

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI
FİZİKOKİMYA BİLİM DALI**

**ELEKTROLİTİK ÇİNKO/NİKEL KAPLAMA PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ**

**Yazar
Fahri YILDIRIM**

**Danışman
Prof. Dr. Yüksel ABALI**

MANİSA-2024

FAHİRİ
YILDIRIM

ELEKTROLİTİK ÇİNKO/NİKEL KAPLAMA
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

2024

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Kimya Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Fahri YILDIRIM



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ	III
TABLO DİZİNİ.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTROLİTİK METAL KAPLAMA.....	3
2.1. Elektrolitik Kaplamanın Önemi (Korozyonun Önemi)	7
2.2. Elektrolitik Kaplamanın Kalitesine Etki Eden Faktörler	9
2.2.1. Akım Yoğunluğu	9
2.2.2. Konsantrasyon	10
2.2.3. Sıcaklık	10
2.2.4. Dağıtma Gücü	11
2.2.5. pH	13
2.2.6. Elektrolit	13
2.3. Metal Kaplama Öncesi Metale Uygulanması Gereken İşlemler	17
2.3.1. Parça Yüzeyinin Temizlenmesi	17
2.3.2. Yağ Çıkarma	18
2.3.3. Oksit Tabakasının Kaldırılması	18
2.4. Kaplama Banyoları	18
2.5. Elektrolitik Çinko/Nikel Kaplama.....	19
2.5.1. Elektrolitik Çinko/Nikel Kaplama Prosesinde İş Akışı	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM	26
3.1. Materyal	26
3.2. Yöntem.....	26
3.2.1. Hull Cell Yöntemi	26
3.2.2. Kimyasalların Seçimi	28
4. DENEYSEL KISIM.....	30
4.1. Deneysel Kısım Uygulamaları	30
4.2. Kimyasal Analiz Yöntemleri.....	48
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	50
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Amper
AAS	Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
Ae	Teorik olarak katotta toplanan ürün miktarı
F	Kaplanacak olan numunenin alanı
G	Kaplanan ürün miktarı
g	Gram
HC	Hull Cell
I	Akım yoğunluğu
L	Litre
M	Atomik Ağırlık
ml	Mililitre
t	Kaplama süresi
z	Reaksiyon sırasında alınan verilen elektron sayısı
µm	Mikron
ηk	Katot akım etkinliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Elektronik (katodik) yöntemle kaplanabilen elementler	6
Şekil 2.2. Kaplanmış bir plakaya ait SEM görüntüsü.....	7
Şekil 2.3. Çinko/Nikel kaplama banyosu tamburlu tipi tesis	20
Şekil 2.4. Çinko/Nikel kaplama banyosu daldırma tipi tesis	20
Şekil 2.5. Genel bir Çinko/Nikel kaplama prosesinde iş akış şeması.....	23
Şekil 3.1. HC kabı ve akım kaynağı	28
Şekil 4.1. HC Yöntemi ile Kaplanmış plaka	30
Şekil 4.2. Fischer X-RAY cihazı.....	32
Şekil 4.3. Deney 1'e ait X-RAY raporu.....	33
Şekil 4.4. Deney 2'e ait X-RAY raporu.....	34
Şekil 4.5. Deney 3'e ait X-RAY raporu.....	35
Şekil 4.6. Deney 4'e ait X-RAY raporu.....	36
Şekil 4.7. Deney 5'e ait X-RAY raporu.....	38
Şekil 4.8. Deney 6'e ait X-RAY raporu.....	39
Şekil 4.9. Deney 7'e ait X-RAY raporu.....	40
Şekil 4.10. Deney 8'e ait X-RAY raporu.....	41
Şekil 4.11. Deney 9'e ait X-RAY raporu.....	43
Şekil 4.12. Deney 10'e ait X-RAY raporu.....	44
Şekil 4.13. Deney 11'e ait X-RAY raporu.....	45
Şekil 4.14. Deney 12'e ait X-RAY raporu.....	46
Şekil 4.15. Deney 13'e ait X-RAY raporu.....	47
Şekil 4.16. Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) cihazı.....	49
Şekil 5.1. Kaplama banyolarında NaOH konsantrasyon değişiminin kaplama kalınlığına etkisi	50

Şekil 5.2. Kaplama banyolarında NaOH konsantrasyon değişiminin nikel oranına etkisi.....	51
Şekil 5.3. Kaplama banyolarında nikel konsantrasyon değişiminin kaplama kalınlığına etkisi	52
Şekil 5.4. Kaplama banyolarında nikel konsantrasyon değişiminin nikel oranına etkisi.....	52
Şekil 5.5. Kaplama banyolarındaki Part A miktarının kaplama kalınlığına etkisi	53
Şekil 5.6. Kaplama banyolarındaki Part A miktarının nikel oranına etkisi	54
Şekil 6.1. TS ISO 9227 Şartnamesi Nikel oranına karşılık tuz testi süresi.....	55



TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Çinko/Nikel kaplama banyosu parametre değerleri.....	19
Tablo 4.1. İlave edilen NaOH miktarına göre konsantrasyon değerleri	31
Tablo 4.2. İlave edilen nikel miktarına göre konsantrasyon değerleri.....	37
Tablo 4.3. İlave edilen Part A ve Part B miktarına göre kaplama banyosu değerleri	42
Tablo 5.1. İlave edilen NaOH miktarına göre kaplama kalınlığı değerleri.....	50
Tablo 5.2. İlave edilen NaOH miktarına göre plaka üzerindeki nikel oranı değerleri	50
Tablo 5.3. İlave edilen nikel miktarına göre kaplama kalınlığı değerleri	51
Tablo 5.4. İlave edilen nikel miktarına göre plaka üzerindeki nikel oranı değerleri	52
Tablo 5.5. İlave edilen Part A miktarına göre kaplama kalınlığı değerleri.....	53
Tablo 5.6. İlave edilen Part A miktarına göre plaka üzerindeki nikel oranı değerleri	54
Tablo 6.1. Çinko/Nikel elektrolitik kaplama banyosu kimyasal değerleri	56

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın yűrűtűlmesinde yapıcı eleőtiri ve yardımlarıyla yol gűsteren tez danıőmanım Prof. Dr. Yűksel ABALI'ya teőekkűrlerimi sunarım. Ayrıca deney çalıőmalarım esnasında laboratuvar imkanlarını sonuna kadar aan Norm Coating firmasına verdikleri destekler için teőekkűr ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen "AİLEME" en içten dileklerimle teőekkűr ederim.

Fahri YILDIRIM
Manisa, 2024



ÖZET

Yüksek Lisans

Fahri YILDIRIM

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Yüksel ABALI

Bu çalışmada; korozyona karşı koruma yöntemlerinden birisi olan elektrolitik kaplama türlerinden biri çinko/nikel kaplamaları için kullanılan kimyasallar karşılaştırılmış ve korozyona karşı maksimum koruma sağlayan kaplamanın en uygun parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Elektrolitik çinko/nikel kaplamalarda banyo bileşenleri olan nikel, çinko ve sodyum hidroksit konsantrasyon değerleri ile inorganik yapı olan kaplama banyosu yardımcı kimyasalları özel adları Part A ve Part B olan taşıyıcı ve parlaticı kimyasalları ile çalışmalar yapılmıştır.

Ülkemizde elektrolitik kaplama sektöründe kullanılan kimyasalların çoğu ithal olarak temin ediliyor. Bundan dolayı kaplama sektöründe fazla kimyasal kullanımın önüne geçilmesi ve döviz kaybının önlenmesi için, kaplamanın uygun kimyasal değerlerde gerçekleşmesi ve minimum miktarda kimyasal kullanımı oldukça önemlidir.

Bu çalışmamızda elektrolitik çinko/nikel kaplama banyoları için en uygun kimyasal bileşenler tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çinko/nikel kaplama banyoları için 1,5 g/L nikel konsantrasyonu, 9,5 g/L çinko konsantrasyonu, 130 g/L NaOH konsantrasyonu, 10 ml/L taşıyıcı ve 0,6 ml/L parlaticı kaplama banyosunun optimal seviyeleri belirlenmiştir. Bu çalışmadaki amaç; banyo bileşenlerini optimal seviyede tutarak fazla kimyasal kullanımının önüne geçmektir. Ayrıca malzeme dayanımını korozyona karşı korumak önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çinko/Nikel Elektrolitik Kaplama, Hull Cell, X-RAY, Korozyon, Akım

2024, 59 sayfa

ABSTRACT

M.Sc.

Fahri YILDIRIM

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School Of Education
Department of chemical**

Supervisor: Prof. Dr. Yüksel ABALI

In this study, the chemicals used for zinc/nickel coatings, one of the types of electrolytic coatings that are one of the methods of protection against corrosion, were compared and the most appropriate parameters of the coating that provide maximum protection against corrosion were tried to be determined. In electrolytic zinc/nickel coatings, studies were carried out with the concentration values of nickel, zinc and sodium hydroxide, which are the bath components, and the plating bath auxiliary chemicals, which are inorganic structures, and carrier and brightener chemicals with specific names Part A and Part B.

Most of the chemicals used in the electrolytic plating industry in our country are imported. Therefore, in order to prevent excessive use of chemicals in the coating sector and to prevent foreign exchange loss, it is very important that the coating is carried out at appropriate chemical values and the minimum amount of chemicals is used.

In this study, the most suitable chemical components for electrolytic zinc/nickel plating baths were determined. According to the results obtained, for zinc/nickel plating baths, 1.5 g/L nickel concentration, 9.5 g/L zinc concentration, 130 g/L NaOH concentration, 10 ml/L carrier and 0.6 ml/L brightener were used in the plating bath. optimal levels have been determined. The aim of this study is to prevent excessive chemical use by keeping bath components at optimal levels. It is also important to protect the material strength against corrosion.

Keywords: Zinc/Nickel Electrolytic Plating, Hull Cell, X-RAY, Corrosion, Flow

2024, 59 pages

1. GİRİŞ

18. yy' da elektriğin bulunması ve uygulanması ile metallerin değerli metallere kaplanması düşünülmüştür. 1805 yılında İtalyan "Brugnatelli" elektrik kaynağı olarak kullandığı akümülatör yardımıyla altın kaplamayı başarmıştır. 1840 yılında İngiliz "Wright" in altın ve gümüş kaplama için "siyanürlü" elektroliti bulması, insanlara doğada oksitlenmeye karşı dayanıklı metallere dayanıksız metalleri kaplama olanağı sağlamıştır.

Doğa koşulları ve benzeri oksitleyici ortamda kullanılan birçok metallerin (elementlerin) aşınmaya uğramasını önlemek için üstüne, bu ortamdan etkilenmeyen başka elementle kaplanmasına "GALVANOTEKNİK" denmiştir [1].

Korozyon; metallerin ortamlarla teması sonucu, metal-ara yüzey-ortam üçlüsünün etkileşimi ile yüzeyde oluşan bozulmadır. Korozyondan korunma önlemlerinin temelinde de bu üç faktörün özelliklerini ve birbirleri ile ilişkilerini iyi bilmek ve gerekli değişiklikleri gerçekleştirmek yatar. Metallerin ortama daha dayanıklı kılınması için, korozyon yapıcı etkenlerin kontrol altına alınması yanında, ara yüzeyi değişik malzemelerle kaplamak bu tür önlemlerin başında gelmektedir [2].

Metallerin elektrokimyasal birikim ve çözünmesi, birçok sayıda metal işleme yöntemlerinde kullanılır. Bunlardan en yaygın kullanım alanı bulan ve en iyi bilineni, elektrolitik kaplamadır. İletken bir yüzey tabakası sağlanmak koşuluyla, kaplanan yüzey metal ya da metal olmayan bir maddedir [3].

Endüstride kullanılan parçalar başta krom ve çinko olmak üzere alüminyum, bakır, kobalt, nikel, kadmiyum, kalay ve kurşun gibi saf metallere ya da bunların alaşımları ile kaplanır [4].

Daha düzgün bir kaplama tabakası elde edebilmek amacıyla, kaplamada yardımcı kimyasallar da kullanılmaktadır. Bu kimyasallar taşıyıcı ve parlaticı olarak adlandırılmaktadır. Parlaticı; kaplama görünümünün daha düzgün ve parlak olmasını sağlamakta, taşıyıcı ise itici güç oluşturarak çinko atomlarının malzeme yüzeyine yığınlar halinde değil, düzenli ve mümkün olabildiğince öbeklenmeden yapışmasını sağlamaktadır. Bu yardımcı kimyasallar içeriklerinde birden fazla kimyasal malzeme

içermekte, çok kimyasal varlığı bu prosesin kontrolünü güçleştirip, kirlilik ve sağlık sorunları doğurmaktadır [5].

Zn-Ni kaplamaların korozyon direnci, pasivasyon işlemiyle daha fazla geliştirilmiştir. Eğer araştırma teknolojileri magnezyum alaşımları üzerine Zn-Ni kaplamaları yaratacak kadar gelişirse, bunun gibi alaşımların korozyon dirençleri mükemmel seviyeye gelecektir [6].

Bu çalışmamızda elektrolitik çinko/nikel kaplama banyolarında kullanmış olduğumuz kimyasalların kaplama verimliliği incelenmesi ve banyo içerisinde kullanılan kimyasalların en uygun parametrelerde çalışılması amaçlanmıştır. Böylece korozyon korunumunda maksimum verimlilik ve çoğunluğu ithal olan kimyasal kullanımında kontrol sağlanmıştır. Çalışmada nikel, çinko, sodyum hidroksit konsantrasyonları ve taşıyıcı ile parlaticı kimyasalların banyo içerisindeki dağılımları incelenmiştir.

2. ELEKTROLİTİK METAL KAPLAMA

Metallerin elektrokimyasal birikim ve çözünmesi birçok metal işleme yönteminde kullanılır. Bunlardan en yaygın kullanım alanı bulan ve en iyi bilineni elektrolitik kaplamadır. Metal kaplama yüzeylere elektrolitik birikim yolu ile uygulanır. İletken bir yüzey tabakası sağlanmak koşuluyla, kaplanan yüzey metal ya da metal olmayan bir maddedir. Kaplama koruma ya da süsleme amacıyla uygulanır ya da her iki neden söz konusudur. Elektrolitik şekillendirme metal birikiminin kullanıldığı başka bir yöntemdir. Bu yöntemde biriken tabakanın kalınlığı normal kaplamada uygulanandan çok daha fazladır ve yüzeyde biriken metal birikim tamamlandıktan sonra yüzeyden ayrılabilir. Metalin kalınlığı kendi başına yetecek ve dayanıklı olacak şekilde ve biriktiği yüzeyin geometrik şeklini alacak ölçüde olmalıdır.

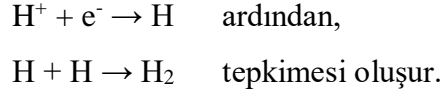
Bir kaplama birimi başlıca bir katot, bir anot, bir elektrolit ve uygun bir kaplama banyosundan oluşur. Bunun yanında bazı ek araçlara da gereksinim duyulur. Bunlar elektrolitin karıştırılması ve saflaştırılması için gerekli olan ve herhangi bir otomatik kontrol için gerekli olan araçlardır. Elektriksel araçlar ise ana güç kaynağından gerekli düşük gerilimi (doğru akım) sağlamak amacıyla bir azaltıcı dönüştürücü (transformer) ve rektifiye edici araçlardır. Bazı hallerde motor jeneratörler'de kullanılmaktadır. Bu arada kaplama hücrelerine gerekli gücün istenen oranda verilmesini sağlayacak kontrol sistemlerine gereksinim vardır [7].

Kaplama sonucunda oluşan metal kristal haldedir, kristal boyutu ve kristallerin birikim şekli, birikimin adhezyon, süreklilik, görünüş, sağlamlık ve diğer özelliklerini belirler. Birikimin kristal yapısı kaplama hücresinin özellikleri tarafından belirlenir, bunlardan en önemlisi elektrolitin kimyasal bileşimi ve diğeri akım yoğunluğudur. Hücrenin fiziksel özellikleride önemlidir, özellikle sıcaklık, karıştırma ve elektrotların büyüklüğü, şekli ve birbirine yakınlığı önem taşır. Anotun kimyasal özellikleri önemli iken bunun yanında katotun yüzey özellikleri de önemlidir. Bu değişkenlerin kontrolü istenen standartta birikimin elde edilmesini sağlar [8].

İyonlar uygun elektrotlara ulaştıklarında elektron alarak ya da vererek yüklerini bırakabilirler, bazı durumlarda oluşan nötral tanecik karardır. Bu durum

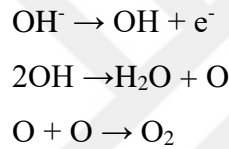
metal iyonlarının atomlara dönüşmesi halidir. Diğer bir durum ise, yükünü bırakmış iyonlar atom haline dönüşse bile, kararlı değildir ve diğer benzer atomlarla molekül vermek üzere tepkimeye girerler.

Örneğin;



Çoğunlukla iyon yalnızca bir atom yerine kovalent bağlı atomlardan oluşabilir ve kimyasal tepkime yükünü bırakmış bu tanecikler arasında olur.

Örneğin;



Yükünü bırakmış iyonlar elektrotun yapıldığı madde ile tepkimeye girebilir. Bazı hallerde iyonlar elektroda ulaştıklarında, elektrot üzerinde yüklerini bırakmazlar. Bunun yerine elektrottan zıt yüklü iyonlar çözeltiliye geçerler, bu durumla bir metal tuzu çözeltisi metal elektrotlar arasında elektroliz edildiği zaman karşılaşılabilir. Metal iyonları bir elektrotta yükünü bırakırken diğer elektrot da diğer iyonik türlerin yükünü bırakması yerine, metal iyonlar halinde çözeltiliye geçer.

Elektrotlarda oluşan kimyasal değişim çözeltide derişim değişimine neden olur. Eğer iyonik türler yüklerini bırakıyorsa tüm derişimde kararlı bir değişim gözlenir. Ayrıca elektrotların yakınında bölgesel derişimde de değişimler olur. Çözelti boyunca geçirilen belirli bir elektrik miktarı için, katotta pozitif iyonlar tarafından alınan elektron sayısı, anotta negatif iyonlar tarafından verilen elektron sayısına eşit olmalıdır. Bir çözeltide basit bir ideal durum göz önüne alınırsa, buna göre yalnızca iki tip iyon içerdiği, pozitif ve negatif yüklerin her ikisinin de bir yük taşıdığı, her ikisinin de çözelti boyunca aynı hızla hareket ettiği ve her ikisinin de elektroda ulaştığında yükünü bıraktığı varsayılırsa; n elektron katottan çözeltiliye girerse, n pozitif iyon yükünü bırakacaktır.

Aynı sayıda elektron anotta çözeltiyi terk etmeli ve n negatif iyonunda yükünü bırakmalıdır. Çözelti boyunca akım geçişi n tane yüklü taneciğin hareketi ile olur, ve bu iyonlar aynı hızla hareket ettiklerinden, n/2 pozitif iyonun bir yönde hareketi ve n/2 negatif iyonun diğer yönde hareketi ile gerçekleşir. Katot yakınında aşağıdaki değişimler olur

n pozitif iyon (dış) yük bırakma

n/2 pozitif iyon (iç) ———> akım taşıyan

n/2 pozitif iyon (dış)

Net toplam sonuç her iki iyon sayısında da n/2 'lik bir azalmadır. Benzer azalma anot yakınındaki elektrolit derişiminde de olur. Her iki elektrotta da iyon yükünü bırakır, fakat akım taşıma sonucu yalnızca n/2 'si elektroda ulaşır. Eğer kararlı bir akım akışı söz konusu ise işlem süreklidir.

Başlangıçta her iki elektrot yakınındaki elektrolit derişimi azalır, fakat daha sonra her iki tip iyon derişim yükselişi etkisiyle bu bölgelere difüze olur ve bu durum yük geçişine (transferine) neden olmaz. Her iki mekanizma tarafından iyonlar elektroda ulaştığında yükünü bırakan iyonların sayısı eşitlenir ve kararlı bir duruma ulaşılır.

Eğer elektrolit bir metal tuzu ve elektrotlar aynı metalden yapılmışsa, negatif iyonlar anota ulaştıktan sonra elektronlarını vererek yüklerini bırakmayacaklardır, bunun yerine metal, metal elektrot üzerine elektronlarını bırakarak iyonize olacaktır. Bu durum elektrolit derişiminde bölgesel artışlara neden olacak ve bunun sonucu her iki tip iyon elektrotlardan uzağa doğru difüze olacaktır. Farklı iyonlar çözeltide aynı hızla hareket etmezler ayrıca pozitif ve negatif iyonların yükleri her zaman aynı değildir. Birçok sistemde ikiden fazla iyonik tür bulunur.

Elektroliz ile kaplama işlemlerinde Faraday yasasına göre kaplanan ürün miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır.

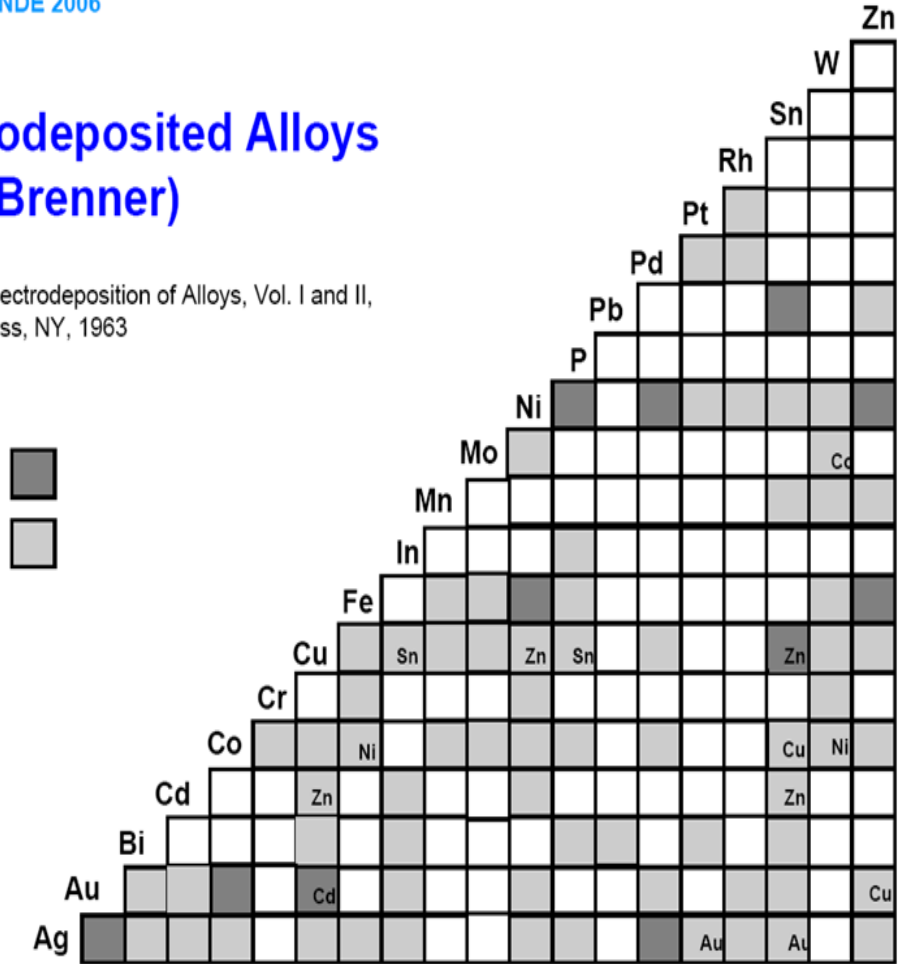
$$G = Ae \cdot F \cdot I \cdot t \cdot \eta_k$$

Bu formülde; G kaplanan ürün miktarını (gr), Ae teorik olarak katotta toplanan 1 Amper/Saatlik ürün miktarını (gr), F kaplanacak olan numune alanını (dm²), I akım yoğunluğunu (A/dm²), t kaplama süresini (saat) ve η_k katot akım etkinliğini göstermektedir [9].

D. Landolt, MINDE 2006

Electrodeposited Alloys (after Brenner)

A. Brenner, Electrodeposition of Alloys, Vol. I and II,
Academic Press, NY, 1963



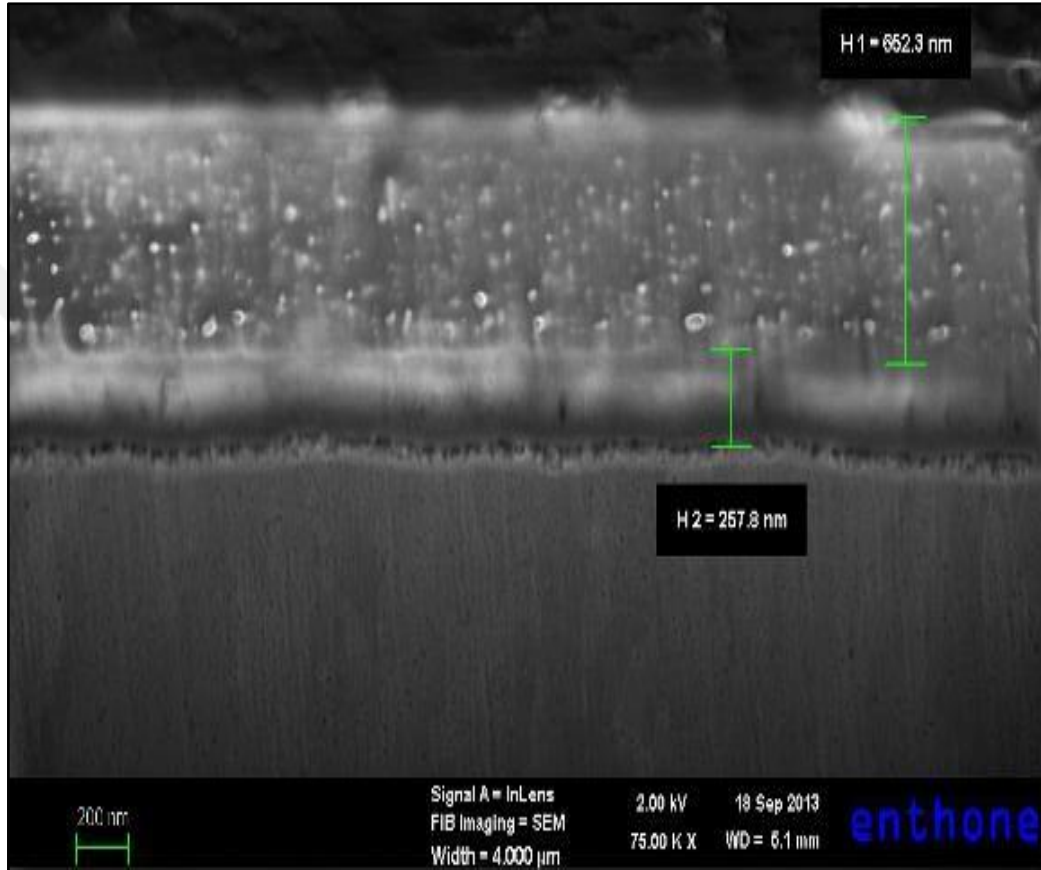
Şekil 2.1. Elektronik (katodik) yöntemle kaplanabilen elementler [10].

Elektrolitik kaplama, genel olarak metal, bazen de metal olmayan bir eşyanın üzerinde bir metal tabakası oluşturma işlemidir. Bu kaplamalar bir veya daha fazla metalin ince tabakalarından oluşurlar. Kaplama:

- Dekoratif amaçlar için,
- Korozyona karşı korunmak için,

· Maddeyi dış etkilere karşı daha dayanıklı hale getirmek gibi üç ayrı amaçla yapılacağı gibi, bazen aynı anda birden fazla amaç için de yapılabilir.

Elektrolitik kaplamada düşük voltajlı doğru akım kullanılır. Bu iş için kullanılan jeneratörler genellikle 6-12 volt ve yüksek amper gücündedir. Düşük enerjiler için akümülatör bataryaları kullanılır.



Şekil 2.2. Kaplanmış bir plakaya ait SEM görüntüsü

2.1. Elektrolitik Kaplamanın Önemi (Korozyonun Önemi)

Korozyon, metallerin veya alaşımların sahip olduğu özelliklerini kaybederek doğada daha kararlı bir hale geçmesi olayıdır, kısaca çevrenin etkisiyle malzemenin parçalanması ve kullanılamaz hale gelmesidir [10]. Korozyon doğal bir olaydır. Doğal olarak gerçekleşen tüm reaksiyonların sonucunda oluşan yapılar daha karardır. Yapının kararlılığı ise özelliklerini kaybeden metal veya alaşımların sahip olduğu enerjisindeki düşmeye entropisindeki yükselmeye bağlıdır. Aslında bütün

doğal olayların açıklanmasında enerji ve entropi gibi kavramların kullanılması bizim sonuçları doğru yorumlayabilmemiz için önemlidir.

Korozyon olayında kimyasal ve elektrokimyasal olaylar gerçekleşmektedir. Bu olay doğal bir olay olduğu için teorik derslerde görülen anodik ve katodik bölgeler de doğal olarak oluşmaktadır. Korozyon olayı anot ve katotta karşılıklı meydana gelen reaksiyonlar sonucu gerçekleşmektedir. Anotta yükseltgenme reaksiyonu ile metal, iyonu haline geçer. Bu durumda açığa çıkan elektron metal üzerinde kalır. Korozyon olayının devam edebilmesi için açığa çıkan elektronların bir şekilde katoda taşınması gerekmektedir. Eğer anotta toplanan elektronlar taşınmıyorsa, anot reaksiyonu kısa bir süre sonra dengeye erişerek durur. Eğer, elektron alışverişi olursa korozyon devam eder [12].

Korozyon ile hayatımızın her noktasında karşı karşıya kalabiliriz. Bu nedenle korozyon oldukça önemli doğal bir olaydır. Korozyonun bu önemi; ekonomik açıdan, tahribata uğramış bir metalin tekrar kullanılabilir bir hale dönüştürülebilmesi, güvenlik açısından; korozyon nedeni ile metalin zayıflaması, görevini yerine getiremeyecek duruma gelmesi ve ciddi kazalara neden olması, kaynakların korunması açısından; ileriye dönük olarak stokların oluşturulması şeklinde genel hatları ile açıklanabilir [13].

Korozyon, ekonomik açıdan olduğu kadar insan sağlığı bakımından da oldukça önemlidir. Özellikle, korozyon ürünlerinin, besin maddeleri ve ilaçların içine sızması tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Korozyon, endüstrinin her bölümünde kendini gösterir. Açık atmosferde bulunan tanklar, depolar, direkler, taşıtlar, iş makineleri, metal aksamdan yapılmış binalar, yeraltı boru hatları, gemiler, iskele ayakları vb. her şey korozyon süreci ile karşı karşıyadır. Korozyon sonucu dayanımını yitirmiş yapıtların, beklenmedik bir zamanda çökmesi iş kazalarına neden olur. Korozyon nedeniyle boşa giden harcamalar, üretim giderlerini de arttırmaktadır. İngiltere’de korozyon ve korozyonun neden olduğu ekonomik kaybın, yıllık 1365 milyon pound olduğu tahmin edilmektedir. Bunun için bilim adamları, korozyon hızının ölçülmesi ve korozyondan korunma önlemlerinin alınabilmesi için sürekli araştırmalar yapmaktadır. Elde edilen veriler doğrultusunda yeni alaşımlar veya istenildiği takdirde korozyon sürecine müdahaleler söz konusu olmaktadır [14].

2.2. Elektrolitik Kaplamanın Kalitesine Etki Eden Faktörler

- a. Akım Yoğunluğu
- b. Konsantrasyon
- c. Sıcaklık
- d. Dağıtma Gücü (Throwing Power)
- e. pH
- f. Elektrolit Özelliği

2.2.1. Akım Yoğunluğu

Hücre koşullarında; katot tepkimesi en düşük negatif değere sahip yük bırakma potansiyelindeki tepkimedir. Benzer şekilde anot tepkimesi en küçük pozitif potansiyele sahip tepkimedir. Herhangi bir tepkimenin gerçekleşmesi için uygulanacak gerilimin bu iki değer farkından büyük olması gerekir. Elektrotların polarizasyonu akımla değiştiğinden, akım ve gerilim arasındaki ilişki doğrusal değildir, fakat gerilimdeki artış akımda bir artışa neden olur.

Kaplanan yüzeyi göz önüne alması nedeniyle katottaki akım yoğunluğu önemli bir değişkendir. Belirli bir sürede akım yoğunluğundaki artış, biriken metal miktarındaki artışa neden olur ya da belirli kalınlıktaki birikim için daha hızlı kaplama prosesini sağlar. Kaplama sırasında katot bölgesine metal iyonlarının difüzyonu birikim ile baş başa gitmediği bir noktaya ulaşılır ve bu noktada bir teorik limit akım yoğunluğu vardır. Uygulamada bu akım yoğunluğuna ulaşılmadan önce birikim yeterli ve istenilen özellikte değildir. Elektrolitik kaplamada limit akım yoğunluğu terimi yeterli birikimin elde edilmediği değer üzerindeki değeri ifade eder. Bu değer üzerinde birikim, koyu ve pudramsı ya da süngerimsi görüntüde olabilir.

Limit akım yoğunluğu değeri hücre koşullarına ve metal iyonlarının derişimine bağlıdır. Kaplama hızının büyük olması için yüksek derişimler gereklidir. Uygulamada birçok kaplama sistemlerinde katot akım yoğunluğu 1 ile 10 amp/dm² aralığındadır, fakat bazı özel durumlar için daha yüksek değerler kullanılır. Birikimin kalınlığının yüzeyin her bölgesinde aynı olması için, akım yoğunluğunun katotun

bütün noktalarında aynı olması gerekir, bu ise ancak anotun en yakın noktası ile katotun her noktası arasındaki uzaklık aynı ise olasıdır. Uygulama da ise durum bundan farklıdır ve anot ve katotun değişik noktaları arasındaki akımla ilgili direnç farklı bu yüzden bu noktalardaki akım yoğunluğu farklıdır. Bu tür durumlarda birikimin kalınlığı her noktada aynı değildir. Eğer yalnızca direnç tek etken olsa birikimin her noktada aynı olmaması yalnızca elektrot sisteminin geometrisine bağlı olur.

Kısaca; akım yoğunluğunun artışının kaplamanın yapısı bakımından iki karşı etkisi vardır. Akım yoğunluğu artınca kristallerin oluşma hızı artmış olur ve kaplama ince yapılı olur. Fakat akım yoğunluğu daha da artınca katot dolayında deşarj olan metal iyonları çözelti içinden gelenlerle yeterince karşılanamadığından katota bir fakirleşme meydana gelir. Bunun sonucu kaplama homojen olmaz ve kalite bozulur. Siyah ve süngerimsi kaplamalara yol açar. Katotta fazla hidrojen çıkışı akım yoğunluğunun artmış olduğuna işarettir [3].

2.2.2. Konsantrasyon

Kaplamanın yapısı üzerinde konsantrasyonun etkisi oldukça büyüktür. Konsantrasyon yüksek olduğunda, kristallerin oluşum hızı büyük olacağından ince yapılı ve temel metale iyice yapışık, sağlam bir kaplama elde edilir. Katottaki yerel fakirleşmeyi karşılamak amacı ile banyoda kaplanacak malzemeyi hareket ettirmek yararlıdır. Ayrıca banyonun periyodik olarak filtre edilmesi oldukça yararlıdır. Elektrolite hava ile (düşük basınçta) hareket de verilebilir fakat dipteki tortular, pislik vs. elektrolitte devamlı sirkülasyon yapacağı için kaplanacak parçaların yüzeyine yapışma ihtimali vardır.

2.2.3. Sıcaklık

Sıcaklığın iki karşıt etkisi vardır. Bir taraftan difüzyonu arttırdığından kristallerin oluşum hızını artırır ve böylece küçük kristalli yapılar elde edilir. Fakat diğer taraftan katot polarizasyonunu azaltır ve böylece büyük kristallerin oluşmasına

bunların büyümesine sebep olur. Sıcaklık artışı ile hidrojen çıkışı kolaylaşacak ve kaplama süngerimsi yapıda olacaktır [3, 9, 15].

Kaplama banyosundaki sıcaklığın yükseltilmesi genellikle metal tuzunun çözünürlüğünü ve çözeltilerin iletkenliğini artırır, bu ise daha büyük kaplama hızı sağlayan yüksek akım yoğunluklarının kullanılabilmesi anlamına gelmektedir. Sıcaklık birikiminin özelliğini etkiler ve sıcaklıktaki artış yetersiz kaplamanın oluşumuna yol açar. Yüksek sıcaklıklar suyun buharlaşması ve duman problemlerini artırır. Kaplama banyolarındaki yüksek asit derişimi veya siyanürün vs. ortamda bulunması nedeniyle oluşan duman tehlikeli durumlar yaratır ve bazen kesin önlemlerin alınmasını gerektirir [16].

2.2.4. Dağıtma gücü

"Dağıtma gücü" terimi düzensiz bir katot yüzeyinde kaplama sisteminin düzenli (tek düze) bir birikim üretme yeteneğini tanımlamak için kullanılır. Bir elektrolitin dağıtma gücü, akım veriminin akım yoğunluğu ile ve polarizasyonun akım yoğunluğu ile değişimi sağlanarak iletkenlik ile saptanır. Elektrolit iletkenliğindeki daha büyük değişimler, direnç değişiminde daha küçük ve bu nedenle akım yoğunluğunda daha küçük değişimlere neden olur. Metalin birikiminde etkili olan toplam akımın yüzdesi olan akım verimi, akım yoğunluğu ile değişir. Bazı çözeltilerde akım yoğunluğu arttıkça akım verimi de artar bu ise dağıtma gücünün gelişimine neden olur.

Diğer bazı çözeltilerde akım veriminin değişimi dağıtma gücünü azaltıcı yöndedir. Katottaki polarizasyon doğrudan doğruya akım yoğunluğuna bağlıdır, anota yakın bölgelerdeki polarizasyon uzak olanlara göre daha fazladır. Polarizasyonun artırılmasının etkisi, elektrot tepkimesinin gerçekleşmesi için gerekli uygulanan gerilim payının artırılması şeklindedir, bu ise akım miktarının azaltılmasıyla gerçekleşir, bu nedenle polarizasyonun etkisi akım yoğunluğundaki değişimlerin azalması şeklindedir. Polarizasyonun akım yoğunluğu ile değişiminin daha büyük olması, tüm diğer değişimlerin daha küçük olmasına ve dağıtma gücünün daha büyük olmasına neden olur.

Bazı kaplama çözeltilerinde akımın belirli aralıklarla yön değiştirilmesi yoluyla birikimin daha tekdüze (uniform) olduğu saptanmıştır. Bu genellikle siyanür çözeltisinde ve özellikle bakırın kaplanmasında uygulanır. Akım yönünün değiştirilmesi katot çevresindeki elektrolit tabakasında bir değişime, yüzeydeki katkı maddelerinden oluşan ince tabakada iyileşmeye, yük çekimi ile tutulan yabana taneciklerin koparılmasına ve bir miktar metalin çözünmesine neden olur. Bu prosesler difüzyon kontrollüdür ve eğer önemli oranda gerçekleşirse, yön değiştirme zamanı saniye ya da daha fazla büyüklükte olmalıdır. Yön değiştirme zamanı ve akımdaki yön değiştirmenin daha büyük değerler kaplama prosesinin toplam veriminde daha düşük değerlerin elde edilmesine neden olur. Çoğu kez ters yönde akan elektrik miktarı normal yönde akan miktarın %20' sinden azdır, fakat bazı durumlarda daha büyük yüzeyde değerlerde kullanılmaktadır.

Özetle; elektrolitik metal kaplamada kaplamanın sadece özelliklerinin ve görünümünün istenilen şekilde olması yeterli değildir. Aynı zamanda kaplamanın, malzemenin tüm yüzeyinde aynı olması gerekmektedir. Ekonomik açıdan bakıldığında kaplama kalınlığının minimum olması istenir. Düzgün şekilli olmayan bir malzeme üzerinde oldukça düzgün bir kaplamanın elde edilebilmesi için elektrolitin gösterdiği özelliğe (throwing power) dağıtma gücü denir. Düzgün olmayan dekoratif bir parça kaplanmak istendiğinde anota yakın olan kısımlar daha uzak olan kısımlara göre daha kalın bir tabaka ile kaplanır. Ohm kanununa göre yakın noktalar arasında direnç daha azdır. Anota yakın olan bir nokta öteki noktalara göre daha yüksek bir akım yoğunluğuna tabi tutulduğunda bir süre sonra bu nokta metalik iyon bakımından fakirleşmiş olur ve polarizasyon kendini gösterir, karşıt bir e.m.k. meydana gelir ve bu düşünülen nokta ile anot arasında elektrolit direncinin artması demektir. Bunun sonucunda anoda uzak olan noktalar hesabın gösterdiğinden daha büyük bir akım alır ve böylece kaplama gücü artar. İletkenliği fazla olan çözeltinin polarizasyonu fazladır. Bu iletkenliği fazla olan elektrolitlerin kaplama gücünün fazla olduğu anlamına gelmektedir. Sıcaklık artışı iletkenliği arttırsa da polarizasyonu daha da arttıracığından kaplama gücünü azaltmış olur [3, 9, 15].

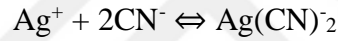
2.2.5. pH

Her asit veya asitleştirilmiş eriyiğin içerisinde hidrojen iyonları bulunur ve asitlik reaksiyonuna neden olan bu (H) iyonu yani pozitif elektrik yüklü hidrojen atomudur. Galvanoteknikte elektrolitler asidik, alkalik veya alkalik siyanürlü karakterde hazırlanırlar. Elektrolitlerin uygun pH değerinin altında ve üzerinde bir pH a sahip olması kaplama kalitesini direk olarak etkileyecektir. Bundan dolayı birden fazla sayıda kaplama elektrolitini bir arada barındıran bant sistemlerinde kaplama işletmelerinde bir banyodan diğerine geçerken ara yıkama ve nötrleme gibi pH değerini etkileyebilecek basamaklara oldukça dikkat edilmelidir [17].

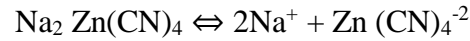
2.2.6. Elektrolit

Elektrolit normal olarak kaplanacak metali iyonik halde içeren sulu bir çözeltilerdir. Bazı metaller yüksek değerde negatif yük bırakma potansiyeline sahip olduklarından sulu çözeltileri kullanılarak kaplanamazlar, bu tür metallerin sulu çözeltileri kullanılarak birikimleri için yapılacak denemede katotta hidrojen çıkışı olacaktır. Alüminyum bu türün önemli olan bir kaplama metalidir ve alüminyum kaplama ergitilmiş tuz ya da sulu olmayan organik elektrolit kullanılarak gerçekleştirilir. Bir hücreye bir gerilim uygulandığında hücrede geçerli koşullar altında en az negatif değerde yük bırakma potansiyeli için katotta reaksiyon olur. Yük bırakma potansiyelleri iyonik derişim, akım yoğunluğu, sıcaklık vs. gibi etkenlerle değişir, bu değişimin büyüklüğü farklı türler için farklı değerdedir. Katotta istenen birikimin sağlanabilmesi için elektrolitin durumu önceden düzenlenmelidir. İki prosesin yük bırakma potansiyelleri birbirine çok yakın değerde ise, her ikisi birden oluşur, iki metalin birlikte birikimi alaşım kaplamada kullanılır. Hidrojenin yük bırakma potansiyeli metalinkine yakınsa kaplama ile birlikte hidrojen gazı çıkışında söz konusu olur. Bu durumla uygulamada birçok sistem için karşılaşılır ve bu ise akım veriminin düşmesine neden olur. Hidrojen çıkışı birikimde delik ve gözeneklerin oluşumuna ve bunun sonucu toz haldeki birikimlerin oluşumuna neden olur. Kaplanan metal tarafından hidrojen absorpsiyonu kırılmalıya neden olur. Öte yandan hidrojen kabarcıklar, çözeltilde etkili bir karışmayı sağlar. Elektrolitte metali

iyonik halde bulundurmanın en basit yolu, o metalin basit bir tuzunun çözeltisini kullanmaktır. Uygulamada ekonomik yönden başlıca istenen şey yüksek birikim hızıdır, bu ise yüksek akım yoğunluğu demektir. Katotta derişim polarizasyonunun etkisini azaltmak için çözeltideki metal iyonu derişiminin yüksek olması gerekir. Aynı zamanda çözeltiye iyi bir iletkenlik sağlamak ve dirençsel kayıpları azaltmak için çözeltideki toplam iyonik derişiminde yüksek olması gerekir. Bu durum ise yüksek çözünürlükteki metal tuzlarının kullanımını sınırlandırılır. Metal tuzu seçiminde diğer bir sınırlayıcı etken ise metal tuzu anyonunun anotta yükünü bırakmaması gerektiğidir. Nitrat, klorür ve sülfatlar genellikle kullanılan anyonlardır. Aynı zamanda bunların tuzlarının karışımında kullanılır. Bazı sistemlerde ise fluoboratlar ve bazı organik asitlerin tuzları kullanılmaktadır. Bazı durumlarda metal bir kompleks iyon halinde bulunuyorsa daha iyi bir kaplamanın elde edildiği saptanmıştır. Bir kompleks iyon bir basit metal iyonu ile bazı basit anyonların birleşmesi sonucu verdikleri yeni bir negatif yüklü iyondur. Örneğin, gümüş iyonları ve siyanür iyonları birleşerek gümüş siyanür iyonunu oluştururlar.



Kompleks iyon çok kararlıdır bu nedenle alkali çözeltide ayrışması çok azdır, ve potasyum gümüş siyanür gibi tuzlar $[\text{KAg}(\text{CN})_2]$ oluştururlar. Altın, çinko ve kadmiyum da siyanürle kompleks tuzlar oluştururlar.



Sözü edilen bu kompleks tuzlar kaplamada genellikle kullanılan kompleks tuz türleridir.

Bir kompleks tuz suda çözündüğünde bir basit katyon ve kompleks anyon oluşur ve gerçekte kaplanacak metal elektrik alanın etkisiyle katotdan uzaklaşır. Katot prosesi siyanür iyonunun açığa çıkışıyla metalin doğrudan doğruya kompleks iyondan birikimidir. Kompleks iyonlar katota yük bırakma sonucu oluşan derişim değişimi (gradienti) etkisi altında ulaşırlar. Uygulamada kompleks iyonlar genellikle çözelti içerisinde oluşturulur. Kaplama metali basit siyanür ya da oksit hali ile yeteri oranda potasyum ya da sodyum siyanürle birlikte kompleks yapmak üzere çözündürülür ortamda sodyum ya da potasyum siyanürün aşırısı bulundurulur. Basit tuzların kullanıldığı durumlarda bile kompleks oluşumu söz konusu olabilir, Özellikle klorür iyonları kompleks iyon oluşturmaya yatkındırlar.

Herhangi bir kompleks oluşumu söz konusu değilse, metal iyonu daima belirli sayıda su molekülleri ile birleşmiş haldedir.

Metal tuzunun ve yanında elektrolitin diğer bileşenlerinin bulunduğu kaplama en uygun birikim veren kaplamadır. pH kaplama banyolarında çok büyük önem taşır. Basit metal tuzlarının kullanımı halinde çözelti asidik olmalıdır, aksi halde alkali çözeltide kaplama metali hidroksit halinde çöker. Öte yandan siyanür banyoları bazik olmalıdır, bunun nedeni kompleks iyonların çoğu asidik çözeltide kararsız halde bulunur. Hidrojen ya da hidroksil iyonlarının çözeltide bulunması iletkenliği artırır ve bu amaçla bazen asidin aşırısı çözeltiye eklenir. Hidrojen iyonu derişimindeki artış yük bırakma potansiyelinin değişmesine, bu ise katotta hidrojen çıkışına neden olur. pH aynı zamanda kompleks iyonun yapısını ve basit iyonun hidrasyon derecesini etkiler bunun sonucu olarak birikimin özelliğini etkiler. Eğer katotta hidrojen ya da anotta oksijen yükünü bırakmışsa sistem pH daki değişimleri karşılayacak şekilde düzenlenmelidir. Bazı kaplama banyolarında en uygun pH değerini korumak amacıyla tampon çözeltiler kullanılır.

Birikimin özelliklerini iyileştirmek amacıyla elektrolite katkı maddeleri de eklenir. Bunlar etkileri deneysel gözlemler sonucu saptanan, genellikle organik maddelerdir, bazıları ise kolloidal maddelerdir. Bu maddeler elektrolit içine çok az olarak katılır (% 0,01). Ancak bu miktar bile birikimin özelliğinde büyük değişimlere yetecek orandadır. Katkı maddelerinin kullanımında ilk uygulamalarda büyük boyuttaki düzensizliklerin giderilmesi amaçlanmıştır. Tutkalın kullanımı sonucu kurşun kaplamada dallanma eğilimini azaltma etkisi gözlenmiş, bu tür birikime yatkın diğer metallerde de aynı etki görülmüştür. Yakın geçmişte, çok daha küçük boyuttaki düzensizlikleri giderici katkı maddeleri bulunmuştur.

Büyük boyutlu (makroskopik) düzensizliklerin giderilmesi düzgün fakat donuk bir yüzey verir. Küçük boyutlu (mikroskopik) düzensizliklerin giderilmesi daha sonra parlatmaya gereksinim göstermeyen parlak yüzey elde edilmesini sağlar. Herhangi bir proseste kullanılan katkı maddelerinin özelliği ve miktarı deneysel olarak saptanmıştır, öte yandan mekanizma çalışmaları bu tür maddelerin birikim prosesinde etkili olduğunu da göstermiştir. Katkı maddeleri birikim yüzeyi tarafından absorplanır, daha ince birikimin oluşmasını ve kristalin büyümesini önler. Katkı maddeleri birikimin görünümünde olduğu kadar mekanik özellikleri üzerinde de etkilidir, parlak birikimler diğerlerine oranla daha ince tanecikli birikimlerdir.

Elektrolitteki safsızlıklar istenmeyen özellikte birikimlerin oluşumuna neden olur. Kaplanacak metalin dışındaki iyonlar, yük bırakma potansiyeline bağlı olarak ya katotta birikebilirler ya da çözültide kalırlar. Katotta birikmekler bile, birikimin kalitesi üzerinde etkili olurlar. Toz ve metal tanecikleri gibi çözünmeyen safsızlıklar fiziksel olarak katota etki eder ve kaplamada çukur ve deliklerin oluşumuna neden olur. Bu durum özellikle elektrolitin karıştırılması ve çözünmeyen maddelerin dipte çökmesine olanak verilmediği durumlar için söz konusudur.

Endüstriyel sistemlerin çoğunda çözünmeyen taneciklerin elektrolitten sürekli olarak filtre edilmesi gerekir. Organik safsızlıklar katkı maddelerinin davrandığı biçimde, aynı mekanizma ile birikimin iyileştirilmesine yardımcı olabilir. Bazı hallerde istenmeyen sonuçları önlemek amacıyla filtrasyonun yanısıra elektrolitin hazırlanması sırasında saflığının sağlanması yeterli, fakat bazen elektrolitin sürekli sirküle edilmesi ve saflaştırılması gereklidir.

Kaplama banyosundaki sıcaklığın yükseltilmesi genellikle metal tuzunun çözünürlüğünü ve çözeltinin iletkenliğini artırır, bu ise daha büyük kaplama hızı sağlayan yüksek akım yoğunluklarının kullanılabilmesi demektir. Sıcaklık birikimin özelliğini etkiler ve sıcaklıktaki artış yetersiz kaplamanın oluşumuna yol açar. Yüksek sıcaklıklar suyun buharlaşması ve duman problemlerini artırır. Kaplama banyolarında yüksek asit derişimi nedeniyle ve siyanür vb'nin ortamda bulunması nedeniyle oluşan duman, tehlikeli durumlar yaratır ve kesin önlemlerin alınmasını gerektirir. Diğer değişkenlerde göz önüne alınarak, en uygun sıcaklık kaplama hızı ve birikim kalitesi arasında en iyi ortak noktayı sağlayacak ve genellikle deneysel olarak saptanan sıcaklıktır. Uygulamada kaplama sıcaklıkları oda sıcaklığından hemen hemen kaynama noktasına kadar değişen bir aralığı kapsar.

Termal konveksiyon akımları, kaplama banyolarında bir miktar karıştırma sağlar. Karıştırmanın herhangi bir türü metal iyonlarının katota ulaşma hızını artırır ve derişim polarizasyonunu azaltır.

Hidrojen katotta metalin birikmesi yanı sıra açığa çıkıyorsa yüzeyi terk eden kabarcıklar çok etkili bir karışma sağlarlar. Diğer bazı sistemlerde bu etki tankın dibinden hava kabarcıkları göndererek sağlanabilir. Endüstriyel proseslerin çoğunda kaplanan metalin hareketi ve elektrolitin, filtreler boyunca dolaşımı bir karıştırma görevi görür [3].

2.3. Metal Kaplama Öncesi Metale Uygulanması Gereken İşlemler

İyi bir kaplama elde edebilmek için kaplanacak maddenin temizlenmesi gerekir. Bu işlem kaplama işlemi kadar önemlidir. Metal yüzeylere yapışabilecek yabancı maddeler,

- Oksitler veya aşındırıcı etkiler sonucunda oluşan pas, leke, pul gibi ürünler.
- Organik maddeler, yağlar ve çeşitli şekildeki kirler olabilir.

Yağlar ve korozyon ürünlerinin giderilmesi sırasında diğer yabancı maddeler de bunlarla birlikte uzaklaştırılmış olur. Korozyon ürünleri mekanik temizleme veya pikling ile uzaklaştırılabilir. Pikling esnasında asit banyosunun uniform etki göstermesi için yağlar önceden temizlenmelidir. Bu işlemler yapılırken kaplanacak maddenin malzemesi, bileşimi, şekli, büyüklüğü gibi faktörlerin gözönüne alınması gerekir.

Temizleme işlemi şu sırayı izler

- 1 — Parça yüzeyinin temizlenmesi,
- 2 — Yağ çıkarma,
- 3 — Oksit tabakasının giderilmesi.

Bu işlemlerden sonra banyoda kaplama yapılır.

2.3.1. Parça Yüzeyinin Temizlenmesi

Kaplanacak parça çelik telden yapılmış fırçalar, zımpara taşları ve törpülerle düzeltilir. Yüzeylerin çok kaba olması halinde düzeltme kum püskürterek rodaj veya diğer mekanik aşındırıcılarla yapılır sonra özel fırçalarla parlatılır.

2.3.2. Yağ Çıkarma

Alkalilerle yağların temizlenmesi işleminde, yağlar sıcak alkalilerle sabunlaştırılır ve yıkanır. Bu işlemle kir ve laklar da uzaklaştırılmış olur. Sabunlaştırma için NaOH, Na₂CO₃ ve Na₃PO₄ çözeltileri kullanılır. Bunlar çoğu zaman tek başına kullanılmayıp Na₂SiO₃, NaCN, boraks gibi maddelerin birini ya da birkaçını da içerirler.

Elektrolitik olarak yağların temizlenmesinde madde temizleme çözeltisi içine katot olarak yerleştirilir veya alternatif akım uygulamak suretiyle parça hem katot hem de anot durumunda bulunabilir. Elektrolit olarak kullanılan çözelti Na₂CO₃, NaOH ve NaCN içerir. Katot yüzeyinde hidrojen çıkışı yağ filmlerinin yüzeyden ayrılmasını sağlar. Katottan ayrılan yağ kir boya gibi maddeler diğer yabancı maddelerle çözelti içinde emülsiyon yaparlar. Hidrojen çıkışı çözeltiyi karıştırma görevi de görür ve bir kısım taze çözeltinin katot yüzeyine taşınmasına yardımcı olur. Elektrolitik temizleme endüstride ayrıca boyalı metal kap ve tenekelerden boyanın çıkarılması, çelik varillerin, silindirlerin, gemi parçalarının temizlenmesi işlemlerinde kullanılır.

2.3.3. Oksit Tabakasının Kaldırılması

Yağdan temizlenmiş olan metalik parçaların üzerinde ince bir oksit filmi oluşur. Bu oksit filminin kaldırılması işleme dekapaj denir. Demir ve çelik dekapajı için 2N HCl veya H₂SO₄, döküm parçaları için %1-1,5'lük HF, Cu alaşımları için H₂SO₄, HNO₃ ve az miktarda HCl kullanılır.

2.4. Kaplama Banyoları

Genellikle ince taneli yapışık ve kaplanacak cismin her yerinde aynı kalınlıkta olan kaplamalar elde edilmek istendiği için akım yoğunluğu, konsantrasyon, sıcaklık, katkı maddeleri bunu gerçekleyecek şekilde ayarlanır.

Kaplama banyolarında temel olarak,

- 1 — Metalik iyon veya radikal içeren tuz veya asit,
- 2 — Eğer tuz yeteri kadar iletkenlik sağlamıyorsa iletkenliği arttırmak için ilâve bir tuz,
- 3 — Anot korozyonunu arttırmağa yarayan bir madde,
- 4 — Birikintinin yapısını etkileyebilecek az miktarda katkı maddesi,
- 5 — Gerekiyorsa banyo pH ını belli bir aralıkta tutmak için tampon bulunmalıdır.

Kaplama banyoları sülfat, siyanür, klorür, perklorat, fosfat banyoları ve değerli metallerin biriktiği çözeltiler olmak üzere çeşitli tiplere ayrılır [17].

2.5. Elektrolitik Çinko/Nikel Kaplama

Metalik parçaları korozyondan korumak için koruyucu bir tabaka olan çinko/nikel ile kaplama işlemidir. Çinko/nikel kaplama işlemi alkali elektrolitlerle sağlanır. Demir ve çeliğin üzerindeki bir çinko/nikel tabakası onları korozyona karşı iyi bir şekilde korur. Çinko/nikel kaplamalarında kaplanacak demir üzerine iki element birden belirli oranlarda tutunur ve korozyona karşı koruyuculuk artar.

Çinko/nikel kaplama alkali özellikli banyonun içerisinde bulunan tuzlar ve organik ilaveler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Çinko/Nikel Kaplama Banyosu Parametre Değerleri

Kullanılan Kimyasallar	Banyo İçerisindeki Miktarlar
Çinko (g/L)	8,0 - 12,0
Nikel (g/L)	0,8 - 1,8
NaOH/KOH (g/L)	120 - 140
Parlatıcı (%)	Hacimce %0,25
Taşıyıcı (%)	Hacimce %4

Tüm çinko/nikel banyolarında organik ilavelerde mevcuttur. Bunlar ile kaplamanın parlaklığı, homojenliği sağlanmaktadır. Ayrıca çeşitli ilavelerle ayrıca banyonun kullanım ömrü uzatılmakta ve/veya çözeltinin diğer etmenlere karşı koruyuculuğu arttırılmaktadır.



Şekil 2.3. Çinko/Nikel Kaplama Banyosu Tamburlu Tipi Tesis



Şekil 2.4. Çinko/Nikel Kaplama Banyosu Daldırma Tipi Tesis

Çinko alaşımı birikimi son zamanlarda ilgi çekici hale gelmiştir çünkü bu tür alaşımlar elektrogalvanizli kaplamalardan daha iyi korozyon koruması sağlar. Zn-Ni alaşımları, yüksek derecede korozyon direnci ve mekanik özellikleri nedeniyle diğer çinko alaşımlarından daha fazla ilgi görmüştür. Özel çalışmalarda, belirli bir bileşim aralığında (ağırlıkça %12-14 Ni) elektrokaplama Zn-Ni alaşımlı kaplamanın korozyon direncinin, eşit kalınlıktaki saf çinkoya göre 5-6 kat daha iyi olabileceği gösterilmiştir.

Her ne kadar Zn-Ni alaşımlı elektrodpozitler esas olarak otomobil çelik gövdelerinin korozyon direncini geliştirmek için kaplama olarak kullanılsa da, bu kaplamalar elektrokatalitik su elektrolizi ve elektronik endüstrisinde gibi diğer birçok uygulama için de değerlendirilmiştir. Bu alaşım aynı zamanda uçak ve ticari çelik parçaların kaplanmasında kadmiyuma uygun bir alternatif olarak da değerlendirilmektedir [18].

Çinko-nikel gibi alaşımlı kaplamalar, çinko kaplamaların ömrünü uzatmak için kullanılır. Çinko-nikel alaşımı kaplama, diğer çinko alaşımı kaplamalardan daha uzun bir geçmişe sahiptir ve korozyona en dirençli çinko alaşımı olarak kabul edilir. Bu tip kaplamaların önemli özelliklerinden biri de kaplanmış çelik parçaların süneklik özellikleridir; Isıl işlem ve şekillendirme işlemleri sonrasında korozyon direnci optimum düzeye çıkarılmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle bu alaşım bağlantı cıvataları, fren sistemi elemanları, yakıt sistemi gibi parçaların kaplanmasında araştırılmaktadır. Isıya, ultraviyole ışığa, hidrolik sıvılara ve yakıtlara karşı dayanıklılık bu tür kaplamaların diğer özellikleridir. Cıvata ve dişli parça endüstrisinde çinko-nikel alaşımlı kaplamaların kullanımı artıyor. Bu kaplamalar alüminyum ile temas halinde galvanik korozyonu engellemediğinden alüminyum gövdelerle uğraşan endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak çinko-nikel alaşımları en pahalı kaplamalar olarak kabul edilir. Bu alaşımlar, farklı kaplama özellikleri sağlayan hem asidik hem de alkali banyolarla kaplanır. Bu makale, çinko-nikel alaşımlı kaplamalar üzerinde yapılan çalışmaları, banyoları ve özelliklerini analiz etmeyi, farklı parametrelerin elektrokaplama üzerindeki etkisini, ayrıca Zn-Ni çok katmanlı ve kompozit kaplamaları ve özelliklerini gözden geçirmektedir [19].

Çinko-nikel alaşımı biriktirme işlemleri, banyoların pH aralığına göre asit tipi ve alkali tip olmak üzere iki tipe ayrılabilir. Asit banyosundan kaplanan çinko-nikel kaplamaların nikel içeriği, katot akım yoğunluğunun değişimine karşı daha

duyarlıdır. Bu nedenle asit çinko-nikel kaplamalar yalnızca basit şekilli çelik parçalar için kullanılabilir ve endüstriyel uygulamaları sınırlıdır. Buna karşılık alkali çinko-nikel banyoları, kaplamalarda daha düzgün nikel içeriği sağlayabilir. Ek olarak, alkali çinko-nikel biriktirme prosesinin asit prosesine göre daha az ekipman korozyonu ve daha düşük ürün maliyeti gibi başka avantajları da vardır [20].



2.5.1. Elektrolitik inko/Nikel Kaplama Prosesinde İş Akışı

Çinko/nikel kaplama banyoları otomatik kaplama sistemleridir ve kaplanacak melzemeler bir proses akışına göre kaplama banyolarına girer. Bu proses iş akışı aşağıdaki şekilde görülmektedir.



şekil 2.5. Genel Bir inko/Nikel Kaplama Prosesinde İş Akış şeması

Kaplama banyosu proses şeması şekil 2.5 de gösterilmiştir. Kaplama prosesine girecek olan malzeme öncelikle alkali özellik gösteren sıcak yağalma banyosuna daldırılıp yağ kirliliği alınmaktadır. Daha sonra kaplama prosesi için son derece öneme sahip olan elektrolitik yağalma banyosuna sokulur bu banyoda alkali özellik göstermektedir. Bu temizlikteki amaç malzemeye ters akım verilerek malzeme üzerindeki kirli partüküllerin malzemedan uzaklaştırmaktır. Sonra asidik yağ alma banyosuna sokulan malzeme son olarak paslanmaya bağlı oluşan kirlilikleri temizlenmiş olur. Bütün temizlik işlemleri biten malzemeler kaplamanın gerçekleşeceği çinko/nikel kaplama banyosuna girer burada malzeme yeterli mikron kalınlığına ulaşır ve kaplanmış olur. Sonra malzemeye son koruyucu tabaka oluşturmak ve istenilen rengi sağlamak için pasivasyon prosesine alınır. Bu işlem yapıldıktan sonra malzeme kurutma işlemi uygulanır ve proses tamamlanmış olur. Bir prosesin tamamlanması yaklaşık üç saati alabilmektedir.

Konuyla ilgili yapılan bir çalışmada siyanürlü banyolar ile çalışılmış, kaplama banyosunun sıcaklıkları ve banyoya verilmiş olan akım değerlerinin değiştirilerek uygun kalitede ve kaplama kalınlığında malzeme kaplanması sağlatılmaya çalışılmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda asitli banyo verimin siyanürlü banyolara göre daha yüksek olduğunu ve kaplama akımının arttırıldıkça sürenin kaplama süresinin kısaltılması gerektiği ve sıcaklık artmasıda kaplama süresinin kısalması gerekliliğini tespit etmiştir [2].

Ayrıca başka bir çalışmada Hull-Cell yöntemini kullanarak kaplama banyosundaki kimyasal bileşenler olan potasyum klorür konsantasyonu, çinko klorür konsantasyonu, borik asit konsantasyonu, pH, sıcaklık ve akım değerlerini değiştirilerek uygun kaplama parametrelerini tespit etmeye çalışmıştır. Yaptığı çalışmada deneyler sonucunda potasyum klorür konsantrasyonunun yükselmesi kaplamada matlıklara düşürülmesi ise kaplamanın yapılamamasına sebep olmuş ve sıcaklığın yükseltilmesi görüntü bozukluğuna kaplamada kabarmalar oluştuğu gözlenmiştir [21].

Son olarak 2006 yılında bir çalışma yapılmış bu çalışmada ‘Çinko-Nikel alaşım kaplamalarının karakteristiklerinin incelenmesi’ çalışmasını gerçekleştirmiştir. Çalışmalar Hull-Cell yöntemiyle yapılmış olup ölçümler X-Ray cihazı ile yapıp karşılaştırılmış. Kaplama banyosunun içerisinde bulunan taşıyıcı, parlatıcı konsantrasyonları ve kompleksan olarak tektraetilen pentamin ve trietanolamin konsantrasyonları parametrelerini değiştirilerek uygun kaplama karakteristiklerini

tespit etmeye çalışmıştır. Yapılan çalışma sonucunda uygun kaplama banyosu için 10 g/L metalik çinko, 120 g/L sodyum hidroksit ve 1,5 g/L metalik nikel oranları tespit edildiği görülmektedir [22].

Bu tez çalışmasında günümüzde kimyasal tedarikçinin çoğunluğunun ithal olması sebebiyle kaplama banyosu için en uygun kimyasal değerler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için banyonun çinko konsantrasyonu, nikel konsantrasyonu, sodyum hidroksit konsantrasyonu ve tedarikçisini Macdermid firması tarafından yapılan kompleksanlar olarak taşıyıcı-parlatıcı ticari ismi taşıyıcı ve parlatıcı olan bileşenlerin konsantrasyonları incelenecek olup bu değerler için en uygun optimal seviyeler tespit edilmiştir. Çalışmada Hull-Cell yöntemi uygulanıp ölçümler X-ray cihazı ile yapıp raporlanmıştır. En uygun kaplama parametrelerinin tespit edilmesi ile; minimum miktarda kimyasal kullanımı, maksimum miktarda korozyon dayanımı amaçlanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmamızda Hull Cell yönetimi kullanımı için akım kaynağı ve tek bir yüzü 0.7dm² (10 cm x 7 cm) alana sahip parlak çelik plakalar kullanılmıştır. Testler için kullanılan NaOH, nikel, çinko ve taşıyıcı-parlatıcı kimyasalları çalışmaları yaptığımız Norm Coating firmasından temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1 Hull Cell Yöntemi

Bir kaplama banyosunun başarılı olarak çalışabilmesi için, bütün hata nedenleri kontrol altında tutulmalıdır. Bu açıkça bilinen bir gerçek olmasına rağmen hata nedenleri her zaman açıkça anlaşılabilir.

Hatalar yanlış düzenlenmiş kimyasal madde konsantrasyonlardan, banyoda çözülmüş olarak bulunan yabancı maddelerden, atmosferdeki kirlilikten, askının kirli olmasından, banyoda kullanılan kimyasalların zamanla üretmiş oldukları tortudan, anottan dolayı veya kimyasalların kendisinden kaynaklanan ve banyo çözeltisinin saflığını bozan maddeler yüzünden oluşabilir.

Hull cell kabı bu testi yapmak için özel olarak geliştirilmiştir. Hull cell testi, kaplama esnasında uygulanan normal akım yoğunluğunun biraz üzerinde ve biraz aşağısındaki akım yoğunluklarını kapsar. Bu ekstra akım yoğunluğu sahası sayesinde normal akım aralığında test yapılmadan daha önce, kaplamadaki hatayı tespit etmek mümkün olur.

Yapılacak bir Hull Cell testinin sonuçları kaplama için en uygun değerler etrafında elde edilebilecek kaplama akım genişliğini gösterir. Aynı zamanda akım yoğunluğu hatası banyoda da tecrübe edebilir. Bu hatanın üstesinden gelmek için, kullanılan toplam akımı düşürmek uygun olabilir.

Kaplama testi, banyonun kaplama için en uygun sahada çalışıp çalışılmadığını gösterir. Bir kaplama banyosunu denetlemek Hull Cell kullanılarak mümkün olur. Bununla birlikte, çoğu banyo için kaplama testiyle kimyasal analizin birlikte kullanılması, kesin olarak bulunmak istenen ölçülebilir bilgileri verdiği için en iyi yöntemdir.

Hull Cell kabı katot genişliği boyunca her bir noktada akım yoğunluğu düzenli olarak değişecek şekilde yapılmıştır.

Eğer testin amacı yeni bir banyoya eklenen maddelerin konsantrasyonunun etkisini değerlendirmek ise, mümkün olan en geniş parlak sahaya verecek olan toplam akım kullanılır. Test sırasında çözeltiye eklenecek kimyasalların derişimi için uygulanacak standartlar dizini önceden hazırlanmalı ve sürekli referans olarak kullanılmalıdır. Eğer banyo uygun kimyasal sınırlarda ise eklenmiş kimyasalların konsantrasyonunu tespit etmek için bir Hull Cell testi yapılabilir.

Hull Cell kabı ayrıca kaplama banyolarının kontrolü ve analizi gibi diğer bazı uygulamalarda da kullanılabilir. Bu test yeni banyolar geliştirmek ve değerlendirmek için deney yapanlar açısından çok değerlidir. Tek bir işlemle banyonun geniş bir akım yoğunluğu sahasındaki davranışı detaylı şekilde elde edilmiş olur. Eğer kaplama akım aralığı dar ise eklemeler yapılmalı ve sahadaki değişimler ya da yayılmalar not edilmelidir. Bu şekilde bir yöntem izlenerek yayılmanın olumlu yönde değişip değişmediği kolayca gözlemlenir.

Hull Cell testleri yönetirken en iyi yol numaralandırılmış şekilde ardarda yapılmasıdır. Herhangi diğer analitik alet gibi eğer iki test yapılıyor ve ölçümler karşılaştırılıyorsa sonuçlar doğru olur. Eğer tek test yapılırsa alınan sonuçlar ara sıra yanlış olabilir. Bu katotun yanlış temizlenmiş olmasından, banyo sıcaklığının ya da akım yoğunluğunun test işlemi boyunca aşırı değişmesinden kaynaklanır. Eğer sonuçlarda yanlışlık olduğundan şüphelenilirse banyonun bir miktarı alınarak gerekli düzeltmelerden sonra ikinci bir test yapılmalıdır. Test sırasında düzeltmelerden, kaplama banyosu için uygulanacak düzeltmeler doğru şekilde belirlenir [23].

Hull Cell Kaplarında çalışmalara başlanmıştır. Bundan sonra Hull Cell kaplarından kısaca HC olarak söz edilecektir. HC çalışmaları 25°C'de ve karıştırmasız olarak yapılmıştır. Her çalışmada tek bir yüzü 0.7dm² (10 cm x 7 cm) alana sahip parlak çelik plakalar kullanılmıştır. İlk deney ana kompozisyon olması

adına 1 amper 20 dakika olarak gerekleŒmiŒtir. Plakalar kaplanmadan önce elektrolitik yağ alma banyosunda temizlenmiŒ, akan musluk suyu altında durulanmiŒ daha sonra % 10'luk sülfürik asit banyosunda nötralize edilerek yine musluk suyu altında yıkanmıŒtır. Bu plakalar kurutmadan önce HC iŒlemine alınmıŒtır.



Œekil 3.1. HC kabı ve akım kaynağı

3.2.2. Kimyasalların Seçimi

Zn-Ni kaplama proseslerinde kullanılan inorganik kompozisyonlar genelde birbirine benzer. Bu amaçla yapılan deneylerde ana kompozisyon olarak aŒaęıda değerleri olan banyo kullanılmıŒtır.

9,5 g/L Metalik inko

1 g/L Metalik nikel

120 g/L Sodyum hidroksit (NaOH)

Deneylerde banyonun parlaticı ve taşıyıcı özellik sağlanması için özel kimyasallar olan Part A (taşıyıcı), Part B (parlaticı) kullanılmıştır. Taşıyıcı ve parlaticı kimyasalları MacDermid Alpha firmasından temin edilmiştir.

Hacimce %1 Part A (taşıyıcı)

Hacimce %0,06 Part B (parlaticı)

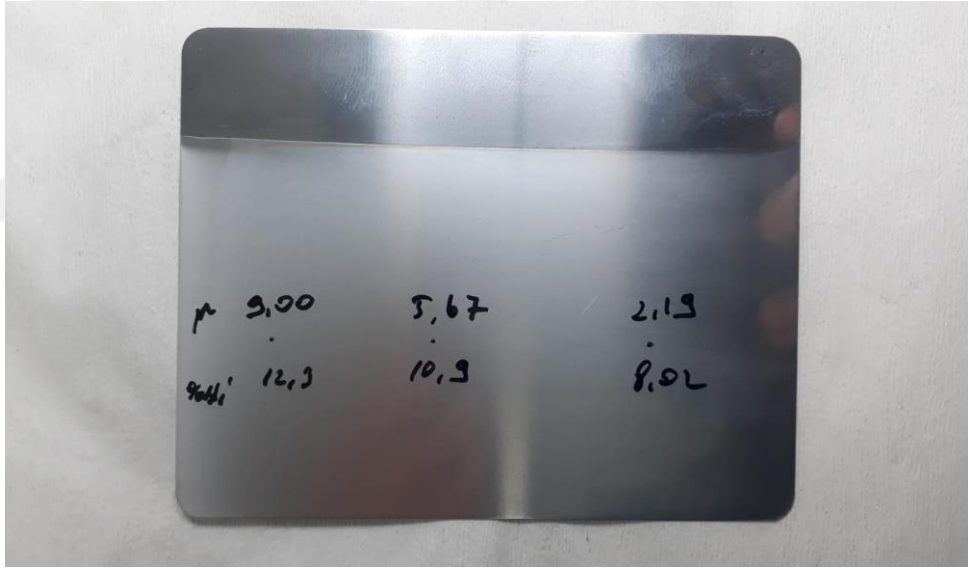


4. DENEYSEL KISIM

Kaplama banyosunda çinko, nikel, NaOH konsantrasyonları ve akım-zaman değişimlerinin kaplama kalınlığına ya da kaplamanın mat veya parlak olması gibi parametreler incelenmiştir.

4.1. Deneysel Kısım Uygulamaları

Deneyslerimizde aşağıda resmi bulunan plaklar kullanılmıştır. Bu plakalar kimyasal tedarikçisi firmadan temin edilmiştir. Plakalar Hull Cell yöntemi ile kaplanmış olup ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. HC yöntemi ile kaplanmış plaka

Çalışmalara öncelikle ana kompozisyon olarak belirlediğimiz banyonun sodyum hidroksit konsantrasyon değerlerini değiştirerek başlandı. Bu değerler 120 g/L, 130 g/L, 140 g/L, 150 g/L ve 160 g/L olarak belirlendi.

Tablo 4.1. İlave edilen NaOH miktarına göre konsantrasyon değerleri

Deney No	Çinko (g/L)	Nikel (g/L)	NaOH konsantrasyonu (g/L)
1	9,5	1	120
2	9,5	1	130
3	9,5	1	140
4	9,5	1	150

Deneyde kaplanmış olan plakalar Fischer marka X-RAY cihazı ile kaplama mikronlarını ve plakanın üzerinde bulunan %nikel değerlerini ölçüp karşılaştırma imkânı sağlanmıştır. Ölçüm mantığı cihaz içerisinde buluna güç kaynağı vasıtasıyla malzeme üzerine X ışınları yollanmakta ve kalibrasyonları yapılmış cihaz malzeme üzerinde mikron kalınlığını ve malzeme üzerindeki % nikel sonucunun raporunu vermektedir.

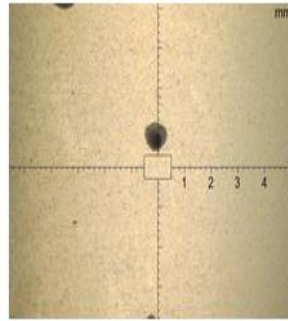


Şekil 4.2. Fischer X-RAY cihazı



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® XRAY XDL 210
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block : 703
Lot no : DENEME 1
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



Mean : 5.493 μm 13.00 %
Standard deviation : 3.173 μm 1.317 %
C.O.V. : ----- % 10.13 %
Range : 6.34 μm 2.40 %
Number of readings : 3 3
Min. reading : 2.29 μm 12.1 %
Max. reading : 8.64 μm 14.5 %

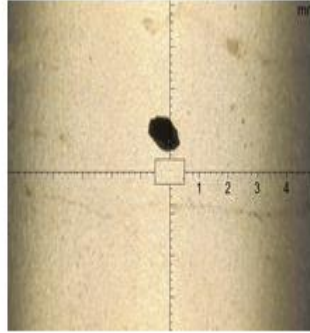
n= 1 NiZn1= 9.00 μm Ni 1 = 12.3 % Zn 1 = 87.7 %
n= 2 NiZn1= 5.67 μm Ni 1 = 10.9 % Zn 1 = 89.1 %
n= 3 NiZn1= 2.19 μm Ni 1 = 8.02 % Zn 1 = 92.0 %

Şekil 4.3. Deney 1'e ait X-RAY Raporu



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® XRAY XDL 210
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block :
Lot no : DENEME 2
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



Mean	:	6.100 μm	15.67 %
Standard deviation	:	3.852 μm	2.392 %
C.O.V.	:	----- %	15.25 %
Range	:	7.48 μm	4.74 %
Number of readings	:	3	3
Min. reading	:	2.88 μm	13.5 %
Max. reading	:	10.4 μm	18.2 %

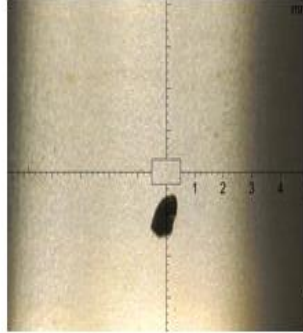
n=	<u>1</u> NiZn1=	9.93 μm	Ni 1 =	15.1 %	Zn 1 =	84.9 %
n=	<u>2</u> NiZn1=	7.51 μm	Ni 1 =	13.3 %	Zn 1 =	86.7 %
n=	<u>3</u> NiZn1=	2.83 μm	Ni 1 =	18.5 %	Zn 1 =	81.5 %

Şekil 4.4. Deney 2'e ait X-RAY Raporu



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® XRAY XDL 210
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block :
Lot no : DENEME 3
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



Mean	:	6.800 μm	15.67 %
Standard deviation	:	3.754 μm	2.390 %
C.O.V.	:	----- %	15.25 %
Range	:	7.48 μm	4.74 %
Number of readings	:	3	3
Min. reading	:	2.88 μm	13.5 %
Max. reading	:	10.4 μm	18.2 %

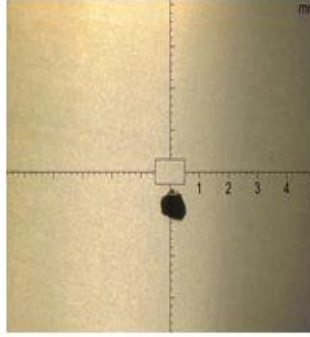
n=	<u>1</u>	NiZn1=	10.4 μm	Ni 1 =	15.3 %	Zn 1 =	84.7 %
n=	<u>2</u>	NiZn1=	7.16 μm	Ni 1 =	13.5 %	Zn 1 =	86.5 %
n=	<u>3</u>	NiZn1=	2.88 μm	Ni 1 =	18.2 %	Zn 1 =	81.8 %

Şekil 4.5. Deney 3'e ait X-RAY Raporu



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® XRAY XDL 210
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block :
Lot no : DENEME 4
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



Mean	:	6.215 μm	10.72 %
Standard deviation	:	3.850 μm	1.906 %
C.O.V.	:	----- %	17.78 %
Range	:	7.70 μm	3.70 %
Number of readings	:	3	3
Min. reading	:	2.34 μm	8.61 %
Max. reading	:	10.0 μm	12.3 %

n=	<u>1</u>	NiZn1=	10.9 μm	Ni 1 =	12.3 %	Zn 1 =	87.7 %
n=	<u>2</u>	NiZn1=	6.38 μm	Ni 1 =	11.3 %	Zn 1 =	88.7 %
n=	<u>3</u>	NiZn1=	2.39 μm	Ni 1 =	8.61 %	Zn 1 =	91.4 %

Şekil 4.6. Deney 4'e ait X-RAY Raporu

Deneylerin devamında ana kompozisyon banyo üzerinden nikel konsantrasyonu değişiklik yaparak devam edilmiştir. Nikel konsantrasyonlarını sırasıyla 1 g/L, 1,5 g/L, 2 g/L, 2,5 g/L değerlerinde çalışılmıştır.

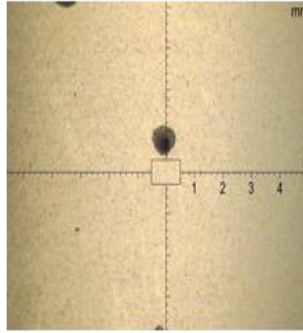
Tablo 4.2. İlave edilen Nikel miktarına göre konsantrasyon değerleri

Deney No	NaOH konsantrasyonu (g/L)	Çinko (g/L)	Nikel (g/L)
5	120	9,5	1,0
6	120	9,5	1,5
7	120	9,5	2,0
8	120	9,5	2,5



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® XRAY XDL 210
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block :
Lot no : DENEME 5
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



Mean	:	5.493 μm	13.00 %
Standard deviation	:	3.173 μm	1.317 %
C.O.V.	:	----- %	10.13 %
Range	:	6.34 μm	2.40 %
Number of readings	:	3	3
Min. reading	:	2.29 μm	12.1 %
Max. reading	:	8.64 μm	14.5 %

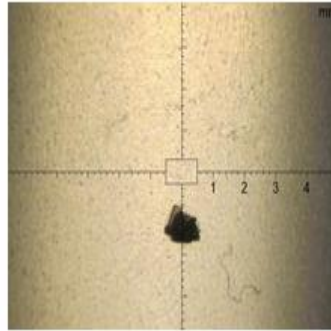
n=	<u>1</u> NiZn1=	9.05 μm	Ni 1 =	12.2 %	Zn 1 =	87.8 %
n=	<u>2</u> NiZn1=	5.67 μm	Ni 1 =	10.9 %	Zn 1 =	89.1 %
n=	<u>3</u> NiZn1=	2.19 μm	Ni 1 =	8.02 %	Zn 1 =	92.0 %

Şekil 4.7. Deney 5'e ait X-RAY Raporu



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® XRAY XDL 210
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block :
Lot no : DENEME 6
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



Mean	:	6.172 μm	14.07 %
Standard deviation	:	3.444 μm	0.627 %
C.O.V.	:	----- %	4.46 %
Range	:	6.88 μm	1.19 %
Number of readings	:	3	3
Min. reading	:	2.64 μm	13.4 %
Max. reading	:	9.52 μm	14.6 %

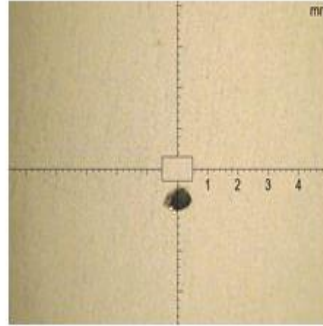
n=	<u>1</u>	NiZn1=	9.52 μm	Ni 1 =	14.8 %	Zn 1 =	85.2 %
n=	<u>2</u>	NiZn1=	6.35 μm	Ni 1 =	14.6 %	Zn 1 =	85.4 %
n=	<u>3</u>	NiZn1=	2.64 μm	Ni 1 =	13.4 %	Zn 1 =	86.6 %

Şekil 4.8. Deney 6'e ait X-RAY Raporu



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® XRAY XDL 210
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block :
Lot no : DENEME 7
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



Mean	:	6.234 μm	13.86 %
Standard deviation	:	4.062 μm	2.037 %
C.O.V.	:	----- %	14.70 %
Range	:	8.11 μm	3.96 %
Number of readings	:	3	3
Min. reading	:	3.72 μm	11.6 %
Max. reading	:	11.8 μm	15.6 %

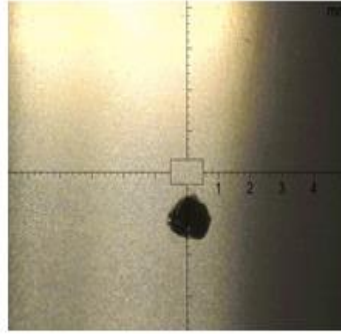
n=	<u>1</u>	NiZn1=	9.63 μm	Ni 1 =	16.1 %	Zn 1 =	83.9 %
n=	<u>2</u>	NiZn1=	6.41 μm	Ni 1 =	16.1 %	Zn 1 =	83.9 %
n=	<u>3</u>	NiZn1=	2.82 μm	Ni 1 =	15.8 %	Zn 1 =	84.2 %

Şekil 4.9. Deney 7'e ait X-RAY Raporu



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® XRAY XDL 210
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block :
Lot no : DENEME 8
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



Mean	:	6.315 μm	16.74 %
Standard deviation	:	3.505 μm	0.210 %
C.O.V.	:	----- %	1.25 %
Range	:	7.00 μm	0.365 %
Number of readings	:	3	3
Min. reading	:	2.70 μm	16.5 %
Max. reading	:	9.70 μm	16.9 %

n=	<u>1</u>	NiZn1=	9.70 μm	Ni 1 =	16.5 %	Zn 1 =	83.5 %
n=	<u>2</u>	NiZn1=	6.54 μm	Ni 1 =	16.9 %	Zn 1 =	83.1 %
n=	<u>3</u>	NiZn1=	2.70 μm	Ni 1 =	16.9 %	Zn 1 =	83.1 %

Şekil 4.10. Deney 8'e ait X-RAY Raporu

DeneYlerimizin üçüncü ve son bölümü olarak kaplama banyosuna inorganik yapılar olan taşıyıcı (Part A) ve parlaticı (Part B) ilaveleri yapılarak çalışma gerçekteşmiştir. Taşıyıcı ve parlaticı belli oranlarda kaplama banyolarına ilave yapılmaktadır. Taşıyıcı hacimce %1, parlaticı hacimce %0,06 ilavesi yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda yapılan ilave miktarları gösterilmektedir.

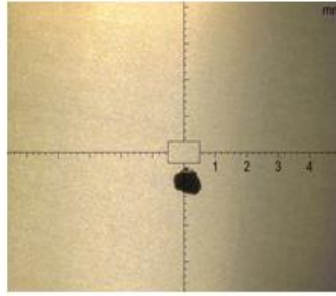
Tablo 4.3. İlave edilen taşıyıcı ve parlaticı miktarına göre kaplama banyosu değerleri

Deney No	TAŞIYICI (ml/L)	PARLATICI (ml/L)	NaOH (g/L)	Çinko (g/L)	Nikel (g/L)
9	5	0,3	120	9,5	1,0
10	10	0,6	120	9,5	1,0
11	20	1,2	120	9,5	1,0
12	30	1,8	120	9,5	1,0
13	40	2,4	120	9,5	1,0



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® XRAY XDL 210
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block :
Lot no : DENEME 9
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



Mean	:	6.677 μm	10.72 %
Standard deviation	:	3.850 μm	1.906 %
C.O.V.	:	----- %	17.78 %
Range	:	7.70 μm	3.70 %
Number of readings	:	3	3
Min. reading	:	2.34 μm	8.61 %
Max. reading	:	10.0 μm	12.3 %

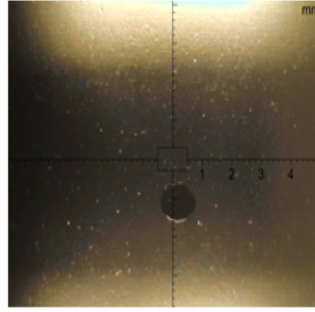
n=	<u>1</u>	NiZn1=	10.5 μm	Ni 1 =	15.4 %	Zn 1 =	84.6 %
n=	<u>2</u>	NiZn1=	6.42 μm	Ni 1 =	15.1 %	Zn 1 =	84.9 %
n=	<u>3</u>	NiZn1=	2.53 μm	Ni 1 =	14.6 %	Zn 1 =	85.4 %

Şekil 4.11. Deney 9'a ait X-RAY Raporu



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® **XRAY XDL 210**
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block :
Lot no : DENEME 10
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



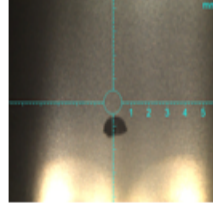
Mean : 2.943 μm 12.41 %
Standard deviation : 1.256 μm 4.108 %
C.O.V. : ----- % 33.10 %
Range : 2.48 μm 8.14 %
Number of readings : 3 3
Min. reading : 1.59 μm 8.02 %
Max. reading : 4.07 μm 16.2 %

n=	<u>1</u> NiZn1=	4.07 μm	Ni 1 =	16.2 %	Zn 1 =	83.8 %
n=	<u>2</u> NiZn1=	3.18 μm	Ni 1 =	13.1 %	Zn 1 =	86.9 %
n=	<u>3</u> NiZn1=	1.59 μm	Ni 1 =	8.02 %	Zn 1 =	92.0 %

Şekil 4.12. Deney 10'a ait X-RAY Raporu



COATING THICKNESS TEST REPORT



Fischerscope® XRAY XDL 210
Product :
Application : 9 / NiZn/Fe
Block :
Lot No : DENEME 11
Product Name :
Operator : FAHRI Y.

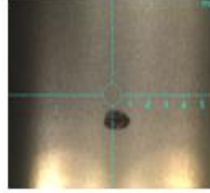
Mean	:	1.19µm	19.2%	80.8%
Standard deviation	:	0.191µm	1.58%	1.58%
C.O.V. (%)	:	16.05	8.25	1.96
Range	:	0.36µm	3.07%	3.07%
Number of readings	:	3	3	3
Min. reading	:	0.97µm	17.9%	79.0%
Max. reading	:	1.33µm	21.0%	82.1%

n=	<u>1</u>	NiZn1=	1.33 µm	Ni 1 =	18.7 %	Zn 1 =	81.3 %
n=	<u>2</u>	NiZn1=	1.26 µm	Ni 1 =	17.9 %	Zn 1 =	82.1 %
n=	<u>3</u>	NiZn1=	0.97 µm	Ni 1 =	21.0 %	Zn 1 =	79.0 %

Şekil 4.13. Deney 11'e ait X-RAY Raporu



COATING THICKNESS TEST REPORT



Fischerscope® XRAY XDL 210
Product :
Application : 9 / NiZn/Fe
Block :
Lot No : DENEME 12
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.

Mean	:	0.795µm	22.5%	77.5%
Standard deviation	:	0.103µm	0.406%	0.406%
C.O.V. (%)	:	12.98	1.80	0.52
Range	:	0.19µm	0.71%	0.71%
Number of readings	:	3	3	3
Min. reading	:	0.68µm	22.3%	77.0%
Max. reading	:	0.86µm	23.0%	77.7%

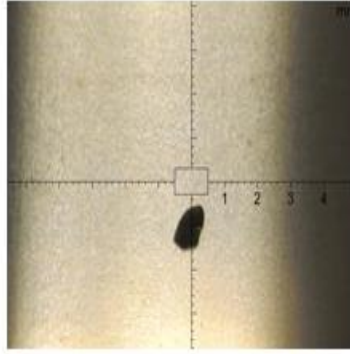
n=	<u>1</u>	NiZn1=	0.86 µm	Ni 1 =	22.3 %	Zn 1 =	77.7 %
n=	<u>2</u>	NiZn1=	0.84 µm	Ni 1 =	23.0 %	Zn 1 =	77.0 %
n=	<u>3</u>	NiZn1=	0.68 µm	Ni 1 =	22.3 %	Zn 1 =	77.7 %

Şekil 4.14. Deney 12'e ait X-RAY Raporu



COATING THICKNESS TEST REPORT

Fischerscope® XRAY XDL 210
Application : 280400 / NiZn/Fe
Block :
Lot no : DENEME 13
Product Name :
Operator : FAHRİ Y.



Mean	:	6.800 μm	15.67 %
Standard deviation	:	3.754 μm	2.390 %
C.O.V.	:	----- %	15.25 %
Range	:	7.48 μm	4.74 %
Number of readings	:	3	3
Min. reading	:	2.88 μm	13.5 %
Max. reading	:	10.4 μm	18.2 %

n=	<u>1</u> NiZn1=	11.23 μm	Ni 1 =	14.8 %	Zn 1 =	85.2 %
n=	<u>2</u> NiZn1=	8.14 μm	Ni 1 =	13.5 %	Zn 1 =	86.5 %
n=	<u>3</u> NiZn1=	2.88 μm	Ni 1 =	18.2 %	Zn 1 =	81.8 %

Şekil 4.15. Deney 13'e ait X-RAY Raporu

4.2. Kimyasal Analiz Yöntemleri

Çalışmalarımızda NaOH, nikel ve çinko konsantrasyon ölçümleri yapılmıştır. Bunlar aşağıdaki yöntemlere göre gerçekleştirilmiştir.

NaOH konsantrasyonu ölçümü için gerekli kimyasallar;

0.1 M HCl çözeltisi

11-13 indikatörü

Saf su

Deneyin yapılışı;

5 ml banyo numunesi 250 ml'lik erlene alınır üzerine 20 ml saf su konur, üzerine 2-3 damla 11-13 indikatörü konur ve 0.1 M'lık HCl çözeltisi ile renk dönümü görülene kadar titrasyon yapılır.

Hesaplama: Harcanan 0.1 M HCl miktarı X 8 = NaOH konsantrasyonu (g/L)

Çinko konsantrasyonu ölçümü için gerekli kimyasallar;

0.05 N EDTA çözeltisi

4.2 Asetik asit tampon çözeltisi

Xylenol orange indikatörü

Saf su

Deneyin yapılışı;

5 ml banyo numunesi 250 ml'lik erlene alınır üzerine 100 ml saf su konur, üzerine 4.2 asetik asit tamponu çözeltisi üzerine 2-3 damla xylenol orange indikatörü damlatılır ve 0.05 N edta çözeltisi ile renk dönümü gerçekleşene kadar titrasyon yapılır.

Hesaplama: Harcanan 0.05 N EDTA miktarı X 1.31 = Çinko konsantrasyonu (g/L)

Nikel konsantrasyon ölçümü için gerekli kimyasallar;

0.5 ppm, 1 ppm, 1.5 ppm, 2 ppm nikel içeren standart çözeltiler

Saf su

Deneyin yapılışı;

Nikel konsantrasyon ölçümü atomik absorpsiyon spektroskopisi cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Banyo numunesi 1000 kat seyreltilerek balon joje ye hazırlanır. Atomik absorpsiyon spektroskopisi cihazına standart çözeltiler okutulup lineer grafik sağlanır ve 1000 kat hazırlanan banyo çözeltisinin nikel miktarı g/L olarak ölçümü alınır.



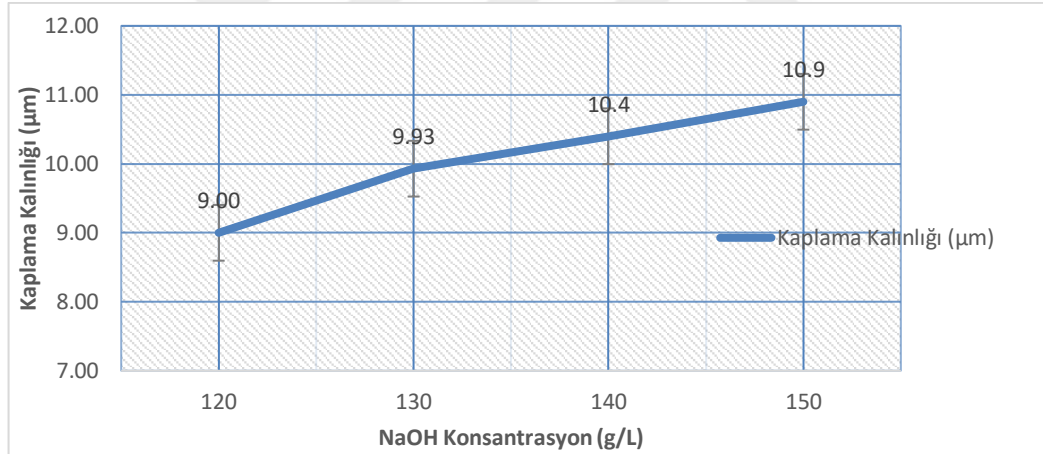
Şekil 4.16. Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) cihazı

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan deney çalışmalarında aşağıdaki veriler ve grafikler elde edilmiştir. İlk grup deneyinde NaOH konsantrasyonu 120 g/L, 130 g/L, 140 g/L, 150 g/L olarak çalışılmıştır ve kaplama kalınlığı ve % nikel oranları ile grafikler oluşturulmuştur.

Tablo 5.1. İlave edilen NaOH miktarına göre kaplama kalınlığı değerleri

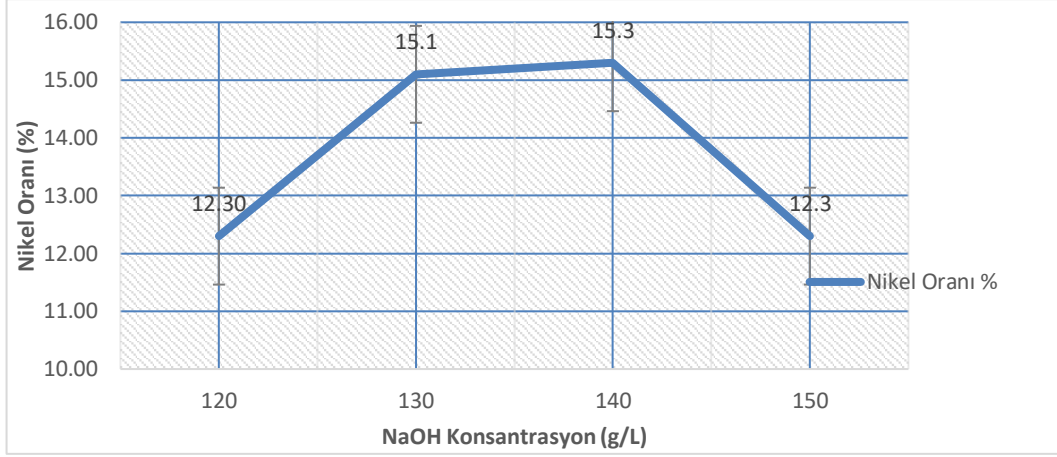
Deney No	NaOH konsantrasyonu (g/L)	Kaplama Kalınlığı (µm)
1	120	9,00
2	130	9,93
3	140	10,4
4	150	10,9



Şekil 5.1. Kaplama banyolarında NaOH konsantrasyon değişiminin kaplama kalınlığına etkisi

Tablo 5.2. İlave edilen NaOH miktarına göre plaka üzerindeki nikel oranı değerleri

Deney No	NaOH konsantrasyonu (g/L)	Nikel Oranı %
1	120	12,3
2	130	15,1
3	140	15,3
4	150	12,3



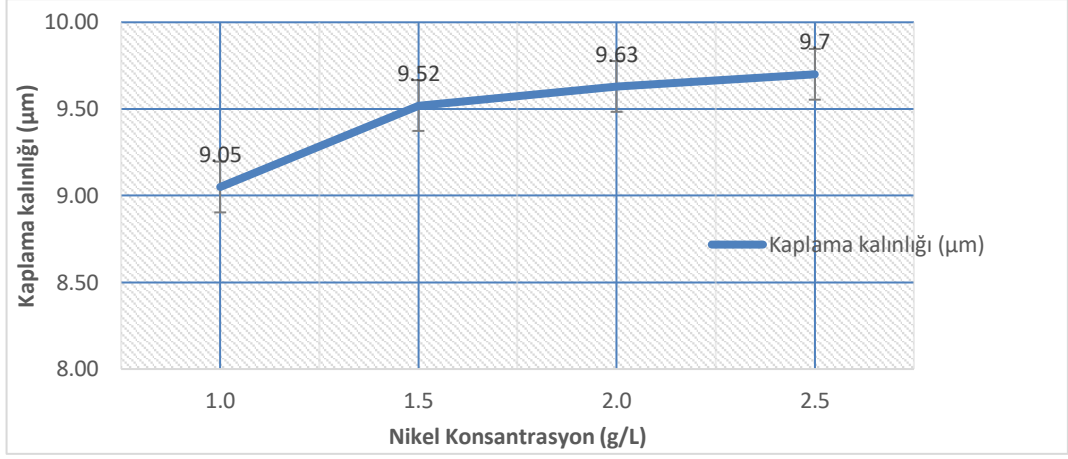
Şekil 5.2. Kaplama banyolarında NaOH konsantrasyon değişiminin nikel oranına etkisi

Yapılan NaOH konsantrasyonu çalışmasında en uygun kaplama parametresinin kaplama kalınlığının yaklaşık 9,5 mikron, nikel oranının ise yaklaşık %15 olduğu anda NaOH konsantrasyonu belirlenmiştir. Buna göre 130 g/L NaOH konsantrasyonu en uygun veriyi sağlamıştır. NaOH konsantrasyonu arttıkça mikron değerleri arttığı halde % nikel değerlerimiz düşüş göstermektedir, bu da istemediğimiz bir sonuçtur. % nikel değeri düştükçe korozyona karşı korunum azalır.

İkinci grup deneyinde banyomuzun nikel konsantrasyonu değerleri ile çalışma yapılmıştır. Bunlar 1 g/L, 1,5 g/L, 2 g/L ve 2,5 g/L olarak çalışma başlatılmıştır. Çalışma sonucunda kaplama kalınlığı ve % nikel oranları bulunmuştur ve aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

Tablo 5.3. İlave edilen Nikel miktarına göre kaplama kalınlığı değerleri

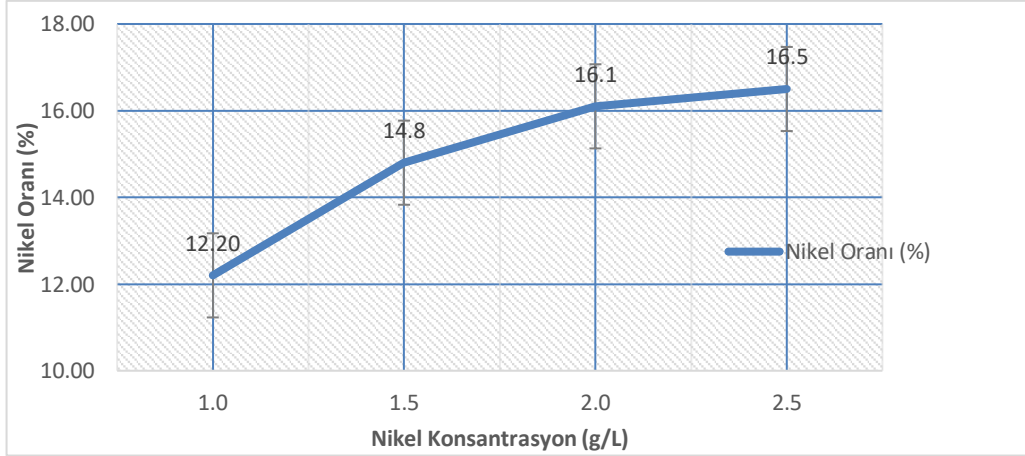
Deney No	Nikel konsantrasyonu (g/L)	Kaplama kalınlığı (µm)
5	1,0	9,05
6	1,5	9,52
7	2,0	9,63
8	2,5	9,70



Şekil 5.3. Kaplama banyolarında Nikel konsantrasyon değişiminin kaplama kalınlığına etkisi

Tablo 5.4. İlave edilen Nikel miktarına göre plaka üzerindeki nikel oranı değerleri

Deney No	Nikel konsantrasyonu (g/L)	Nikel Oranı (%)
5	1,0	12,2
6	1,5	14,8
7	2,0	16,1
8	2,5	16,5



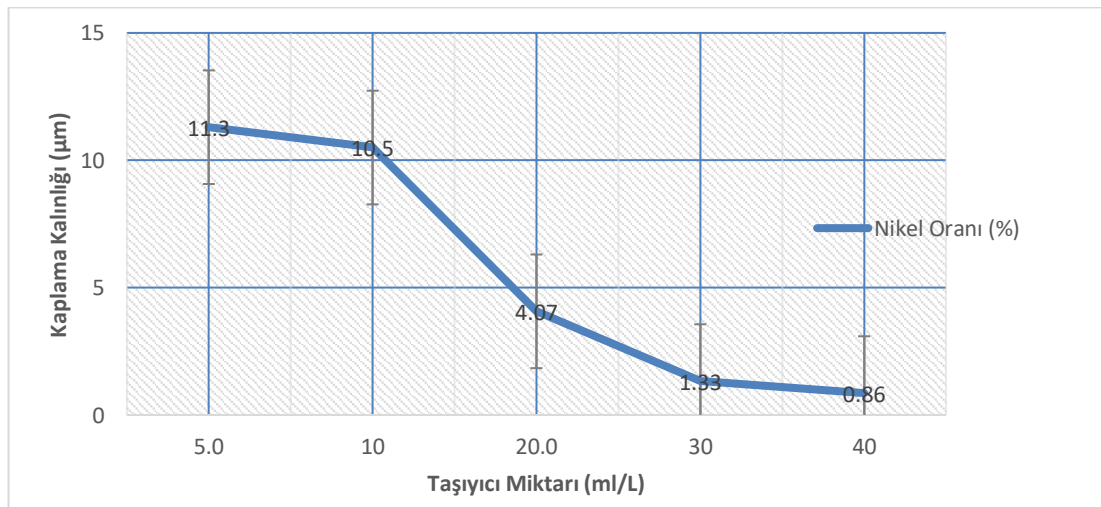
Şekil 5.4. Kaplama banyolarında Nikel konsantrasyon değişiminin nikel oranına etkisi

Yapılan nikel konsantrasyonu çalışmasında en uygun kaplama parametresinin kaplama kalınlığının yaklaşık 9,5 mikron, nikel oranının ise yaklaşık %15 olduğu anda nikel konsantrasyonu belirlenmiştir. Buna göre 1,5 g/L nikel konsantrasyonu en uygun veriyi sağlamıştır. Nikel konsantrasyon değeri artıkça malzemenin mikronu ve % nikel değerleri artıyor. Bu oranların artışı malzemenin tuz testi dayanımını azaltır ve istenmeyen bir durumdur.

Üçüncü grup deneyinde banyomuzun Part A (taşıyıcı) ve Part B (parlatıcı) kimyasal değerleri ile çalışma yapılmıştır. Bunlar 10 ml/L, 20 ml/L, 30 ml/L 40 ml/L Taşıyıcı. 0,6 ml/L, 1,2 ml/L, 1,8 ml/L, 2,4 ml/L Parlaticı kimyasalları ile çalışma başlatılmıştır. Çalışma sonucunda kaplama kalınlığı ve % nikel oranları bulunmuştur ve aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Grafikler hacimce fazla olan banyoda etkin kimyasal olan taşıyıcı kimyasalına göre yapılmıştır.

Tablo 5.5. İlave edilen Taşıyıcı miktarına göre kaplama kalınlığı değerleri

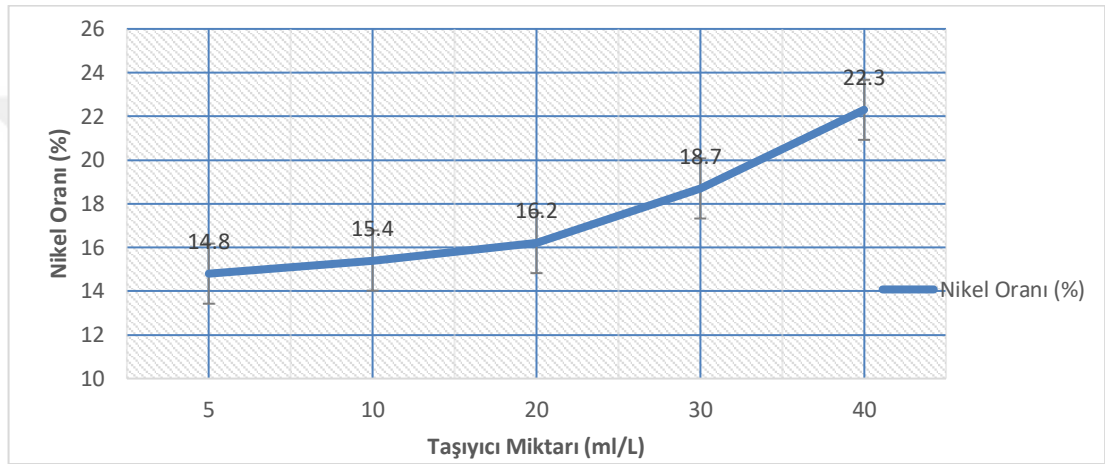
Deney No	Taşıyıcı miktarı (ml/L)	Kaplama Kalınlığı (µm)
9	10	10,50
10	20	4,07
11	30	1,33
12	40	0,86
13	5	11,23



Şekil 5.5. Kaplama banyolarındaki taşıyıcı miktarının kaplama kalınlığına etkisi

Tablo 5.6. İlave edilen taşıyıcı miktarına göre plaka üzerindeki nikel oranı değerleri

Deney No	Taşıyıcı miktarı (ml/L)	Nikel Oranı (%)
9	10	15,4
10	20	16,2
11	30	18,7
12	40	22,3
13	5	14,8



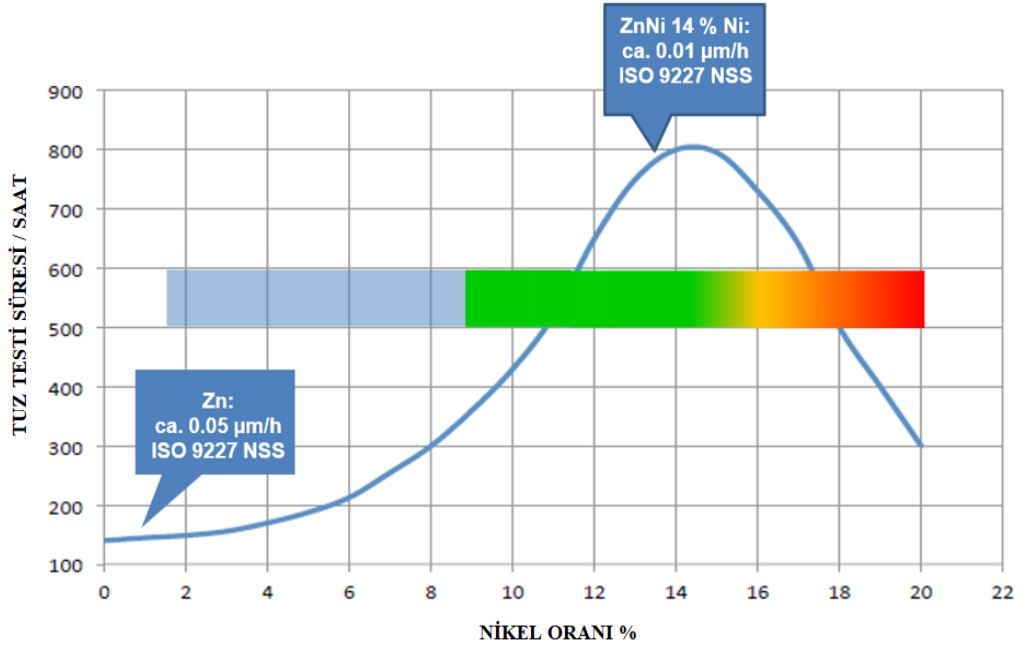
Şekil 5.6. Kaplama banyolarındaki taşıyıcı miktarının nikel oranına etkisi

Yapılan taşıyıcı ve parlaticı kimyasal takviyesi çalışmasında en uygun kaplama parametresinin kaplama kalınlığının yaklaşık 10 mikron, nikel oranının ise yaklaşık %15 olduğu anda taşıyıcı ve parlaticı takviye miktarları belirlenmiştir. Buna göre 10 ml/L taşıyıcı 0,6 ml/L parlaticı takviyesi ile en uygun veri sağlamıştır. Çalışmada taşıyıcı ve parlaticı takviyesi yapıldıkça mikron kaybı ve % nikel oranı artışı gözlenmiştir. Bu değişim malzeme üzerinde uygun veri değildir ve malzeme de mat görüntüye sebep olmuştur. Bu durumda hem görüntü hemde mikron yönünden korozyon dayanımı sağlanamamış olur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapmış olduğumuz çalışmaya göre çinko/nikel kaplama banyolarında üç farklı banyo bileşeninin değişiminin kaplama kalitesine, kaplama verimine karşı performansı incelenmiştir. Kaplama banyolarında nikel ve sodyum hidroksit konsantrasyonu, inorganik bileşenler olan taşıyıcı ve parlaticı 'nın banyo üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmayı Hull Cell (HC) yöntemi ile her çalışmada tek bir yüzü 0.7dm² (10 cm x 7 cm) alana sahip parlak çelik plakalar kullanılmıştır. Kaplanmış olduğumuz plakalar X-RAY cihazı ile kalınlık ve yüzde nikel oran ölçümleri ile sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Aşağıda yer alan şekil 5.1. TS ISO 9227 şartnamesine göre yüzde nikel oranının tuz testi dayanım süresini gösterir grafikdir. Bu şartnameye göre yeşil alana karşılık gelen %14 nikel oranı bizim kaplama ömrünün en verimli olduğu alanı göstermektedir. Yapmış olduğumuz deney çalışmasında %14 nikel oranına karşılık gelen malzeme üzerindeki kaplama kalınlığı yani mikron değeri 9,5 µm olarak belirlenmiştir. Bu bizim çalışmamız için en verimli bölge olmuştur.



Şekil 6.1. TS ISO 9227 Şartnamesi Nikel Oranına Karşılık Tuz Testi Süresi

Deney çalışmasına göre şekil 5.1. e göre malzemeler üzerindeki en iyi verim alınan kaplama banyosu değerleri tespit edilmiştir. Bunlar 25 °C’de gerçekleşen çinko/nikel elektrolitik kaplamada aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Bu kimyasal banyo konsantrasyonlarında gerçekleşen elektrolitik kaplamalar malzemenin uzun ömürlü paslanmadan kalabileceğini bize gösterir.

Tablo 6.1. Çinko/nikel elektrolitik kaplama banyosu kimyasal değerler

Nikel Konsantrasyonu (g/L)	Çinko Konsantrasyonu (g/L)	NaOH Konsantrasyonu (g/L)	Taşıyıcı (ml/L)	Parlatıcı (ml/L)
1,5	9,5	130	10	0,6

Tablodaki verilere göre elektrolitik çinko/nikel kaplama banyoları için en uygun kimyasal bileşenler tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki amaç banyo bileşenleri optimal seviyede tutarak fazla kimyasal kullanımın önüne geçmek. Ayrıca malzeme dayanımını korozyona karşı korumak önem arz etmektedir.

Türkiye şartlarında kimyasal tedarik etmek son derece zor bir durumdur çünkü kimyasalların %90 gibi bir payı ithal olarak geliyor eğer kullanıyor olduğumuz kaplama banyosu kimyasallarını kontrolsüz şekilde kullanırsak ülkemiz için döviz çıkışı çok fazla olacaktır. Bu çalışmada bu kimyasalların kontrollü bir şekilde kullanılması gerektiği ve bunun için gerekli kimyasal bileşenlerin hangi oranlarda olduğu tespit edildi.

Ayrıca elektrolitik kaplamanın korozyona karşı korunumu oldukça önemlidir. Bütün bu çalışmalar esnasında buna dikkat edilmiştir. Kaplanacak metal parçalar bizler için önemli hayati yerlerde kullanılmaktadır. Örneğin uçak parçaları metal parçalardır ve bunları korozyona karşı korunması önem arz etmektedir. Uçağa monte edilmiş bir metal parçanın uzun süre korozyona karşı dayanmış bir şekilde uçak üzerinde durması istenir. Bundan dolayı en önemli nokta, malzemenin uygun kaplama banyosu kimyasallarında kaplanmış olmasıdır. Böylece korozyona karşı dayanım sağlamış olur.

Hem korozyona karşı dayanım arttırmak hem de fazla kimyasal kullanımının önüne geçmek için yapılan bu çalışmada; elektrolitik kaplama için optimum proses

parametreleri 1,5 g/L nikel konsantrasyonu, 9,5 g/L inko konsantrasyonu, 130 g/L NaOH konsantrasyonu, 10 ml/L taşıyıcı ve 0,6 ml/L parlaticı olarak tespit edilmiştir. Bu alışmanın Türkiye’de son yıllarda büyüme eğilimi gösteren kaplama firmaları için yararlı olacağı kanaatindeyim.



KAYNAKLAR

- [1] Yonar, İ.K., Galvanoteknik, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul (1979).
- [2] HASÇALIK, Ahmet; ÖZEK, Cebeli. Elektroliz Yöntemiyle Çinko Kaplama Parametrelerinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Teknoloji, 5, (2002).
- [3] Saraç, A.S., “Metal Kaplama ve Elektrokimyasal Teknolojiler”, Çağlayan Kitabevi (1995).
- [4] Lowenheim, F.A., Modern Electroplating, The Electrochemical Society Inc., New York (1963).
- [5] Metal Finishing Guidebook and Directory, Elsevier (2005).
- [6] Jiang, Y.F., Liu, L.F., Zhai, C.Q., Zhu, Y.P., Ding, W.J., “Thin Solid Films”, 232-237, 484.(2005).
- [7] Uyanık, G., Fizikokimya, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi (1992).
- [8] Berkem, A.R., Elektro Kimya Laboratuar Uygulaması, İ.Ü. Yayınları, İstanbul (1978).
- [9] İsfendiyaroğlu, A., Saraç, S., Elektrokimyanın Sanayie Uygulanması. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, Kimya Fakültesi Matbaası, İstanbul (1980).
- [10] A. Brenner, Electrodeposition of Alloys, Vol. I and II, Academic Press, NY, (1963).
- [11] Erbil, M. Korozyon İnhibitörleri, SEGEM, Ankara, sayfa 148. 1984, Gerengi, H. Anticorrosive Properties of Date Palm (Phoenix dactylifera L.) Fruit (2012).
- [12] Gerengi, H., Şamandar, A. The necessity of corrosion technology program, I. Uluslar arası 5. Ulusal Meslek Yüksek Okulları Sempozyumu, 27-29 Mayıs Konya, sayfa318-319. (2009)
- [13] Konuklu, S. Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Sülfürik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. (2007).
- [14] Gerengi, H. Tafel Polarizasyon (TP), Lineer Polarizasyon (LP), Harmonik Analiz (HA) ve Dinamik Elektrokimyasal impedans Spektroskopisi (DEIS) Yöntemleriyle Düşük Karbon Çeliği (AISI 1026), Pirinç-MM55 ve Nikalium-118 Alaşımlarının Yapay Deniz Suyunda Korozyon Davranışları ve Pirinç Alaşımlarına Benzotriazol’un İnhibitör Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. (2008).
- [15] Dennis, J. K., Such, T.E., Nickel and Chromium Plating, London (1986).

- [16] Palin, G.R., "Electrochemistry for Technologists", Pergamon Press. (1969).
- [17] Develi, S., Galvanoteknik (Maden Kaplamacılığı), Milli Eğitim Basımevi, İstanbul (1969).
- [18] Ashassi-Sorkhabi, H., et al. "Zinc–nickel alloy coatings electrodeposited from a chloride bath using direct and pulse current." *Surface and Coatings Technology* 140.3 (2001): 278-283.
- [19] Lotfi, N., et al. "Zinc–nickel alloy electrodeposition: Characterization, properties, multilayers and composites." *Protection of metals and physical chemistry of surfaces* 54 (2018): 1102-1140.
- [20] Li, G. Y., et al. "Investigation of nanocrystalline zinc–nickel alloy coatings in an alkaline zincate bath." *Surface and Coatings Technology* 191.1 (2005): 59-67.
- [21] Çelik, Kübra. Elektrolitik Çinko Kaplama ve İşletme Parametrelerinin Kaplama Kalitesine Etkisi. Diss. Anadolu University (Turkey), 2007.
- [22] Çetinkaya, Efdal. "Çinko-nikel alaşım kaplamalarının karakteristiklerinin incelenmesi." Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı (2006).
- [23] J.B. Mohler, H.J. Sedusky Hardcover Electroplating For The Metallurgist, Engineer And Chemist, Chemical Publishing Company (1951).