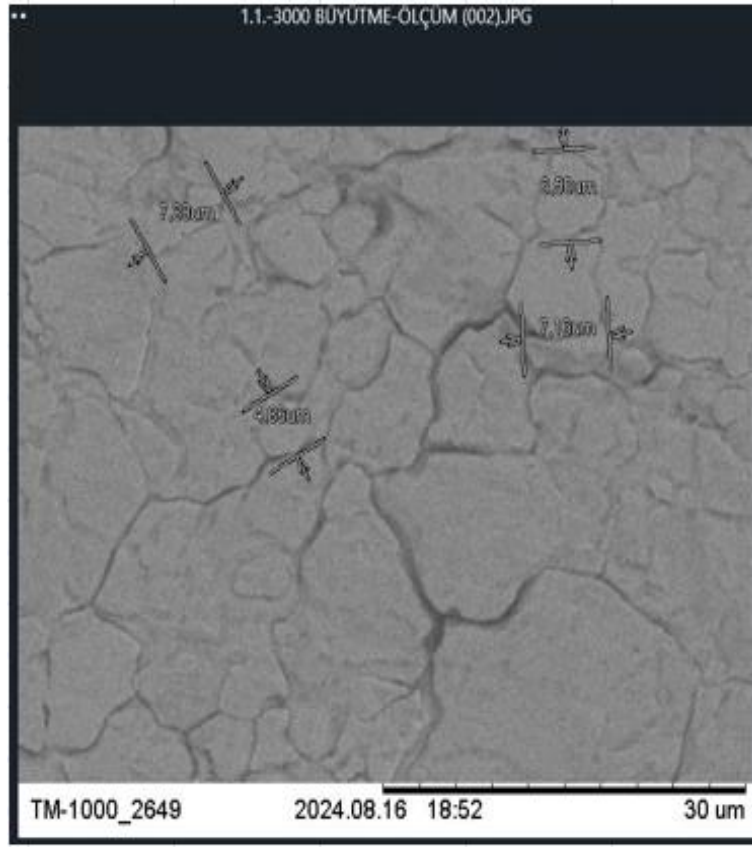
7.2. Kaplama Sonrasında Deneysel Değerlendirmeler ve SEM cihazı ile fosfat kaplama görünümü

Deneme 1 ;

Paslanmaz sac, 100x100 mm numune plaka 5 dk. Çinko Fosfat kaplama yapılması sonrasında SEM görüntüsü sonucunda yüzeyde 4-7 micron kristal büyüklüğü görüntülenmiştir (şekil 7.1.) Kapama ağırlığı < 0,1 g/m²‘dir. Standart olması gereken ağırlık 2-4 gr/m² dir. Paslanmaz sac plaka üzerinde Kaplama ağırlığı < 0,1 g/m² olması fosfat kaplamanın plaka üzerinde yok denecek kadar az olmasına neden olmaktadır.



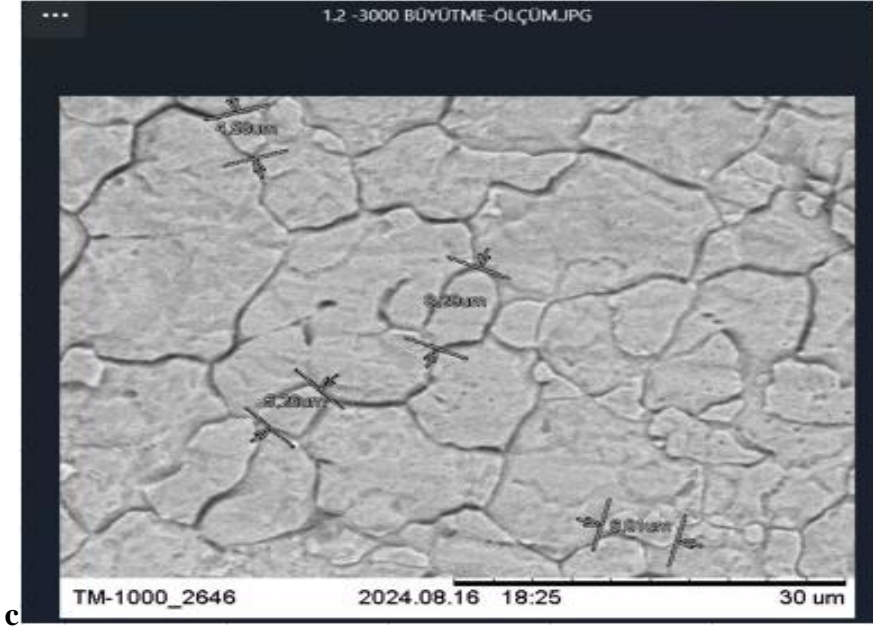
şekil 7.1.Paslanmaz sacdan, 100x100 mm numune plaka



Şekil 7.2. 3000 büyütme SEM görüntüsü, yüzeyde 4-7 mic. kristal büyüklüğü

Deneme 2;

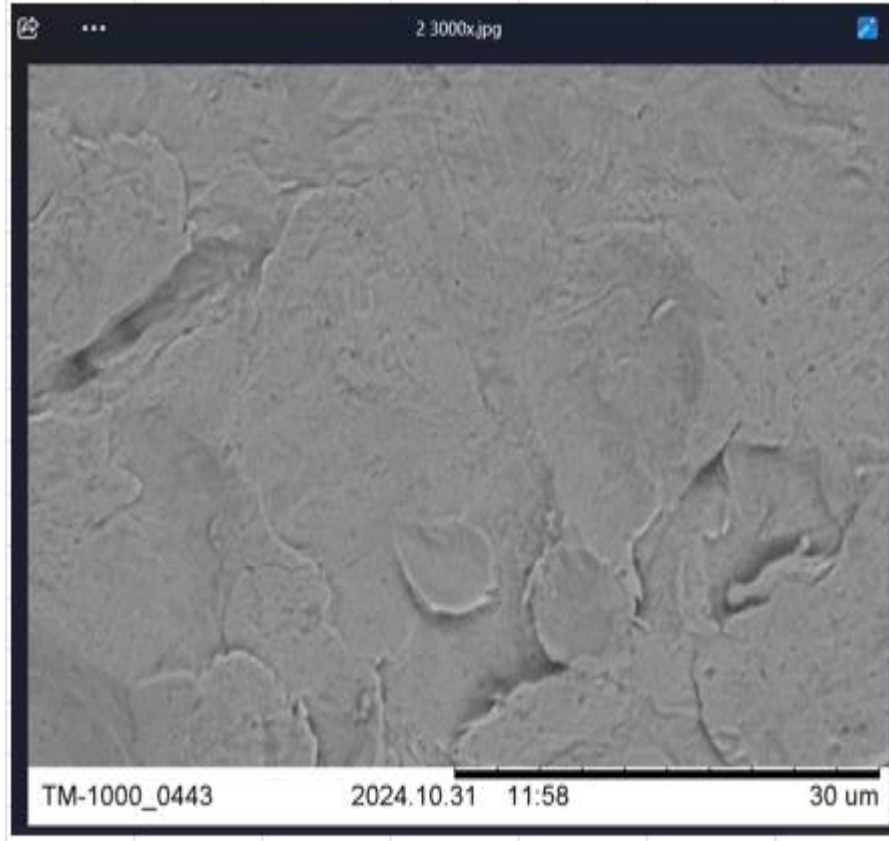
Paslanmaz sacdan, 100x100 mm numune plaka 10 dk. Çinko Fosfat kaplama yapılması sonrasında SEM görüntüsü sonucunda yüzeyde 4-8 micron kristal büyüklüğü görüntülenmiştir (Şekil 7.2). Kaplama ağırlığı $< 0,1 \text{ g/m}^2$ 'dir. Standart olması gereken ağırlık $2 - 4 \text{ gr/m}^2$ 'dir. Fosfat kaplama plaka üzerinde yok denecek kadar az olmasına neden olmaktadır. Kaplama süresi 5 dk dan – 10 dk ya çıkarıldı. Fosfat kapama ağırlığında artış olmamıştır.



Şekil 7.3. 3000 büyütme SEM görüntüsü, yüzeyde 4 -8 mic. kristal büyüklüğü

Deneme 3;

Ham sac + kumlama + Elektropolisaj + kumlama + tufal alma (5 dk. Çinko Fosfat) SEM görüntüsü sonucunda yüzeyde seyrek kristal görüntülenmiştir (Şekil 7.3). Kaplama ağırlığı $< 0,1 \text{ g/m}^2$ 'dir. Standart olması gereken ağırlık $2 - 4 \text{ gr/m}^2$ 'dir. Elektropolisaj olmuş cizik bir kızak, yüzeyi daha paralak olması nedeniyle kataforez kaplamaya alınmadan önce kumlama + tufal alma yapılarak çinko fosfat kristal ve kaplama kalınlığının sağlanarak kataforezin yüzeye daha iyi yapışması hedeflenmiştir.



Şekil 7.4.1000 büyütme SEM görüntüsü, yüzeyde seyrek kristal görünümü.



Şekil 7.5. Elektropolisaj yapılan ürün fotoğrafı.

(Gloss: 70 - Tufal Alma : 8 dk - Elektropolisaj: 6 dk - Pasivasyon: 30 sn - 6 A/dm²)

7.3.Tuz sisi testi

Elektropolisajlı kızak tuz sisi test raporu:

Şartname / Designation : X5CrNi 18-10 PASLANMAZ

Norm / Norme : DIN EN ISO 9227 NSS

Kaplama Tipi : POLİSAJ

TEST PARAMETRELERİ:

Gereklilik: Kırmızı Pas/Red Rust 720 Saat/Hour

720 h



Şekil 7.6.Elektropolisajlı ürün 720 saat tuz sisi korozyon testi

Tuz sisi test raporu:

Elektropolisajlı kızak DIN EN ISO 9227 NSS e göre kırmızı Pas/Red Rust 720 Saat/Hour sonrası civata daplerinde kaynak bölgelerinde pas yoktur.

Kataforezli kızak tuz sisi test raporu:

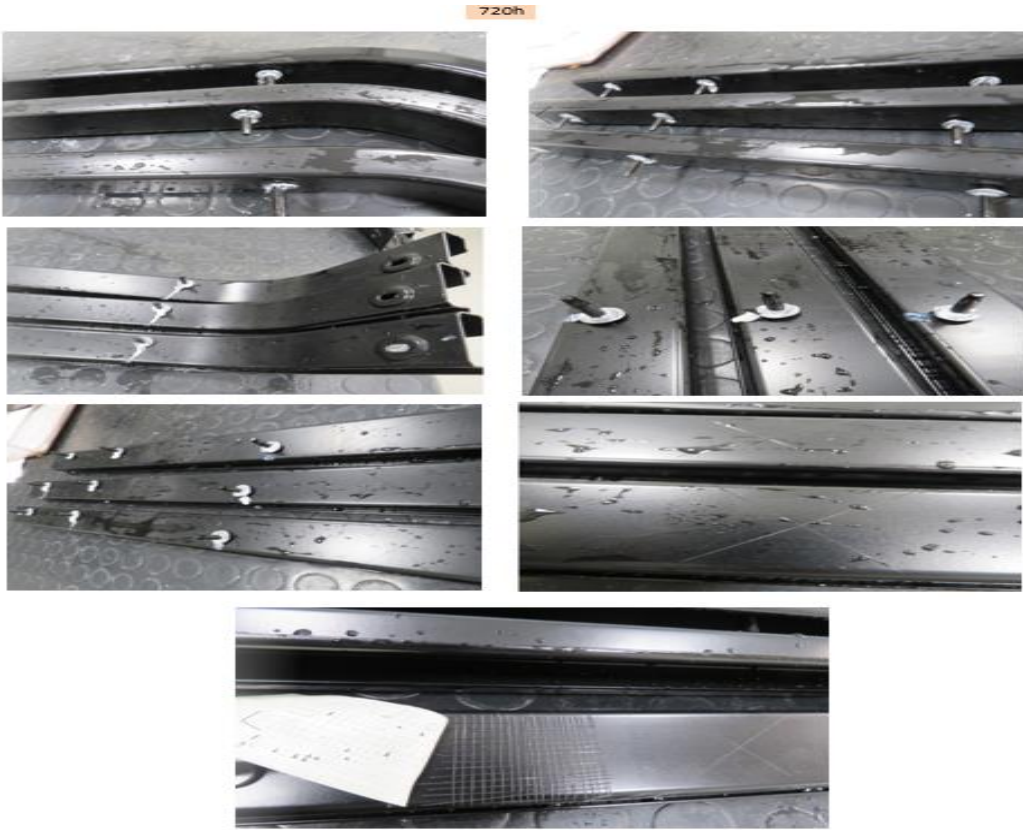
Şartname / Designation : X5CrNi 18-10 PASLANMAZ

Norm / Norme: DIN EN ISO 9227 NSS

Kaplama Tipi: KATAFOREZ

TEST PARAMETRELERİ:

Gereklilik: Kataforez 20 µ 720 Saat / Hour



Şekil 7.7. Parça aktivasyon süresi 30 sn. - fosfat kaplama süresi 5 dk.

Elektropolisaj kaplamada çizik nedeniyle red olan kızakların kataforeze alınmadan kumlama ve tufal alma yapılmış kataforezde fosfat kristallerinin yüzeye daha iyi tutunması sağlanarak korozyon performansı artırılmıştır. 720 saat tuz sisi korozyon testine tabii tutulmuştur. 720 saat sonunda kabarma ve kırmızı pas görülmemiştir.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Test sonuçları incelendiğinde farklı tufal alma ve kumlama süreleri kullanılarak elektropolisaj kaplamada çizik nedeniyle red olan kızakların minimum seviyeye getirilmesi hedeflenmiştir. Elektropolisajda çizik nedeniyle ayrılan paslanmaz kızaklar kataforez kaplamaya alınmadan, kumlama ve tufal alma yapılarak kataforezde fosfat kristallerinin yüzeye daha iyi tutunması sağlanmıştır. Korozyon performansı bu şekilde artırılmıştır.

Deneme 1 - Paslanmaz sacdan, 100x100 mm numune plaka 5 dk. çinko fosfat kaplama yapılması sonrasında SEM görüntüsü sonucunda yüzeyde 4-7 micron kristal büyüklüğü görüntülenmiştir. Kapama ağırlığı $< 0,1 \text{ g/m}^2$ 'dir. Standart olması gereken ağırlık 2-4 gr/m^2 dir. Paslanmaz sac plaka üzerinde kaplama ağırlığı $< 0,1 \text{ g/m}^2$ olması fosfat kaplamanın plaka üzerinde yok denecek kadar az olmasına neden olmaktadır.

Deneme 2 - Paslanmaz sacdan, 100x100 mm numune plaka 10 dk. çinko fosfat kaplama yapılması sonrasında SEM görüntüsü sonucunda yüzeyde 4-8 micron kristal büyüklüğü görüntülenmiştir. Kapama ağırlığı $< 0,1 \text{ g/m}^2$ 'dir. Standart olması gereken ağırlık 2-4 gr/m^2 'dir. Fosfat kaplama plaka üzerinde yok denecek kadar az olmasına neden olmaktadır. Kaplama süresi 5 dakikadan 10 dakikaya çıkarılmıştır. Fosfat kapama ağırlığında artış olmamıştır.

Deneme 3 - Paslanmaz sacdan, 100x100 mm numune plaka Ham sac + kumlama + elektropolisaj çizik nedeniyle red olan kızak + kumlama + tufal alma (5 dk. çinko fosfat) SEM görüntüsü sonucunda yüzeyde seyrek 4 -8 mic. kristal büyüklüğü kristal görüntülenmiştir. Kapama ağırlığı $< 0,1 \text{ g/m}^2$ 'dir. Standart olması gereken ağırlık 2-4 gr/m^2 'dir. Elektropolisaj olmuş çizik bir kızak, yüzeyi daha parlak olması nedeniyle kataforez kaplamaya alınmadan önce kumlama + tufal alma yapılarak Trikatyon fosfat ve kataforez kaplamanın kızak yüzeye daha iyi yapışması sağlanmıştır. Tuz sisi sonuçlarının (720 saat sonunda kabarma ve kırmızı pas görülmemiş ve parça üzerine çizilen çizikte açılma $d \leq 1,5 \text{ mm}$ 'den altında) istenilen standartlara uygun olduğu görülmüştür. Min. 20 μm kataforez prosesinin teorik ve deneysel analizleri çok önemlidir. Tesislerde kullanılan suyun, saf su ve 5 - 50 μS arası iletkenliğe sahip olması tuz sisi test performansına pozitif yönde büyük bir etkisi vardır.

KAYNAKÇA

ASTMB117 Standart Method (1974). Salt Sprey (Fog) Testing. [Eriřim:15.01.2025, <https://www.astm.org/b0117-19.html>]

ASTM B 912-02 Standart Method (1974). Stainless Steels Using Electropolishing. [Eriřim:15.01.2025, <https://www.astm.org/b0912-02r18.html>]

Athey, R.D. (2003). Metal Finishing Organic Finishing Guide Book and Directory. Elsevier.

Delstar (2003). Electropolishing A User's Guide to Applications, Quality Standards and Specifications. [Eriřim:30.01.2025, <https://www.delstar.com/electropolishing-users-guide>]

Duysak, Y. (2019). *Çelik Yapılarda Bulonlu Ve Kaynaklı Birleřimlerde Korozyon Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Eren, B. (2020). *Döküm ve Sıcak Dövme Parçalarının Korozyon Performans Dayanımının Artırılması*, (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

Yargıç, A. Ş., Eren, B., & Özbay, N. (2024). Enhancement of Coating Features by Supporting Zinc-Based Coating with Cataphoresis Process: Effect of Acidity and Coating Thickness on the Coating Quality. *Politeknik Dergisi*, 27(5), 1761-1772.

Fiat Auto Normazione Material Standart 50470 (2005). Water Resistance Test for Decorations and Paints. [Eriřim:30.01.2025]

Fiat Auto Normazione Material Standart 50493/04 (2011). Determination of the resistance of organic coatings to the propagation of bubble under skin corrosion. [Eriřim:30.01.2025]

Fiat Auto Normazione Material Standart 50765 (1990). Metallic Material Surface Treatments Electrolytic Plating and Chemical Coating Heat Shock Adhesion Test. [Eriřim:30.01.2025]

ISO 9227 (2006). Corrosion Tests In Artificial Atmospheres–Salt Spray Tests. [Eriřim:30.01.2025,<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/63543/18ec48012fa0464f8cb6093d5f5991e8/ISO-9227-2017.pdf>]

ISO 15730 (2000). Electropolishing stainless steel. [Eriřim: 30.01.2025,<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/85562/a54c54113c443b8997c7318ed7fdeab/ISO-15730-2023.pdf>]

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

Mohan, S., Kanagaraj, D., Sindhuja, R., Vijayalakshmi, S., & Renganathan, N. G. (2001). Electropolishing of stainless steel—a review. *Transactions of the IMF*, 79(4), 140-142.

Nabil Z. (1994). Zinc Alloy Plating, Surface Engineering, *Surface Engineering Handbook*, 5, 596-606.

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

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

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

Sankara Narayanan, T. S. N. (2005). Surface pretreatment by phosphate conversion coatings- A review. *Reviews in Advanced Materials Science*, 9, 130-177.

Satake, M. (1990). *Modern dictionary: physical chemistry*. Discovery Publishing House.

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

Topal, E. (2016). *Aluminyum İçin Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılan Bazı Proton Pump İnhibitörlerinin Kuantum Kimyasal Olarak İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Tuna, N. (2013). *Çinko ve Nikel Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Plaka ve Vidaların Korozyon Davranışının İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ulubayrak, S. (2020). *Metal Parçalar Üzerine Fosfat ve Su Bazlı Lamelli Kaplama Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

Ulubayrak, S., Yaman, E., & Ozbay, N. (2024). The impact of water-based zinc-flake coating on bolt corrosion performance. *LATIN AMERICAN APPLIED RESEARCH*, 54(1), 75-79.

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

Zimmermann, D., Munoz, A. G., & Schultze, J. W. (2003). Microscopic local elements in the phosphating process. *Electrochimica acta*, 48(20-22), 3267-3277.