

**Elektrolitik inko Kaplama ve İşletme
Parametrelerinin Kaplama Kalitesine Etkisi**

Kübra ÇELİK
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Eylül-2006

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Kübra ÇELİK'in “**Elektrolitik Çinko Kaplama ve İşletme Parametrelerinin Kaplama Kalitesine Etkileri**” başlıklı **Kimya Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 24.07.2006 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç. Dr. SÜLEYMAN KAYTAKOĞLU
Üye	: Yard. Doç. Dr. FERDİ GERÇEL
Üye	: Yard. Doç. Dr. YUSUF YAVUZ

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTROLİTİK ÇİNKO KAPLAMA ve İŞLETME PARAMETRELERİNİN KAPLAMA KALİTESİNE ETKİSİ

Kübra ÇELİK

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Süleyman KAYTAKOĞLU

2006, 57 sayfa

Bu çalışma taşıyıcı ve parlaticı olarak, polietilen glikol ve jelatin varlığında gerçekleştirilmiştir. İşletme parametreleri Hull-Cell cihazı kullanılarak kontrol edilmiştir. Kontrol edilen parametreler; potasyum klorür konsantrasyonu, çinko klorür konsantrasyonu, borik asit konsantrasyonu, parlaticı, pH, sıcaklık ve akımdır. Bu parametrelerin etkilerin anlaşılabilmesi için termal dayanım testi ve korozyon testi uygulanmıştır. Bu testler, ticari taşıyıcı ve parlaticı kullanılarak kaplanan numunelere de uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı akım değerlerinde dağıtma gücü ve akım verimleri hesaplanmıştır. Numuneden sıyrılan çözeltiliye IR çekimi gerçekleştirilmiş ve taşıyıcı ve parlaticı ilaveleri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Asitli Çinko Kaplama, Hull Cell, Korozyon Testi, Dağıtma Gücü, Akım Verimi

ABSTRACT
Master of Science Thesis
ELECTROLYTIC ZINC PLATING and THE EFFECTS OF PROCESS
PARAMETERS TO THE QUALITY OF COATING

Kübra ÇELİK

Anadolu University
Graduate School of Sciences
Chemical Engineering Program

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Süleyman KAYTAKOĞLU

2006, 57 pages

This study was carried out with the potassium chloride zinc plating bath in the presence of the poly ethylen glycol and gelatin as carrier and brightener. The bath parameters were operated with Hull Cell experiments. Operating parameters were concentration of potassium chloride, zinc chloride, boric acid and brightener, pH, temperature, cell current. To understand the effect of this parameters thermal shock test and corrosion test were made. These tests were made to the specimens which were coated with the commercial carrier and brightener and the results were compared. Throwing power and current efficiency were measured at different cell currents. IR spectrum of the stretched deposit showed inclusion of addition agent.

Keywords : Asidic Zinc Plating, Hull-Cell, Corrosion Test, Throwing Power, Cell Current

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütölmesinde yapıcı eleőtiri ve yardımlarıyla yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Süleyman KAYTAKOĞLU' na teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca her türlü konuda bana destek olan tüm bölüm hocalarıma, araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve Yakup Ali GEREDE' ye teşekkür ederim.

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

Kübra ÇELİK

Eylül-2006

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTROKİMYANIN TANIMI ve ELEKTROLİZ	3
3. GALVANOTEKNİK ve ELEKTROLİTİK METAL KAPLAMA	6
3.1. Elektrolitik Kaplamanın Kalitesine Etki Eden Faktörler	9
3.1.1. Akım Yoğunluğu	9
3.1.2. Konsantrasyon	10
3.1.3. Sıcaklık	10
3.1.4. Dağıtma Gücü	11
3.1.5. Katot-Anot	12
3.1.6. Elektrolit	14
3.1.7. pH	18
3.2. Metal Kaplama Öncesi Metale Uygulanması Gereken İşlemler	18
3.2.1. Parça Yüzeyinin Düzeltilmesi Ve Temizlenmesi	19
3.2.2. Yağ Çıkarma	19
3.2.3. Oksit Tabakasının Kaldırılması	20

3.3. Kaplama Banyoları	20
4. ÇİNKO KAPLAMA	23
4.1. Çinko Metali	23
4.2. Çinko Kaplama	23
4.3. Potasyum Klorürl Çinko Kaplama Prosesi	25
4.3.1. Prosesin Özellikleri	25
4.3.2. Proseste Kullanılan Ekipmanlar	26
4.3.3. Çinko Kaplama Prosesinde İş Akışı.....	27
5. MATERYAL ve YÖNTEM	29
5.1. Kaplama Kalitesi Tayin Metodunda Kullanılan Araç ve Gereçler	29
5.2. Elektrolitik Yöntemle Çinko Kaplama	29
5.2.1. Ön Temizleme	29
5.2.2. Çinko Kaplama İşlemi.....	31
6. DENEYSEL BULGULAR	32
6.1. Potasyum Klorür Miktarının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri.....	32
6.1.1. KCl Konsantrasyonu : 50 g/L	32
6.1.2. KCl Konsantrasyonu : 185 g/L	33
6.1.3. KCl Konsantrasyonu : 190 g/L	33
6.1.4. KCl Konsantrasyonu : 195 g/L	34
6.1.5. KCl Konsantrasyonu : 205 g/L	34
6.1.6. KCl Konsantrasyonu : 230 g/L	35
6.2. Çinko Klorür Miktarının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri	35
6.2.1. ZnCl ₂ Konsantrasyonu : 20 g/L	36

6.2.2. ZnCl ₂ Konsantrasyonu : 50 g/L	36
6.2.3. ZnCl ₂ Konsantrasyonu : 60 g/L	37
6.2.4. ZnCl ₂ Konsantrasyonu : 70 g/L	37
6.2.5. ZnCl ₂ Konsantrasyonu : 80 g/L	38
6.2.6. ZnCl ₂ Konsantrasyonu : 90 g/L	39
6.3. Borik Asit Miktarının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri	39
6.3.1. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonu : 5 g/L	39
6.3.2. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonu : 20 g/L	40
6.3.3. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonu : 25 g/L	41
6.3.4. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonu : 30 g/L	41
6.3.5. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonu : 35 g/L	42
6.3.6. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonu : 50 g/L	42
6.4. Banyo pH'ının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri	43
6.5. Banyo Sıcaklığı'nın Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri	43
6.6. Banyo Akımı'nın Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri	44
6.7. Dağıtma Gücü ve Akım Verimi.....	45
6.8. Voltajın Ayarlanması.....	46
6.9. IR Çalışması	46
6.10. Korozyon Çalışması ile Ticari Parlaticı, Taşıyıcı dayanımı ile PEG, Jelatin Dayanımının İncelenerek Kıyaslanması	47
6.11 Termal Dayanım testi ile Ticari Parlaticı, Taşıyıcı dayanımı ile PEG, Jelatin Dayanımının İncelenerek Kıyaslanması	48
6.12 Parlaticı Miktarının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri	50
6.13 Yapışma ve Bükülebilme Testi.....	50

7. SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	54
EKLER.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

4.1. Çinko Kaplama Tesisi.....	26
4.2. Çinko Kaplama Tesisi	26
4.3. Çinko Kaplama Prosesinde Kullanılan Dolap Sistemi	27
4.4. Çinko Kaplama Prosesinde Kullanılan Redresör ve Filtrasyon Sistemi	27
4.5. Genel Bir Çinko Kaplama Prosesinde İş Akış Şeması	28
5.1. Hull-Cell Düzenegi	29
6.1. Farklı akım değerlerinde potasyum klorür etkisi ile hull cell voltajının ayarlanması	46
6.2. Kaplama Tabakası IR Spektrumu	47
6.3. Korozyon Testi Sonuçları	47
(a) Beyaz Pas - 120 saat sonra - (PEG+jelatin)	47
(b) Kırmızı Pas 216 saat sonra – (PEG+ jelatin)	48
(c) Beyaz Pas -120 saat sonra – (Ticari Taşıyıcı ve Parlatici)	48
(d) Kırmızı Pas – 216 saat sonra – (Ticari Taşıyıcı ve Parlatici)	48
6.4. Termal Dayanım Testi Öncesi	
(a) PEG+jelatin ile kaplanmış numune	49
(b)Ticari taşıyıcı ve parlatici ile kaplanmış numune	49
6.5. Termal Dayanım Testi Sonrası	
(a) PEG+jelatin ile kaplanmış numune	49
(b) Ticari taşıyıcı ve parlatici ile kaplanmış numune	49
7.1. Parametre değişimlerinin hull-cell katodu üzerindeki etkileri.....	51
(a) anahtar.....	51
(b) potasyum klorür (g/L)	51
(c) çinko klorür (g/L)	51
(d) borik asit (g/L)	51
(e) PEG (g/L)	51
(f) pH, (g) sıcaklık (°C)	51
(h) akım (A)	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1. En çok kullanılan kaplama banyoları	21
4.1. Çinko Kaplama Banyoları İçerikleri	24
5.1. Sıcak Yağ Alma Banyosunun Kimyasal Bileşimi	30
5.2. Elektrikli Yağ Alma Banyosunun Kimyasal Bileşimi	30
5.3. Cr ⁺³ Sarı Pasivasyon Banyosu İçeriği	30
5.4. Bir Çinko Kaplama Banyosunun Kimyasal Bileşenleri	31
6.1. Deneyleerde Kullanılan KCl Konsantrasyonları	32
6.2. KCl Konsantrasyonunun 50g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	32
6.3. KCl Konsantrasyonunun 185 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	33
6.4. KCl Konsantrasyonunun 190 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	33
6.5. KCl Konsantrasyonunun 195 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	34
6.6. KCl Konsantrasyonunun 205 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	35
6.7. KCl Konsantrasyonunun 230g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	35
6.8. Deneyleerde Kullanılan ZnCl ₂ Konsantrasyonları	36
6.9. ZnCl ₂ Konsantrasyonunun 20g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	36
6.10. ZnCl ₂ Konsantrasyonunun 50 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	37
6.11. ZnCl ₂ Konsantrasyonunun 60 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu.....	37
6.12. ZnCl ₂ Konsantrasyonunun 70 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu.....	38
6.13. ZnCl ₂ Konsantrasyonunun 80 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu.....	38
6.14. ZnCl ₂ Konsantrasyonunun 90 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	39
6.15. Deneyleerde Kullanılan H ₃ BO ₃ Konsantrasyonları	39
6.16. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonunun 5 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	40
6.17. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonunun 20 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	40
6.18. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonunun 25 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	41
6.19. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonunun 30 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	41
6.20. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonunun 35 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	42
6.21. H ₃ BO ₃ Konsantrasyonunun 50 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu	42
6.22. Deneyleerde Kullanılan pH Değerleri	43
6.23. Deneyleerde Kullanılan Banyo Sıcaklıkları	44
6.24. Deneyleerde Kullanılan Banyo Akımları	45
6.25. Dağıtma Gücü ve Akım Verimi	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

m : t süresi boyunca I akımı geçirilmek suretiyle atomik ağırlığı M olan ve elektrotlarda ayrılan elementin kütlesidir

M : Atomik ağırlık

z : reaksiyon sırasında alınan verilen elektron sayısı

g : Gram

L : Litre

A : Amper

K : Katodların merkez anota olan uzaklıklarıdır

M : Kaplama kütlesi

1.GİRİŞ

18. yy' da elektriğin bulunması ve uygulanması ile metallerin değerli metallerle kaplanması düşünülmüştür. 1805 yılında İtalyan “Brugnatelli” elektrik kaynağı olarak kullandığı akümülatör yardımıyla altın kaplamayı başarmıştır.

1840 yılında İngiliz “Wright” ın altın ve gümüş kaplama için “siyanürlü” elektroliti bulması, insanlara doğada oksitlenmeye karşı dayanıklı metallerle dayanıksız metalleri kaplama olanağı sağlamıştır.

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

Kaplama işlemi, elektrolitik, sıcak daldırma, sıvı metal püskürtme, metal giydirme yöntemleriyle yapılmaktadır [2]. Endüstride kullanılan parçalar başta krom ve çinko olmak üzere alüminyum, bakır, kobalt, nikel, kadmiyum, kalay ve kurşun gibi saf metallerle ya da bunların alaşımları ile kaplanır [3].

Çinko kaplama işlemi asitli, alkali ve siyanürlü elektrolitlerle sağlanabilmektedir [4]. Asitli çinko kaplama işlemi ise amonyumlu ve potasyumlu olabilmektedir. Potasyum klorürlü banyolar, amonyum içermediğinden ve proses kontrolü amonyumluya göre daha rahat olduğundan daha çok tercih edilir durumdadır [5]. Bütün asitli çinko kaplamalar yüksek konsantrasyonda klorür varlığından dolayı korozif özelliğe sahiptir, ancak potasyum klorürlü çinko kaplama banyosu bunlar arasında en az korozif özelliğe sahip olanıdır [6].

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 [4].

Bu alışma kapsamında, asitli çinko kaplama proseslerinden olan, “Potasyum Klorürlü inko Kaplama Prosesi” nde tek bir yardımcı kimyasal kullanılarak, işletme parametreleri değiştirilmiş, bu parametrelerin kaplama kalitesi üzerindeki etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla kullanılan Poli Etilen Glikol (PEG) ve jelatin bu çalışmada taşıyıcı ve parlatıcı olarak rol oynamıştır.

2. ELEKTROKİMYA' NIN TANIMI VE ELEKTROLİZ

Elektrokimya klasik olarak, elektriksel ve kimyasal enerjinin birbirine dönüşümünü yani elektrik akımı ile elde edilen kimyasal değişimleri, kimyasal reaksiyonların enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi elde edilmesini ve bunlarla ilişkili olayları inceler [7].

Bir elektrolit çözelti içinden akım geçirildiğinde iyonlar elektrotlara doğru hareket eder. Elektrotlara ulaştıklarında elektron alır ya da verirler ve kimyasal değişim gerçekleşir. Bir elektrolit içinden akım geçirilerek oluşturulan kimyasal değişime elektroliz adı verilir. Bu alandaki ilk çalışmaların çoğu Michael Faraday tarafından gerçekleştirilmiştir. Faraday geçirilen elektrik miktarının tepkimenin ilerlemesi ile orantılı olduğunu göstermiş ve 96500 coulombun çözülden bir ekivalent gram madde (molekül ağırlığının ilgili iyonun değeri ile bölünmüş hali) ayrıştırdığını göstermiştir. 96500 kulon'luk elektrik miktarı 1 Faraday olarak ve yukarıda belirtilen iki sonuç Faraday'ın elektroliz yasası olarak bilinir. Elde edilen bu sonuçlara göre tüm iyonlar $1,6 \times 10^{-19}$ coulomb' luk elektrik birimi kadar bir elektrik taşırlar. Matematiksel ifade ise

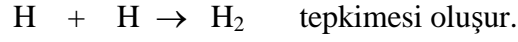
$$m = \frac{M \cdot Q}{z \cdot F} \dots\dots\dots(2.1)$$

Şeklinde. Bu bağıntıda $m = t$ süresi boyunca I akımı geçirilmek suretiyle atomik ağırlığı M olan ve elektrotlarda ayrılan elementin kütlesidir. $z =$ reaksiyon sırasında alınan verilen elektron sayısıdır [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.

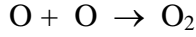
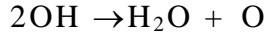
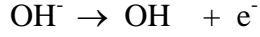
Örneğin;





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 çözeltiye 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 çözeltiye geçer.

Elektrotlarda oluşan kimyasal değişim çözeltilerde 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 çözeltilde 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 çözeltiye girerse, n pozitif iyon yükünü bırakacaktır.

Aynı sayıda elektron anotta çözeltiyi terk etmeli ve n negatif iyonun 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

$$\begin{array}{l} n \text{ pozitif iyon (dış)} \quad \text{yük bırakma} \\ n/2 \text{ pozitif iyon (iç)} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} n \text{ pozitif iyon (dış)} \\ n/2 \text{ pozitif iyon (iç)} \end{array}} \right\} \text{akım taşıyan} \\ n/2 \text{ pozitif iyon (dış)} \end{array}$$

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 [9].

3. GALVANOTEKNİK ve ELEKTROLİTİK METAL KAPLAMA

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

Metallerin elektrokimyasal birikim ve çözünmesi bir çok 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 yada 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 uygulananadan 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 [8].

Kaplama sonucunda oluşan metal kristal halledir, kristal boyutu ve kristallerin birikim şekli, birikimin adhezyon, süreklilik, görünüş, sağlamlık ve diğer özelliklerini belirler. Birikimin kristal yapısı kaplama hücrelerinin 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 [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 olarak kaplanacak madde uygun bir elektrolite katot olarak yerleştirilir. Anotun kaplanacak metalden yapıldığı durumlarda metalin reversibl çözünme potansiyelinden fazla bir gerilim uygulandığında anot çözünür. Akım yoğunluğunun artması ile de anot civarında iyon konsantrasyonu artar ve konsantrasyon polarizasyonunun oluşması da potansiyel artışına neden olur. Elektrolitteki metal iyonları kompleks şeklinde bulunduğu zaman orta akım yoğunluğunda bile bir miktar polarizasyon olur. Endüstriyel işlemlerde anot çözünmesi için anot aşındırıcı maddeler kullanılır. Halojenürler genel olarak bu amaçla çözeltiliye ilâve edilir. Bazı hallerde anotta eser miktarda başka element varlığı polarizasyonu azaltır. Örneğin nikel kaplamada nikel anota ilâve edilen az miktarda kükürt depolarizör görevi görür. Fazla miktarda depolarizör katılması anotun saf olmasını engeller. Anot polarizasyonu uzun süre devam ettiği takdirde anot çözünmez hale gelir ve anot potansiyeli anyonların ayrılacağı potansiyele kadar yükselir; bunun sonucunda da anot pasif hale geçer. Anot metalinin önceden geçirdiği mekanik ve termik işlemler örneğin; haddeden geçme, dövülme, kaynak yapılma, ısıtma ile şekil değiştirme v.s. potansiyelinin azalmasına neden olur. Çözünmeyen parçalar koparak genellikle tankın dibinde dip çamuru olarak toplanır veya çözeltide

süspansiyon olarak dağılır. Bunu engellemek için anot çoğu kez gözenekli bir kap içine alınır.

Çözünmeyen anot olarak genellikle platin, iridyum, demir, nikel ve grafit kullanılır. Çözünmeyen anotlarda maddenin anodik çözeltisinde konsantrasyon azalması olur bu durum da oksijen çıkışını kolaylaştırır.

Endüstride anot olarak kullanılan metaller genellikle saf değildir. Alaşım olması halinde elektrot potansiyeli alaşımın bileşimine göre değişir. Alaşımın saf metallerden oluştuğu hallerde metalin biri çözünürken elektrot potansiyeli sabit kalır. Diğer metalin elektrottaki miktarı belli bir yüzdeye ulaşıncaya elektrot potansiyeli birdenbire değişir ve bu metal çözülmeye başlar.

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.

Elektrolitik kaplamada küçük taneli yapışık kristaller istenir. Kristallerin oluşum hızı büyüme hızından fazla ise küçük kristalli düz ve yapışkan kaplama sağlanır. Elektroliz koşulları kristal oluşumunu hızlandıracak yönde ayarlanırsa kaplamanın kalitesi iyi olur. Elektroliz esnasında katotta hidrojen çıkışı olursa kristaller arasına hidrojen gazı yerleşir ve az yapışkan gözenekli bir kaplama elde edilir. Bu yüzden katotta hidrojen çıkışını önlemek gerekir. Elde edilecek kaplamanın kalitesi kaplanacak parçanın türüne de bağlıdır. Parça iletken değilse önce iletken hale getirilir. Bunun için üzerine metal ya da grafit tozu yapıştırılır. Kaplanacak parça plastikse önce gümüş sonra bakır ile kaplanır. Bunun üzerine istenilen metalle kaplama yapılır. Burada, bakır destek metal görevini görür. Destek metal sadece metal olmayan parçaların kaplanmasında değil; Ni, Fe, Sn, Pb, Zn gibi diğer metallere güç yapışan metallerle kaplama işlemlerinde de kullanılır.

3.1. Elektrolitik Kaplamannın Kalitesine Etki Eden Faktörler

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

3.1.1. 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 değerden 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 değerlerin üzerindeki değeri ifade eder. Bu değerlerin 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 [7].

3.1.2. 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.

3.1.3. Sıcaklık

Sıcaklığın iki karşı 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.

3.1.4. 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 çözeltilisinde 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 yabancı 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 değerlen 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 arttırırsa da polarizasyonu daha da arttıracığından kaplama gücünü azaltmış olur [7, 9, 11].

3.1.5. Katot-Anot

Kaplama banyosunda kaplanacak metal katot olarak bağlanır. Kaplamadan önce kaplanacak metale bir ön işlem uygulanması daima gereklidir ve bu işlem için gerekli araç ve gereçler kaplama tesisini tamamlayıcı parçalardır. Bir metal yüzeyinin kaplamadan önce yalnızca yağ ve pislikten değil fakat aynı zamanda yüzeydeki diğer tabakaların giderilmesi gereklidir. Temizlemedeki ilk adım yağ ve pisliğin uygun bir organik çözücü kullanılarak temizlenmesidir en fazla kullanılan çözücü trikloretilendir. Parça daha sonra su ile tamamen yıkanır ve temizlemenin tamamlanması için alkali bir çözelti ile temas ettirilir. Bu çözeltinin cinsi temizlenen metalin türüne göre değişir fakat genellikle kullanılanlar sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum fosfat, sodyum metasilikat ve sodyum siyanürdür. Genellikle çözelti, içerisinde deterjan ya da

sabun içerir ve çözelti ısıtılır. Normal olarak temizleme parçanın temizleme çözeltisine daldırılması ya da püskürtme (sprey) ile yıkama şeklinde yapılır.

Genel olarak uygulamada, kaplanacak metalin çözünebilir türde anodu kullanılır bu yolla metal iyonu derişimi sürekli olarak sabit tutulur. Elektrolitte sabit bir metal iyonu derişiminin sağlanması anottaki akım veriminin katottaki ile aynı olmasına bağlıdır. Eğer böyle bir durum söz konusu değilse belirli aralıklarla derişimde düzeltme yapmak gerekir. Anodun pasifleşmesi önlenmesi gereken bir durumdur. Klorür çözeltisinde bulunan bakır anot yüksek akım yoğunluklarında ince bir oksit tabakası tarafından pasif hale gelir.

Alkali banyoda demir ince bir oksit tabakası ile kaplanır ve nikel de ince bir oksit tabakası ile kaplanmaya yatkındır. Eğer pasifleşme gerçekleşmişse elektrot potansiyeli değişir ve oksijen açığa çıkar. Kaplama biriminde koşullar pasifleşme olmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu ise elektrolit ve akım yoğunluğunun doğru olarak seçimi ile olasıdır. Anodun cinside başlı başına önemli bir etkidir, diğer elementlerden eser miktarda bulunması genellikle pasifleşme şansını azaltır, örneğin nikel anoda % 0,1 oranında sülfür katılmasında olduğu gibi.

Diğer önemli bir etken anot polarizasyonunun büyüklüğüdür, bu ise toplam gerilimi etkiler. Anodik polarizasyon bazen anotta kontrol edilebilecek miktarlarda diğer maddelerin bulunması ve bunların fiziksel halleri ile azaltılabilir. Aynı zamanda anodun çözünme biçimi de bu yolla kontrol edilebilir. Eğer çözünme düzensiz biçimde ise anot yüzeyinde kırılmalara ve metal taneciklerinin ayrılmasına neden olur, kaplama üzerindeki etkisi bir yana bırakılsa bile, bu tanecikler boşa gidecektir. Bu tanecikler anodun çözünmesi sırasında serbest hale geçen diğer çözünmeyen maddelerle birlikte filtrasyon prosesinde ayrılırlar.

Bir kaç kaplama işlemi için çözünmeyen türden anot kutlanılır. Bunlar için tanecik oluşması problemi söz konusu değildir, ancak metal iyonu derişiminin başka bir kaynaktan beslenerek sabit bir oranda tutulması gerekir. Çözünmeyen türden anot kullanılması halinde anot tepkimesi oksijen gazının

açığa çıkmasıdır. Bunun sonucu çözeltinin asiditesinde bir artış söz konusudur. pH 'ın önemli olduğu birikimlerde bu durumu düzeltici önlemlere gerek vardır.

3.1.6. Elektrolit

Elektrolit normal olarak kaplanacak metali iyonik halde içeren sulu bir çözeltilidir. 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 yada 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 bir çok sistem için karşılaşılr, 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 kırılğanlığa neden olur. Öte yandan hidrojen kabarcıklar, çözeltide etkili bir karışmayı sağlar.

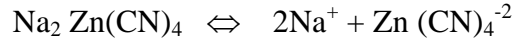
Elektrolitte metali iyonik halde bulundurmanın en basit yolu, o metalin basit bir tuzunun çözeltisini kullanmaktır. Uygulamada ekonomik yönden başlıca istenen şey yüksek birikim hızıdır, bu ise yüksek akım yoğunluğu demektir. Katotta derişim polarizasyonunun etkisini azaltmak için çözeltideki metal iyonu 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 çözünlükteki 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 çözüldüğünde 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 yada sodyum siyanürle birlikte kompleks yapmak üzere çözüdürülür 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 çözeltiliye 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 birikimler 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 [7].

3.1.6. 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 [12].

3.2. 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 yüzünün düzeltilmesi ve temizlenmesi,
- 2 — Yağ çıkarma,
- 3 — Oksit tabakasının giderilmesi.

Bu işlemlerden sonra banyoda kaplama ve cilalama veya perdahlama yapılır.

3.2.1. Parça Yüzeyinin Düzeltilmesi ve Temizlenmesi:

a) Mekanik Yolla Düzeltme

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.

b) Elektrolitik Cilalama

Bu yöntemde parça elektrolit olarak sülfat, fosfat, kromat ya da sitrik asit nadiren de florür asidini içeren bir elektrolitik pile anot olarak yerleştirilir. Yüksek akım yoğunluğu uygulanır. Metal üzerindeki pürüzlerden yüksek noktalar öncelikle çözünür. Daha alt noktalar yüksek olanlara nazaran pasiflik kazanır ve çözünme yüksek noktaların düzeyinin alttakilere eşit olmasına kadar devam eder. Bu durumda mekanik cilalama işlemine benzer bir etki ortaya çıkar ve parlak bir yüzey elde edilir. Elektrolitik cilalama, paslanmaz çeliklere, demir, nikel, bakır ve alüminyum alaşımlarına ve elektrolitik olarak kaplanmış gümüşe uygulanır. Elektrolitik cilalama işlemlerinde katot sadece devreyi tamamlama görevi görür.

3.2.2. Yağ Çıkarma

Yağlar organik ise bir bazla sabunlaştırılır ve sabun çözülür. Mineral yağlar sabunlaşmadığı için bunlar:

I.Organik çözücülerle

2.Alkalilerle

a) Sabunlaştırma ile b) Elektrolitik olarak

temizlenir.

1. Organik çözücülerle yağ çıkarmada parça, benzin veya karbontetraklorüre batırılır. Buharla yağ çıkarmada ise çözücü olarak genellikle trikloro etilen kullanılır. Parça kaynayan çözücünün buharı içine asılır. Buhar parça üzerinde yoğunlaşır ve yağları çözerek akar.

2. Alkalilerle yağların temizlenmesi işleminde,

a) 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, Na CN, boraks gibi maddelerin birini ya da bir kaçını da içerirler.

b) 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.

3.2.3. Oksit Tabakasının Kaldırılması:

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

3.3. 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 — Gerekliyse 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.

Çizelge 3.1. En çok kullanılan kaplama banyoları

Metal	Banyo tipi	Anot	Katotta akım yoğunluğu A/dm ²	Sıcaklık °C	Akım verimi %
<i>Altın</i>	Siyanür	Au	0,1-0,5	60-80	70-90
<i>Bakır</i>	Asit-sülfat	Cu	1-4	25-50	97-100
	Alkali siyanür	Cu	0,3-1,5	35-40	30-60
<i>Çinko</i>	Sülfat	Zn	1-3	20-30	99
	Sülfat (sıcak)	Zn	8-10	50-60	
	Klorür	Zn	4-10	20-40	
	Alkali siyanür	Zn	0,8-2	40-50	85-90
<i>Demir</i>	Klorür	Fe	10-18	90-100	90-98
	Çift sülfat	Fe	2-3	20-30	95-98

Çizelge 3.1. (Devam) En çok kullanılan kaplama banyoları					
<i>Gümüş</i>	Siyanür	Ag	0,3-0,8	15-25	98-100
<i>Kadmiyum</i>	Alkali siyanür	Cd	1-5	20-30	
<i>Kalay</i>	Alkali stannit	Sn	1	50	
	Alkali stannat	Sn	0,5-1,5	60	70-95
<i>Kobalt</i>	Sülfat	Co	3-17	20-30	95-98
<i>Krom</i>	Kromikasit + sülfat	Pb	10-30	40-50	12-20
<i>Kurşun</i>	Fluoroborat	Pb	0,5-2	20-30	93-20
	Perklorat	Pb	2-3	20-30	95
<i>Nikel</i>	Sülfat	Ni	0,5-2	20-30	94-98
	Çift sülfat	Ni	0,3-0,6	20-30	91-38
	Sülfat-klorür	Ni	1,5-5	50-50	94-98
<i>Palladyum</i>	Klorür	Pd	1		98-100
<i>Platin</i>	Fosfat	Pt	0,1	70	
<i>Pirinç</i>	Siyanür	Cu-Zn	0,2-0,3	32-45	80

4. ÇİNKO KAPLAMA

4.1. Çinko Metali

Simgesi	: Zn
Atom Ağırlığı	: 65,38
Değerliği	: +2
Özgül Ağırlığı	: 7,133
Erime Noktası	: 420 °C
Kaynama Noktası	: 925,7 °C
Elektrokimyasal Ekvivalent Ağırlığı	: 1,22 g/A.h.
Sertliği	: 40-50 VH kg/mm ²

Çinko elektrokimyasal özelliği yüzünden demiri paslanmaya karşı koruyan en iyi madendir.

4.2. Çinko Kaplama

Metalik parçaları korozyondan korumak için koruyucu bir tabaka olan çinko ile kaplama işlemidir. Elektrolitik çinko, kesildiği an gümüşü beyaz renktedir. Gümüş gibi yumuşak ve bükülgendir. Polisaj yapılırken sıvazlanır.

Çinko kaplama işlemi asitli ve alkali elektrolitlerle sağlanır, sıcak daldırma metoduyla da kalın bir koruyucu çinko tabakası elde etmek mümkündür. Ayrıca toz çinko püskürtmek sureti ile de koruyucu bir tabaka elde edilebilmektedir.

Atmosferin tesiri ile üst tabakada karbonat ve sülfatlar meydana gelir. Bu bir tabakadır, kazıma olmadığı müddetçe geçmez ve reaksiyon devam etmez. Çinko demir ve çeliğe nazaran elektrokimyasal özelliği bakımından onları korozyona karşı koruyan iyi bir elementtir. Demir ve çeliğin üzerindeki bir çinko tabakası onları paslanmaya karşı koruyucu bir tabaka oluşturur.

Ürünü çinko kaplamak isteyen bir üreticinin, hangi çinko elektrolitini seçmesi gerektiği konusu her zaman önemli olmuştur. Kullanılabilirliği olan çinko elektrolitleri ile bunlarda kullanılan tuzlar ve organik ilaveler aşağıda gösterilmiştir. Değerler g / L biriminde dir [12].

Çizelge 4.1 Çinko Kaplama Banyoları İçerikleri

Kullanılan Tuzlar g/L	siyanürlü çinkolar			siyanürsüz alkali çinkolar	zayıf asitli çinkolar		
	düşük siyanürlü	orta siyanürlü	yüksek siyanürlü		potasyumlu	düşük amonyumlu	yüksek amonyumlu
Çinko Oksit	15 – 25	25 – 40	40 - 50	08--14			
Sodyum Hidroksit	80-70	70-60	60 - 50	110 - 140			
Sodyum Siyanür	30 - 50	50 - 90	90- 120				
Çinko Klorür					40 - 70	40 – 60	40 - 50
Amonyum Klorür						20 – 40	150 - 180
Potasyum Klorür					180 - 240	150 - 200	
Borik Asit					20 - 30	10 – 20	
Parlatıcı	√	√	√	√	√	√	√
Taşıyıcı					√	√	√
Düzeltilici	√	√	√				
Booster				√			
Purifier				√			

Çizelge 4.1’ de de görüldüğü üzere galvanoteknikte çinko kaplama banyoları temel olarak:

1. Asitli Çinko Kaplama
2. Siyanürlü Çinko Kaplama
3. Alkali Çinko Kaplama

çeşitlerine ayrılmaktadır [13].

Ayrıca çeşitli çinko alaşımli banyoları da mevcuttur. Bunlar çinko-demir, çinko-kobalt ve çinko-nikel banyolarıdır. Burada kaplama alaşımli olduğundan normal çinko kaplamaya nazaran daha yüksek korozyon dirençlerine sahiptirler.

Tüm çinko 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.

Asitli çinko kaplamalar daha ziyade kuvvetli kaplama istenmesi durumlarında kullanılmaktadır. Kuvvetli akımda kaplama kırılgaştır ve tabaka tabaka kalkar, kaplama yüzeyinde kabarcıklar meydana gelir. Bu çalışma

kapsamında asitli çinko kaplama işlemi irdelenecektir. Asitli çinko kaplama banyoları;

1. Amonyum klorürlü
2. Potasyum klorürlü

olabilmektedir. İlk olarak amonyum klorürlü banyolar kullanılmaya başlamıştır. Bu banyolar yüksek akım bölgelerinde çalıştırılabilmekte, fakat amonyum iyonları nikel ve bakır ile tepkime vererek prosesin kontrolünü güçleştirmektedir. Bu yüzden amonyum içermeyen banyo geliştirilmesi ihtiyacı doğmuş ve potasyum klorürlü çinko kaplama banyoları ortaya çıkmıştır. Maliyet olarak amonyum klorürlü banyolara göre dezavantajlar taşımakta olan potasyum klorürlü banyolar, daha az güç kullanımı ile daha düzenli akım aralıklarında çalışılabildiğinden daha avantajlı ve kullanışlı hal almaktadır [14]. Bu çalışma kapsamında potasyum klorürlü çinko kaplama prosesi kullanılmıştır.

4.3. Potasyum Klorürlü Çinko Kaplama Prosesi

4.3.1. Prosesin Özellikleri

“Potasyum Klorürlü Çinko Kaplama Prosesi”; esnek, parlak ve düzgün çinko kaplama yapmak üzere tasarlanmış amonyumsuz ekonomik bir asitli çinko banyosudur.

Başlıca özellikleri:

1. Büyük hacimli dolap banyolarında alçak akım bölgelerinde parlak kaplama yapar.
2. Amonyum içermediği için atık problemi yoktur.
3. Diğer çinko kaplama proseslerine göre banyo ilavelerinin çözünürlüğü yüksektir.
4. Yumuşak dökme demir, ısıtma işlemi ve nitrokarbür işlemi görmüş parçalar üzerinde kaplama yapılabilir.
5. Çok az köpürür ve hava karıştırmalı banyolarda rahatlıkla kullanılabilir.
6. Kaplanmış parçalar üzerine mavi, sarı vb. gibi konvansiyonel pasivasyon işlemi gerçekleştirilebilir.

Tank : Polietilen, polipropilen veya bu malzemelerden birisi ile kaplı çelik tanklar kullanılmalıdır. Proseste çözelti ile temas edecek tüm ekipmanlar plastik veya plastik kaplı olmalıdır.

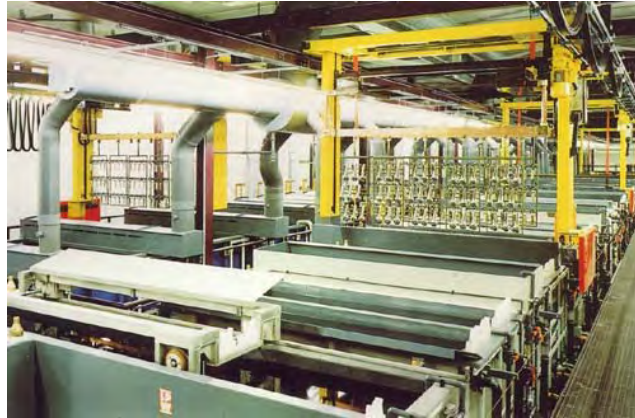
Filtrasyon : Sürekli çalışabilen 15 mikron geçirgenlikli kartuşlu polipropilen filtre ünitesi önerilir. Ayrıca gerekli hallerde aktif karbonlu kartuş kullanılmalıdır.

Isıtma Soğutma : Termostatik kontrol kullanılmalıdır.



Şekil 4.1. Çinko Kaplama Tesisi

Karıştırma : Potasyum Klorürlü Çinko kaplama prosesi çok köpürmediği için mekanik veya hava karıştırma kullanılabilir.



Şekil 4.2. Çinko Kaplama Tesisi

Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.' de çinko kaplama tesisi resimleri görülmektedir. Şekil 4.3.' te ise çinko kaplama prosesinde kullanılan dolap sistemi, Şekil 4.4.' te redresör ve filtrasyon sistemi gösterilmiştir.



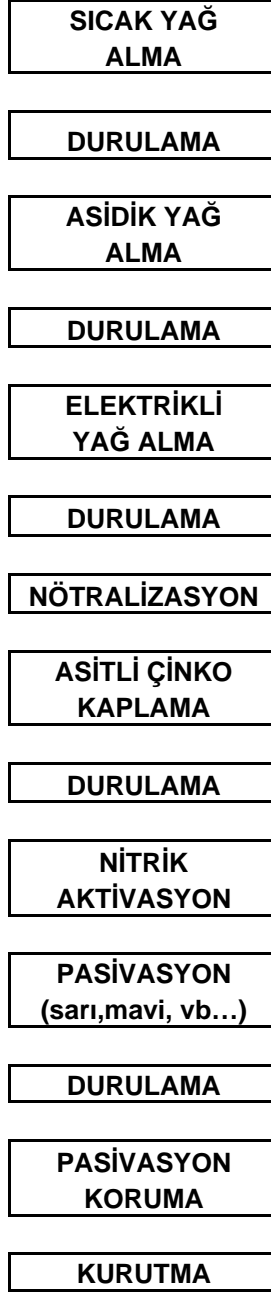
Şekil 4.3. Çinko Kaplama Prosesinde Kullanılan Dolap Sistemi



Şekil 4.4. Çinko Kaplama Prosesinde Kullanılan Redresör ve Filtrasyon Sistemi

4.3.3. Çinko Kaplama Prosesinde İş Akışı

Genel amaçlı olarak kurulan çinko kaplama tesislerinde kaplama işlemi sırası Şekil 4.5.' de özetle gösterilmiştir. Asitli, siyanürlü, alkali, alaşımlı çinko banyolarında da işlem prosesi genel olarak aynı temel üzerine inşa edilmiştir.

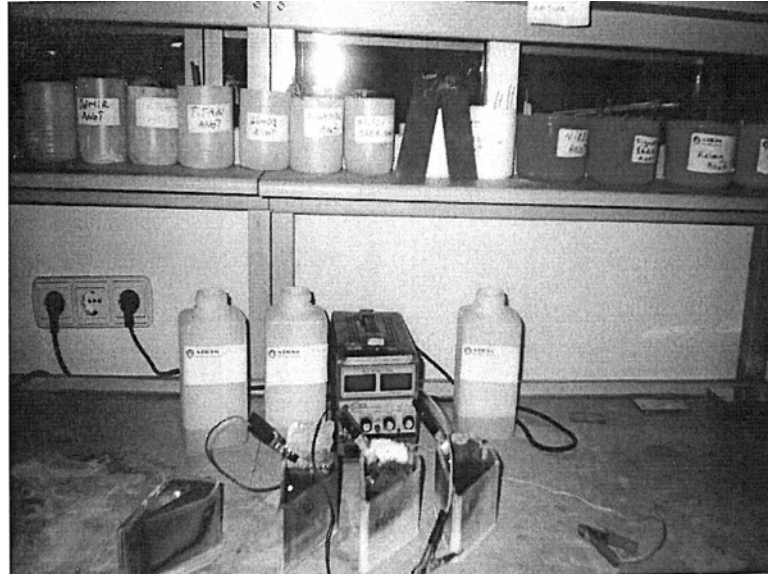


Şekil4.5. Genel Bir Çinko Kaplama Prosesinde İş Akış Şeması

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Kaplama Kalitesi Tayin Metodunda Kullanılan Araç ve Gereçler

Çalışma esnasında esas olarak Hull-Cell cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 0-10 A ve 0-12 V arasında ayarlanabilecek şekilde imal edilmiş bir adet doğru akım güç kaynağı ve polipropilen malzemeden üretilmiş, üzerinde içerisinde bulunan sıvının seviyesini gösteren çizgi bulunan 267 mL. hacminde kaplardan oluşmaktadır. Bunun yanı sıra cam beher, termometre, pH metre, kaplama kalınlığı ölçüm cihazı, elektrikli yağ alma işlemini gerçekleştirmek için ikinci bir redresör kullanılmıştır. Hull Cell anodu olarak çinko anot, kotodu olarak da 7x10 cm boyutlarında sac levhalar (*Kalınlık $0,5 \pm 0,1$ mm. olmalıdır. 1 mm kalınlığa kadar gidilebilir üniform kalınlıkta olmalı ve kabın yan yüzeyine tamamen yapışmalıdır*) kullanılmıştır [16]. 1,2,3 ve 5 A' deki akım yoğunluklarını tespit edebilmek için Hull-Cell cetveli kullanılmıştır. Testlerin gerçekleştirildiği düzenek Şekil 5.1.' de görülmektedir.



Şekil 5.1. Hull-Cell Düzenegi

5.2. Elektrolitik Yöntemle Çinko Kaplama

5.2.1. Ön Temizleme

Bu çalışmada katot olarak ST37 standardına uygun 7x10 cm boyutlarında DKP sac levhalar kullanılmıştır. Söz konusu katottan hazırlanan örnekler, kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1.' de ve Çizelge 5.2.' de verilen sıcak ve

elektrikli yağ alma banyolarında ön temizlemeye tabi tutulmuş ve saf su ile durulandıktan sonra kurutulmuştur.

Sıcak yağ alma çözeltisi için çalışma koşulları 75-95 °C ve 5-10 dakikadır. Elektrikli yağ alma işlemi katotik yağ alma ve anotik yağ alma olmak üzere iki basamaktan oluşmaktadır. Katotik yağ alma işlemi 8-10 A/dm² akım yoğunluğunda ve 40-120 saniye sürede, anotik yağ alma işlemi ise 8-10 A/dm² akım yoğunluğunda 10-30 saniye süre ile gerçekleştirilmektedir [17].

Çizelge 5.1. Sıcak Yağ Alma Banyosunun Kimyasal Bileşimi

BANYO BİLEŞENLERİ	KONSANTRASYON (g/L)
Sodyum Karbonat (Na ₂ CO ₃)	18
Trisodyum Fosfat (Na ₃ PO ₄ 12 H ₂ O)	10
Sodyum Hidroksit (NaOH)	50
Sodyum Glukonat (C ₆ H ₁₁ NaO ₇)	10

Çizelge 5.2. Elektrikli Yağ Alma Banyosunun Kimyasal Bileşimi

BANYO BİLEŞENLERİ	KONSANTRASYON (g/L)
Sodyum Karbonat (Na ₂ CO ₃)	30
Trisodyum Fosfat (Na ₃ PO ₄ 12 H ₂ O)	22
Sodyum Hidroksit (NaOH)	40
Sodyum Glukonat (C ₆ H ₁₁ NaO ₇)	8

Hull-Cell deneylerinden sonra kaplanmış plaka 3-5 saniye süre ile %5' lik nitrik asit çözeltisine daha sonra da bileşenleri Çizelge 5.3.' de verilmiş olan Cr⁺³ sarı pasivasyon banyosuna daldırılmıştır [15]. En son olarak da durularak hava akımı etkisi ile kurutulmuştur.

Çizelge 5.3. Cr⁺³ Sarı Pasivasyon Banyosu İçeriği

BANYO BİLEŞENLERİ(g/L)	İŞLETME PARAMETRELERİ
TRI-V Sarı Pasivasyon Çözeltisi : 0,10 g/L Su	Ph :1,8

5.2.2. Çinko Kaplama İşlemi

Çinko kaplama banyosu; çinko klorür, potasyum klorür, borik asit, taşıyıcı ve parlaticı kimyasallarının Çizelge 5.4’ de verilen oranlarda [6], saf su içerisinde 30 dakika karıştırılmak suretiyle çözünmesi ile hazırlanmıştır.

Çizelge 5.4. Bir Çinko Kaplama Banyosunun Kimyasal Bileşenleri

Banyo Bileşenleri	Konsantrasyonları (g/L)	İşletme Koşulları
KCl	200,7	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım : 1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C
ZnCl ₂	70	
H ₃ BO ₃	34	

Bu çalışmada taşıyıcı, parlaticı olarak tedarikçilerden temin edilen ve sanayide kullanılan ticari taşıyıcı ve parlaticıların yanı sıra poli etilen glikol (PEG) ve jelatin kullanılarak bu kimyasallar arasında bir kıyaslama yapılmaya çalışılmıştır. Optimum banyo değerleri dışına çıkılarak değişen parametrelerin kaplama kalitesi üzerindeki etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Kaplama kalitesine etki ettiği düşünülerek bu çalışma kapsamında etkileri incelenen parametreler şunlardır:

1. Banyo Bileşenleri (KCl, ZnCl₂, H₃BO₃)
2. Parlaticı Miktarı
3. pH
4. Sıcaklık
5. Akım Değeri

6. DENEYSEL BULGULAR

6.1. Potasyum Klorür Miktarının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri

Potasyum klorür elektrolitin iletkenliğini arttırmak için kullanılmaktadır [4]. Yapılan çalışmalarda, diğer bileşenlerin miktarları sabit tutularak, Çizelge 6.1.' de verilmiş olan potasyum klorür konsantrasyonlarında çalışılmış ve potasyum klorür konsantrasyonu değişiminin kaplama kalitesi üzerindeki etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 6.1. Deneylerde Kullanılan KCl Konsantrasyonları

Örnek Numarası	KCl konsantrasyonu (g/L)
1	50
2	185
3	190
4	195
5	205
6	230

6.1.1. KCl Konsantrasyonu : 50 g/L

Banyo kuruluşu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.2.' de verilmiştir.

Çizelge 6.2. KCl Konsantrasyonunun 50g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	12,5 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım : 1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	8,75 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune, hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 50 g/L KCl konsantrasyonunda düşük akım bölgelerinde (0,5-4 Adm⁻²) kaplama almayan yüzeylere rastlanmıştır. Düşük akım bölgesinden yüksek akım bölgesine doğru gidildikçe yeteri kadar parlak olmayan yüzeyler oluşmuş, yüksek akım bölgesinde ise (20-40 Adm⁻²) mat bir görünüm

gözenmiştir. Netice olarak, 50 g/L KCl konsantrasyonu kaplama almayan yüzeylere ve mat bölgelere sebebiyet verdiği için uygun bir konsantrasyon değildir.

6.1.2. KCl Konsantrasyonu : 185 g/L

Banyo kurulumu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kurulum miktarları Çizelge 6.3.' de verilmiştir:

Çizelge 6.3. KCl Konsantrasyonunun 185 g/L olduğu durum için banyo kurulumu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	46,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 185 g/L KCl konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (25-40 Adm⁻²) parlak olmayan yüzeylere rastlanmıştır. Netice olarak, 185 g/L KCl konsantrasyonda çalışıldığında yüksek akım bölgelerinde yeteri kadar parlak olmayan yüzeylere rastlandığından bu konsantrasyonun uygun bir değer olmadığı kanısına varılmıştır.

6.1.3. KCl Konsantrasyonu : 190 g/L

Banyo kurulumu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kurulum miktarları Çizelge 6.4.' de verilmiştir:

Çizelge 6.4. KCl Konsantrasyonunun 190 g/L olduğu durum için banyo kurulumu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	47,5 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 190 g/L KCl konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (30-40 Adm^{-2}) parlak olmayan yüzeylere rastlanmıştır. Netice olarak, 190 g/L KCl konsantrasyonda çalışıldığında yüksek akım bölgelerinde yeteri kadar parlak olmayan yüzeylere rastlandığından bu konsantrasyonun uygun bir değer olmadığı kanısına varılmıştır.

6.1.4. KCl Konsantrasyonu : 195 g/L

Banyo kuruluşu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.5.' de verilmiştir:

Çizelge 6.5. KCl Konsantrasyonunun 195 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	48,75 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 195 g/L KCl konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (33-40 Adm^{-2}) parlak olmayan yüzeylere rastlanmıştır. Netice olarak, 195 g/L KCl konsantrasyonda çalışıldığında yüksek akım bölgelerinde yeteri kadar parlak olmayan yüzeylere rastlandığından bu konsantrasyonun uygun bir değer olmadığı kanısına varılmıştır.

6.1.5. KCl Konsantrasyonu : 205 g/L

Banyo kuruluşu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.6.' da verilmiştir.

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 205 g/L KCl bütün akım bölgelerinde ayna parlaklığında, pürüzsüz bir yüzey görünümü elde edilmiştir. 205 g/L, potasyum

klorürlü çinko kaplama banyolarında potasyum klorür konsantrasyonu için uygun bir değerdir.

Çizelge 6.6. KCl Konsantrasyonunun 205 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

6.1.6. KCl Konsantrasyonu : 230 g/L

Banyo kuruluşu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.7.' de verilmiştir:

Çizelge 6.7. KCl Konsantrasyonunun 230g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	57,5 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 230 g/L KCl konsantrasyonunda orta akım bölgelerinde (6-20 Adm⁻²) mat bölgelere rastlanmıştır. Ayrıca kaplamada kabarma ve pul pul dökülmeler görülmüştür. Netice olarak, 230 g/L KCl konsantrasyonda çalışıldığında orta akım bölgelerinde yeteri kadar parlak olmayan, mat yüzeylere rastlandığından bu konsantrasyonun uygun bir değer olmadığı kanısına varılmıştır.

6.2. Çinko Klorür Miktarının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri

Yapılan çalışmalarda Çizelge 6.8.' de verilmiş olan çinko klorür konsantrasyonlarında çalışılmış ve çinko klorür konsantrasyonu değişiminin kaplama kalitesi üzerindeki etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 6.8. Deneylerde Kullanılan ZnCl₂ Konsantrasyonları

Örnek Numarası	ZnCl ₂ konsantrasyonu (g/L)
1	20
2	50
3	60
4	70
5	80
6	90

6.2.1. ZnCl₂ Konsantrasyonu : 20 g/L

Banyo kurulumu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kurulum miktarları Çizelge 6.9' da verilmiştir:

Çizelge 6.9. ZnCl₂ Konsantrasyonunun 20g/L olduğu durum için banyo kurulumu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	5,0 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 20 g/L ZnCl₂ konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (20-40 Adm⁻²) yanmalar olmuştur. Netice olarak, 20 g/L ZnCl₂ konsantrasyonu ile yapılmış çinko kaplamada yanmalar görüldüğünden bu konsantrasyon uygun bir konsantrasyon değildir.

6.2.2. ZnCl₂ Konsantrasyonu : 50 g/L

Banyo kuruluğu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.10.' da verilmiştir:

Çizelge 6.10. ZnCl₂ Konsantrasyonunun 50 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	12,5 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 50 g/L ZnCl₂ konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (30-40 Adm⁻²) yanmalar olmuştur. Netice olarak, 50 g/L ZnCl₂ konsantrasyonu ile yapılmış çinko kaplamada yanmalar görüldüğünden bu konsantrasyon uygun bir konsantrasyon değildir.

6.2.3 ZnCl₂ Konsantrasyonu : 60 g/L

Banyo kuruluşu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.11.' de verilmiştir:

Çizelge 6.11. KCl Konsantrasyonunun 60 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	15,0 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 60 g/L ZnCl₂ konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (35-40 Adm⁻²) yanmalar olmuştur. Netice olarak, 60 g/L ZnCl₂

konsantrasyonu ile yapılmış çinko kaplamada yanmalar görüldüğünden bu konsantrasyon uygun bir konsantrasyon değildir.

6.2.4. ZnCl₂ Konsantrasyonu : 70 g/L

Banyo kuruluşu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.12.' de verilmiştir:

Çizelge 6.12. KCl Konsantrasyonunun 70 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım : 1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 70 g/L ZnCl₂ konsantrasyonunda tüm akım bölgelerinde ayna parlaklığında, pürüzsüz görünümlü çinko kaplama tabakası meydana gelmiştir.

6.2.5. ZnCl₂ Konsantrasyonu : 80 g/L

Banyo kuruluşu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.13.' de verilmiştir:

Çizelge 6.13. KCl Konsantrasyonunun 80 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım : 1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	20,0 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 80 g/L ZnCl₂ konsantrasyonunda yüksek akım

bölgelerinde (30-40 Adm⁻²) kaplama mat bir görünüm almıştır. Netice olarak, 80 g/L ZnCl₂ konsantrasyonu ile yapılmış çinko kaplamada, yüksek akım bölgelerinde mat bir görünüm olduğundan, bu konsantrasyon uygun bir konsantrasyon değildir.

6.2.6. ZnCl₂ Konsantrasyonu : 90 g/L

Banyo kuruluşu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.14.' de verilmiştir:

Çizelge 6.14. KCl Konsantrasyonunun 90 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım : 1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	22,5 g	
H ₃ BO ₃	8,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 90 g/L ZnCl₂ konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (25-40 Adm⁻²) kaplama mat bir görünüm almıştır. Netice olarak, 90 g/L ZnCl₂ konsantrasyonu ile yapılmış çinko kaplamada, yüksek akım bölgelerinde mat bir görünüm olduğundan ve kaplama yeteri kadar parlak olmadığından bu konsantrasyon uygun bir konsantrasyon değildir.

6.3. Borik Asit Miktarının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri

Yapılan çalışmalarda Çizelge 6.15' de verilmiş olan borik asit konsantrasyonlarında çalışılmış ve borik asit konsantrasyonu değişiminin kaplama kalitesi üzerindeki etkileri anlaşılmasına çalışılmıştır.

Çizelge 6.15 . Deneylerde Kullanılan H₃BO₃ Konsantrasyonları

Örnek Numarası	H ₃ BO ₃ konsantrasyonu (g/L)
1	5
2	20
3	25

Çizelge 6.15 . (Devam)Deneylerde Kullanılan H₃BO₃ Konsantrasyonları

4	30
5	35
6	50

6.3.1. H₃BO₃ Konsantrasyonu : 5 g/L

Banyo kurulumu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kurulum miktarları Çizelge 6.16.' de verilmiştir:

Çizelge 6.16. H₃BO₃ Konsantrasyonunun 5 g/L olduğu durum için banyo kurulumu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	1,25 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 5 g/L H₃BO₃ konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (20-40 Adm⁻²) yanmalar olmuştur. Ayrıca bu konsantrasyonda kaplama yüzeyinde kabarma ve delikler oluşmuştur. Netice olarak, 5 g/L H₃BO₃ konsantrasyonu ile yapılmış çinko kaplamada, yüksek akım bölgelerinde yanmalar meydana geldiğinden, bu konsantrasyon uygun bir konsantrasyon değildir.

6.3.2. H₃BO₃ Konsantrasyonu : 20 g/L

Banyo kurulumu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kurulum miktarları Çizelge 6.17.' de verilmiştir:

Çizelge 6.17. H₃BO₃ Konsantrasyonunun 20 g/L olduğu durum için banyo kurulumu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	5,0 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 20 g/L H₃BO₃ konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (26-40 Adm⁻²) yanmalar olmuştur. Netice olarak, 20 g/L H₃BO₃ konsantrasyonu ile yapılmış çinko kaplamada, yüksek akım bölgelerinde yanmalar meydana geldiğinden, bu konsantrasyon uygun bir konsantrasyon değildir.

6.3.3. H₃BO₃ Konsantrasyonu : 25 g/L

Banyo kurulumu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kurulum miktarları Çizelge 6.18' de verilmiştir:

Çizelge 6.18. H₃BO₃ Konsantrasyonunun 25 g/L olduğu durum için banyo kurulumu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	6,25 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 25 g/L H₃BO₃ konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (30-40 Adm⁻²) yanmalar olmuştur. Netice olarak, 25 g/L H₃BO₃ konsantrasyonu ile yapılmış çinko kaplamada, yüksek akım bölgelerinde yanmalar meydana geldiğinden, bu konsantrasyon uygun bir konsantrasyon değildir.

6.3.4. H₃BO₃ Konsantrasyonu : 30 g/L

Banyo kurulumu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kurulum miktarları Çizelge 6.19.' de verilmiştir:

Çizelge 6.19. H₃BO₃ Konsantrasyonunun 30 g/L olduğu durum için banyo kurulumu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac

Çizelge 6.19. (Devam) H₃BO₃ Konsantrasyonunun 30 g/L olduğu durum için banyo

ZnCl ₂	17,5 g	Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
H ₃ BO ₃	7,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 30 g/L H₃BO₃ konsantrasyonunda yüksek akım bölgelerinde (35-40 Adm⁻²) yanmalar olmuştur. Netice olarak, 30 g/L H₃BO₃ konsantrasyonu ile yapılmış çinko kaplamada, yüksek akım bölgelerinde yanmalar meydana geldiğinden, bu konsantrasyon uygun bir konsantrasyon değildir.

6.3.5. H₃BO₃ Konsantrasyonu : 35 g/L

Banyo kuruluşu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.20.' de verilmiştir:

Çizelge 6.20. H₃BO₃ Konsantrasyonunun 35 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	8,75 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 35 g/L H₃BO₃ konsantrasyonunda yüzey görünümü mükemmel, parlak ve uygun bir kaplama elde edilmiştir.

6.3.6. H₃BO₃ Konsantrasyonu : 50 g/L

Banyo kuruluşu : 250 mL' lik hull-cell hücresi için banyo kuruluş miktarları Çizelge 6.21.' de verilmiştir:

Çizelge6.21. H₃BO₃ Konsantrasyonunun 50 g/L olduğu durum için banyo kuruluşu

Bileşenleri	Miktarı (g)	İşletme Koşulları
KCl	51,25 g	Anot: Çinko (%99,9); Katot : DKP Sac Akım :1A; Kaplama Süresi : 10 dk, pH: 5,2; Sıcaklık : 25 °C Deney Tekrarlama Sayısı : 3 Çözücü : Su
ZnCl ₂	17,5 g	
H ₃ BO ₃	12,5 g	
PEG	2,0 g	
Jelatin	1,2 g	

Yapılan deneyler neticesinde numune hull cell cetveli kullanılarak yorumlanmıştır. Buna göre 50 g/L H₃BO₃ konsantrasyonunda kırılğan bir kaplama çinko tabakası oluşmuş olup, kaplama pul pul dökülmektedir. Bu konsantrasyon potasyum klorürlü prosesler için uygun bir değer değildir.

6.4. Banyo pH' ının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri

pH' ın kaplama kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek üzere Çizelge 5.4' te verilen değerlerde hazırlanmış olan banyo içerisinde, kaplama işlemi farklı pH değerlerinde gerçekleştirilmiştir. pH ölçümleri, pH metre cihazı (WTW-pH315i) ile yapılmıştır. Banyonun pH değeri yarı yarıya seyreltilmiş HCl çözeltisi ile ayarlanmıştır. pH değerinin hızlı değişimine karşı asit ilaveleri oldukça yavaş yapılmıştır. Çalışma esnasında kullanılan pH değerleri Çizelge 6.22' de verilmiştir.

Çizelge 6.22 . Deneylerde Kullanılan pH Değerleri

Örnek Numarası	Banyo pH' ı
1	3,5
2	4,0
3	4,5
4	5,0
5	5,5
6	6,0

pH kaplama kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada pH' a 3,5 ve 6,0 arasında değişen değerler verilerek, pH değişiminin hull cell katotu üzerindeki etkileri incelenmiştir. 3,5-4,0 arasında değişen düşük

pH değerlerinde yüksek akım bölgelerinde (30-40 Adm⁻²) yanmalar, kabarmalar ve pul pul dökülmelere rastlanmıştır. pH, 4,5 olduğunda yüksek akım bölgelerinde parlaklık azalmıştır. En uygun ve parlak kaplama, pH değeri 5 iken gerçekleşmiştir. pH, 5' ten büyük değerler aldığıında kaplama kırılmağa başlamış, pul pul dökülmeler gözlenmiştir. Yüksek akım bölgelerinde yanma meydana gelmiştir.

6.5. Banyo Sıcaklığının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri

Sıcaklığın kaplama kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek üzere Çizelge 5.4' te verilen değerlerde hazırlanmış olan banyo içerisinde, kaplama işlemi farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.4.' te verilmiş olan değerler doğrultusunda hazırlanan banyoda 1 A akım değerinde kaplanmış numunelerin işletme sıcaklıkları Çizelge 6.23' te yer almaktadır.

Çizelge 6.23. Deneylerde Kullanılan Banyo Sıcaklıkları

Örnek Numarası	Banyo Sıcaklığı (°C)
1	15
2	20
3	25
4	30
5	35
6	40

Yüksek sıcaklık değerlerinde (>30 °C), tüm akım bölgelerinde, mat ve görüntüsü bozuk bir kaplama elde edilmiştir. 40 °C' de kabarmalar görülmüştür. Sıcaklığın, 30 °C' ye düşmesiyle, kaplama parlaklaşmış, 25 °C' de ayna parlaklığı gösteren bir kaplama tabakası oluşmuştur. 20 °C' de yüksek akım bölgesinde (35-40Adm⁻²) yanmış bir kaplama meydana gelmiştir. 15 °C' de düşük akım bölgelerinde (0,5-2,0 Adm⁻²) kaplanmamış bölgelere rastlanmıştır.

6.6. Banyo Akımının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri

Bu aşamaya kadar yapılan tüm çalışmalar sonucunda banyo bileşen konsantrasyonlarının, sıcaklığın, pH' ın değişimlerinin kaplama kalitesi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde belirlenen uygun koşullarda, banyoya uygulanacak olan farklı akım değerlerinin kaplama davranışını nasıl etkileyeceği anlaşılmaya çalışılmıştır. Bunun için uygulanmış olan akım değerleri Çizelge 6.24' deki gibidir:

Çizelge 6.24. Deneylerde Kullanılan Banyo Akımları

Örnek Numarası	Banyo Akımı (A)
1	1 A
2	2 A
3	3 A
4	5 A

Yapılan testler sonucunda 1A akım değerinde, 0,1-0,5 Adm^{-2} de kaplama parlaktır. 2A' de katot 0,5-6,5 Adm^{-2} de, 3A' de 0,7-8,3 Adm^{-2} de parlaktır. 3A' de 8,3-18,2 Adm^{-2} de, yanmış ve kabarmaların meydana geldiği bir bölge tespit edilmiştir. 4A' de 0,7-8,5 Adm^{-2} de kaplama parlak, diğer akım bölgelerinde ise kaplanmış yüzey yanıktır.

6.7. Dağıtma Gücü ve Akım Verimi

"Dağıtma gücü" terimi düzensiz bir katot yüzeyinde kaplama sisteminin düzenli (tek düze) bir birikim üretme yeteneğini tanımlamak için kullanılır. Dağıtma gücünü belirlemek için kullanılan en etkin yöntem "Haring and Blum Cell" metodudur. Bu metoda göre kaplama, 430 mL kapasiteli dikdörtgen Haring and Blum hücresinin her iki kenarına iki ayrı katot yerleştirilmesi sureti ile gerçekleştirilir. Anot ise belirlenen bir uzaklık oranı dahilinde merkeze yerleştirilir. Dağıtma Gücü aşağıda verilen empirik formül (6.1) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{T.P. (\%)} = [100(K-M)] / [K+M-2] \dots\dots\dots(6.1)$$

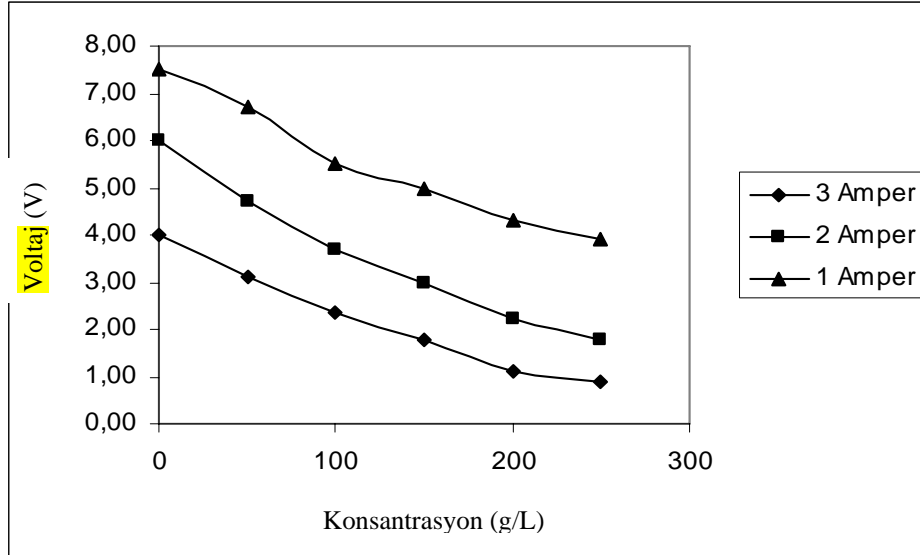
M katotlar üzerinde yer alan kaplama miktarlarının oranı; K, katotların merkez anota olan uzaklıkları oranıdır. Bu çalışmada K, 1:2 alınmıştır. Optimum banyo bileşenleri ile farklı akım değerlerinde (1, 2, 3 ve 5 A) çalışılarak dağıtma gücü ve akım verimleri hesaplanmış ve Çizelge 6.25.' te gösterilmiştir.

Çizelge 6.25. Dağıtma Gücü ve Akım Verimi

Akım (A)	Akım Verimi	Dağıtma Gücü
1	93,5	38
2	93,0	33
3	87,0	35
5	81,0	31

6.8. Voltajın Ayarlanması

Farklı akım değerlerinde potasyum klorür etkisi ile hull cell voltajı ayarlanmaya çalışılmıştır. Farklı potasyum klorür konsantrasyonlarında sabit akım değerleri için hull cell redresörünün kaç voltajı çektiği okunmuş ve Şekil 6.1.'de grafiğe dökülmüştür [18].

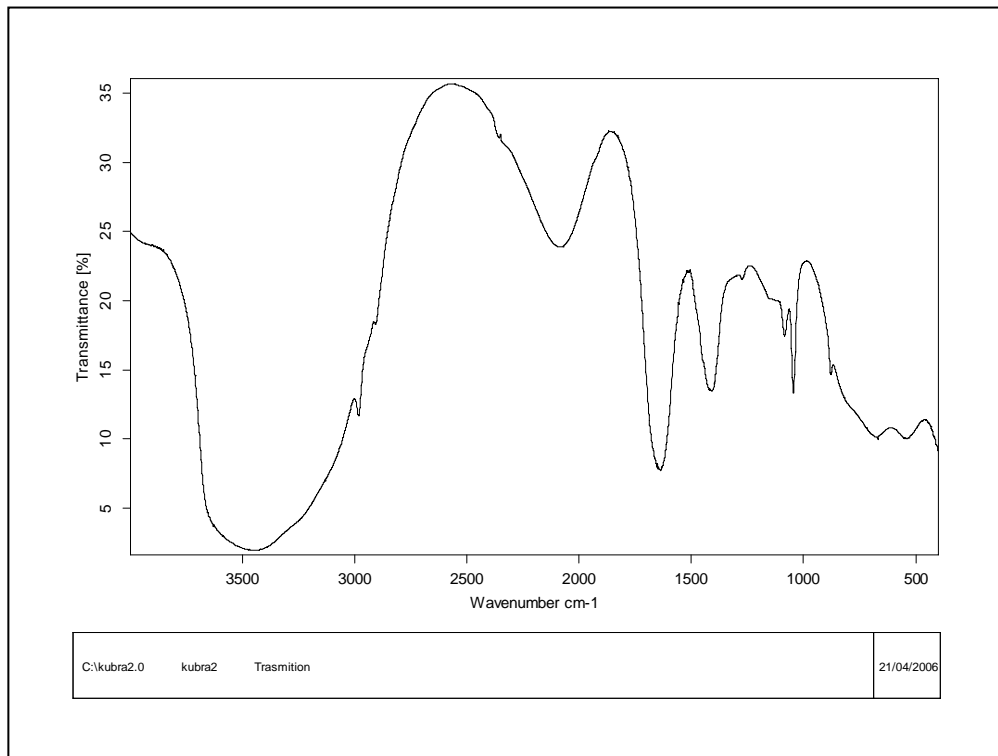


Şekil 6.1. Farklı akım değerlerinde potasyum klorür etkisi ile hull cell voltajının ayarlanması

Sabit akım değerlerinde, potasyum klorür konsantrasyonu 205 g/L oluncaya kadar, konsantrasyon artışı ile voltajın düştüğü gözlenmiştir. Bu değerden sonra kayda değer bir değişme gözlenmemiştir.

6.9. IR Çalışması

Optimum çalışma koşullarında kaplanmış sac levha üzerindeki kaplama söktürülerek, IR çekimi (Tensor 27/BRUKER-Almanya) gerçekleştirilmiştir. Kaplama tabakasının IR spektrumu Şekil 6.2.' de verilmiştir.



Şekil 6.2. Kaplama Tabakası IR Spektrumu

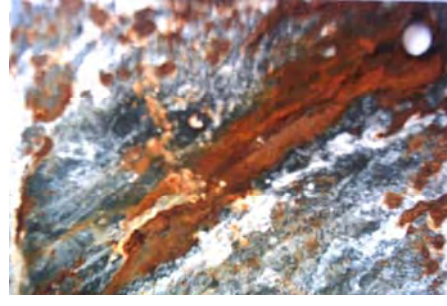
Buna göre; 3400 cm^{-1} ' deki absorpsiyon piki -OH grubunu, 2950 and 1400 cm^{-1} deki absorpsiyon piki -CH_2 grubunu ve 1670 cm^{-1} deki absorpsiyon piki, çalışmada taşıyıcı ve parlatici vazifesini görmekte olan PEG ve jelatine bulunan -C=O grubunu göstermektedir.

6.10. Korozyon Çalışması ile Ticari Parlaticı, Taşıyıcı Dayanımı ile PEG, Jelatin Dayanımın İncelenerek Kıyaslanması

Korozyon çalışması için belirlenen optimum parametreler ile kurulmuş çinko kaplama banyosunda kaplanmış ve kaplama kalınlığı 8-15 mikron olan sac levhalar hazırlanmıştır. Plakalardan biri PEG ve jelatin hazırlanarak kaplanmış, diğeri ise ticari taşıyıcı ve parlaticılar kullanılarak hazırlanmıştır. Plakalar kaplandıktan 24 saat sonra ASTM B 117 Tuz Testi Standardına [19] göre, 35 °C sıcaklıkta, %5' lik sodyum klorür çözeltisine maruz bırakılmak üzere tuz testi cihazına (DCTC 600P/Angelantoni-İtalya) yerleştirilmiştir. Numunelerin korozyon dayanımına pasivasyon tabakasının dayanımının ölçüsü olan “beyaz pas”, çinko tabakasının dayanımının ölçüsü olan “kırmızı pas” ‘ ın başlangıç saatleri esas alınarak karar verilmiştir. Test sonucunda plakaların beyaz pas ve kırmızı pas durumlarını gösterir resimler Şekil 6.3.’ de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

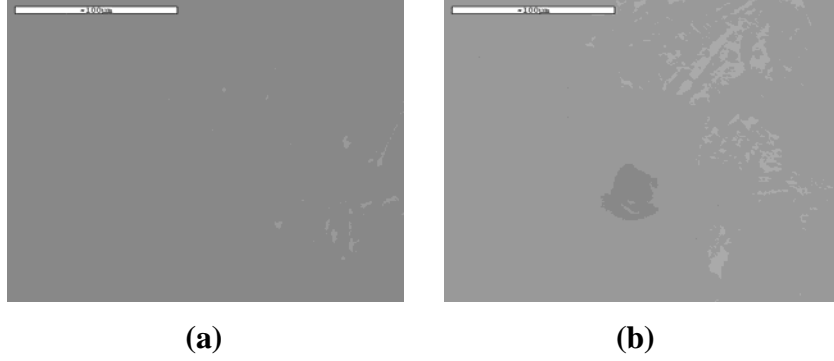


(d)

Şekil 6.3. Korozyon Testi Sonuçları (a) Beyaz Pas - 120 saat sonra - (PEG+jelatin) (b) Kırmızı Pas - 216 saat sonra – (PEG+ jelatin) (c) Beyaz Pas -120 saat sonra – (Ticari Taşıyıcı ve Parlaticı) (d) Kırmızı Pas – 216 saat sonra – (Ticari Taşıyıcı ve Parlaticı)

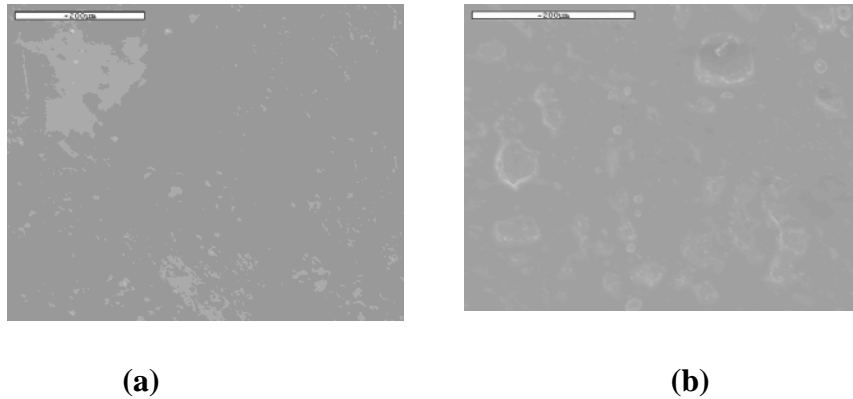
6.11. Termal Dayanım Testi ile Ticari Parlatici, Taşıyıcı Dayanımı ile PEG, Jelatin Dayanımın İncelenerek Kıyaslanması

Termal dayanım testi çinko kaplamanın ani sıcaklık değişimlerine karşı verdiği tepkileri belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ve ticari kimyasallar kullanılarak kaplanan numunelere de uygulanarak PEG ve jelatin performansı kıyaslama yapılarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Optimum banyo koşullarında, PEG-jelatin ve ticari taşıyıcı-parlatici kullanılarak kaplanmış olan numune plakalardan birer adeti uygun ebatlarda bölünerek taramalı elektron mikroskopunda yapılarına bakılmıştır. (SEM-CamScan) gerçekleştirilmiştir. Bu numunelere ait SEM fotomikrographları Şekil 6.4.' de yer almaktadır.



Şekil 6.4. Termal Dayanım Testi Öncesi (a) PEG+jelatin ile kaplanmış numune (b) Ticari taşıyıcı ve parlatici ile kaplanmış numune

Numuneler, önceden 200 °C' ye ısıtılmış olan etüv içerisine 20 dakika süre ile yerleştirilmiştir. 20 dakika sonunda numuneler etüvden hızla çıkarılarak içerisinde oda sıcaklığında su bulunan kap içerisine daldırıldı ve birkaç dakika bekletildi [20]. Kurutulan numunelerin SEM çekimleri gerçekleştirilmiş ve resimler Şekil 6.5.' de görülmektedir.



Şekil 6.5. Termal Dayanım Testi Sonrası (a) PEG+jelatin ile kaplanmış numune (b) Ticari taşıyıcı ve parlaticı ile kaplanmış numune

6.12. Parlaticı Miktarının Çinko Kaplama Kalitesine Etkileri

Parlaticı miktarının, kaplama kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek üzere Çizelge 5.4' te verilen değerlerde hazırlanmış olan banyo içerisinde, kaplama işlemi farklı PEG konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.4.' te verilmiş olan değerler doğrultusunda hazırlanan banyoda 1 A akım değerinde kaplanan numuneler için PEG sarfiyatları Çizelge 6.25' te yer almaktadır.

Çizelge 6.25. Deneylerde Kullanılan PEG Konsantrasyonları

Örnek Numarası	PEG Konsantrasyonu (g/L)
1	0,5
2	1,0
3	1,5
4	2,0
5	3,0

2,0 g/L' den düşük konsantrasyonlarda, düşük akım bölgelerinde (0,5-3,0 Adm⁻²), mat bir görünüm elde edilmiştir. 2,0 g/L' de ayna parlaklığında bir görünüme sahip kaplama tabakası elde edilmiştir. 2,0 g/L' den yüksek konsantrasyonlarda, düşük akım bölgelerinde (0,5-6 Adm⁻²) kaplanmamış yüzeyler gözlenmiştir.

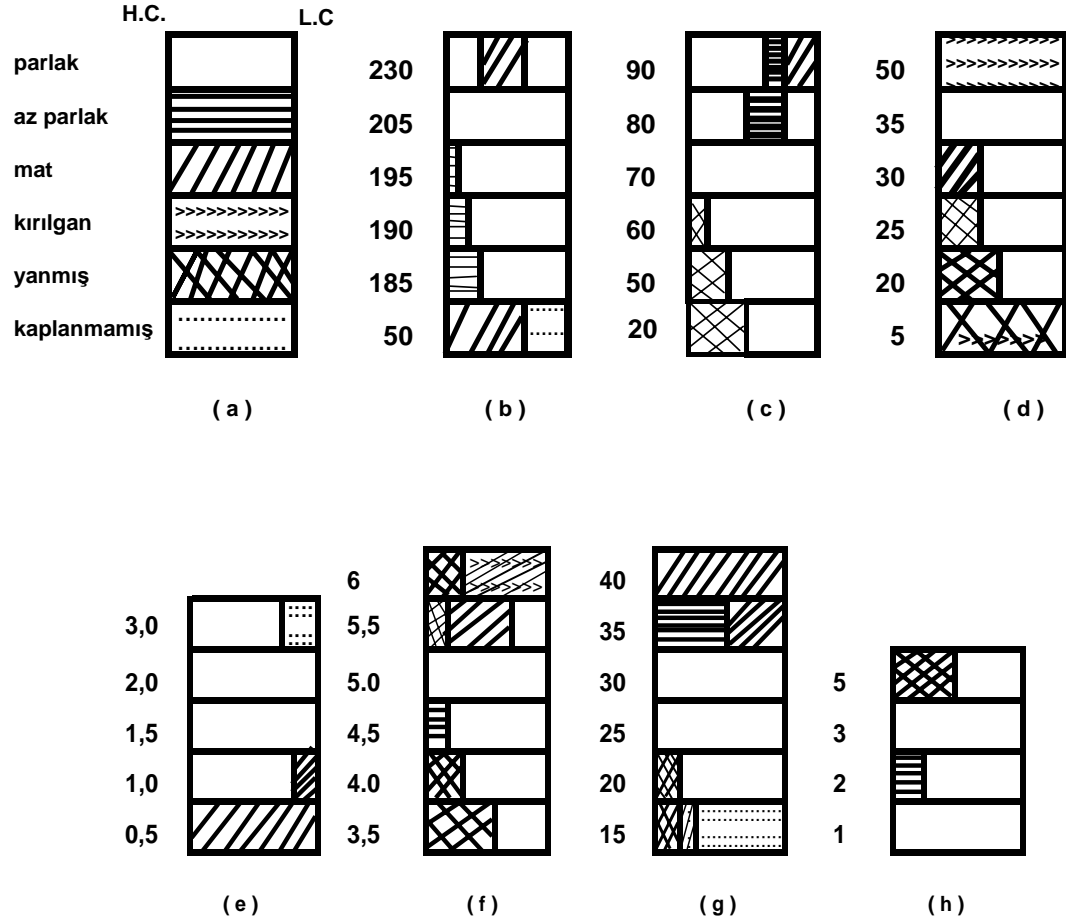
6.13. Yapışma ve Bükülebilme Testi

Kaplamanın yapışma ve bükülme kriterlerine uygunluğunu test etmek için 10 cm boyunda, 1 cm genişliğinde, 1 mm kalınlığında sac plakalar 1, 2, 3, 4 Adm⁻² de kaplanmıştır. Kaplanan numunelerin kaplama kalınlıkları (Fischer-MP0) ortalama olarak 10 µm'dir. Trivalent sarı pasivasyona tabi tutularak hazır hale getirilen numuneler ilk olarak 90°, daha sonra 180° bükülmüştür. Bu işlemlerden sonra numune yüzeyine ışıklı mercek altında bakılmış ve kaplama tabakasında

hiçbir kabarma, pul pul dökülme belirtisine rastlanmamıştır. Bu test kaplamanın iyi bir yapışma ve bükülme direncine sahip olduğunu kanıtlamıştır.

7. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında yürütülen Hull-Cell Testleri sonucunda hull-cell katotunda meydana gelen değişimler yani işletme parametreleri ve değişimlerinin kalite üzerindeki etkisi Şekil 7.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Parametre değişimlerinin hull-cell katodu üzerindeki etkileri (a) anahtar, (b) potasyum klorür (g/L), (c) çinko klorür (g/L), (d) borik asit (g/L), (e) PEG (g/L), (f) pH, (g) sıcaklık (°C), (h) akım (A) [H.C. : yüksek akım bölgesi, L.C. : düşük akım bölgesi]

Tüm deneyler sonucunda potasyum klorür konsantrasyonunun yükselmesi durumunda orta akım bölgelerinde matlıklara, düşmesi sonucunda ise düşük akım bölgelerinde az parlak bölgelere, ve yüksek akım bölgelerinde kaplanmamış yüzeylere rastlanmıştır. Buna göre en uygun potasyum klorür konsantrasyonu 205 g/L' dir.

Çinko klorürde ise, düşük konsantrasyon yüksek akım bölgelerinde yanmalara sebebiyet vermiştir. 70 g/L en uygun konsantrasyon değeri olup, bu değerin üzerinde düşük akım bölgelerinde matlıklar meydana gelmiştir.

Borik asit için en uygun konsantrasyon değeri 35 g/L' dir. Bu değerin üzerine çıkıldığında, numunelerin kaplama almadığı gözlenmiştir. Konsantrasyon uygun değerden uzaklaştıkça, kaplama matlaşmış, en düşük borik asit konsantrasyonunda ise yüksek akım bölgelerinde yanmalar meydana gelmiştir.

PEG için en uygun değerin; 2g/L olduğu tespit edilmiş olup, bu değer üzerine çıkıldıkça düşük akım bölgelerinde kaplama almayan bölgelere, bu değerin biraz altına inildiğinde ise düşük akım bölgelerinde mat bölgeler tespit edilmiştir. Parlaticı miktarının çok düşük olduğu konsantrasyonlarda ise tüm plaka mat bir görünüm almıştır.

Potasyum klorürlü çinko kaplama prosesinde işletme için en uygun pH değeri 5,0' dır. Bu değer değiştirilerek kaplama kalitesi üzerinde pH etkileri anlaşılmasına çalışılmış, pH' ın çok yükselmesinin kaplamada pul pul dökülmelere, ve yanmalara sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Ph değeri düştükçe yüksek akım bölgeleri matlaşmış, iyice düştükçe ise yüksek akım bölgelerinde yanmalar meydana gelmiştir.

Sıcaklığın yükselmesi kaplamada matlık ve görüntü bozukluğu meydana getirmiş, kabarmalara sebebiyet vermiştir. Sıcaklığın düşmesi ise yüksek akım bölgelerinde yanmalara, düşük akım bölgelerinde ise kaplama almayan yüzeyler görülmesine sebep olmuştur.

Banyo akım değeri yükseldikçe yüksek akım bölgelerinde yanmalar meydana gelmiştir.

Optimum işletme değerlerinde, PEG ve jelatin varlığında banyoya farklı akım değerleri verilmiş (1,2,3,5 A), dağıtma gücü ve akım verimleri hesaplanmıştır. En

yüksek akım veriminin 1A de meydana geldiği görülmüştür. Genellikle düşük dağıtma gücüne sahip asitli kaplama banyolarının yanında çalışmada kullanılan banyonun, % 38' lik bir dağıtma gücüne sahip olması, PEG varlıklı asitli çinko kaplama banyosunun uygun bir seçim olduğunun göstergesidir.

Ticari taşıyıcı ve parlatici ile kaplanmış olan numuneler korozyon testine ve termal dayanım testine tabi tutulmuştur. Ardından PEG ve jelatin varlığındaki banyonun uygunluğunu bir karşılaştırma yaparak saptamak amacıyla aynı işlem bu banyoda kaplanmış numunelere de uygulanmıştır. PEG varlığında kaplanmış numunelerimiz bükülebilirlik ve yapışma testlerini de başarıyla tamamlamıştır. Ve sonuç olarak tek yardımcı kimyasal kullanılarak da, kaplama işlemi gerçekleştirilebilmekte ve banyonun kontrolü daha kolay olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Yonar, İ.K., *Galvanoteknik*, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul (1979).
- [2] Çakır, A., *Metalik Korozyon İlkeleri ve Kontrolü*, T.M.M.O.B., Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: 131, Bileşim Matbaacılık, Ankara (1990).
- [3] Lowenheim, F.A., *Modern Electroplating*, The Electrochemical Society Inc., New York (1963).
- [4] *Metal Finishing Guidebook and Directory*, Elsevier (2005).
- [5] *Metal Finishing Organic Finishing Guidebook & Directory*, Elsevier (2005).
- [6] Lawrance, J. D., *Electroplating Engineering Handbook*, 4th ed., New York (1963).
- [7] Saraç, S.A., *Metal Kaplama ve Elektrokimyasal Teknolojiler*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul (1995).
- [8] Uyanık, G., *Fizikokimya*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi (1992).
- [9] İsfendiyaroğlu, A., Saraç, S.A., *Elektrokimyanın Endüstriyel Uygulamaları*, İ.Ü. Yayınları, İstanbul (1980).
- [10] Berkem, A.R., *Elektro Kimya Laboratuvar Uygulaması*, İ.Ü. Yayınları, İstanbul (1978).
- [11] Dennis, J. K., Such, T.E., *Nickel and Chromium Plating*, London (1986).
- [12] Develi, S., *Galvanoteknik (Maden Kaplamacılığı)*, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul (1969).
- [13] *Metal Finishing Guidebook and Directory*, Elsevier (2005).
- [14] *Metal Finishing Organic Finishing Guidebook and Directory*, Elsevier (2005/06).
- [15] *Ürün Bilgi Föyü*, Atılım Kimya A.Ş. (2005).
- [16] *Hull-Cell Cihazı ile Galvano Banyoları Kontrol Deneyleri*, Yıldırım Elektrik Ltd. Şti. (1998).
- [17] Gerede, Y.A., *Krom Kaplama Teknikleri*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir (2003).
- [18] Naık, Y.A., Venkatesha, T.V., Nayak, P.V., *Electrodeposition of Zinc From Chloride Solution*, Turk J. Chem, **26**, 725.-733. (2002).

- [19] ASTM B117 Standard Method of Salt Spray (Fog) Testing
- [20] *Fiat Auto Normazione Material Standard 50765: Metallic Material Surface Treatments Electrolytic Plating and Chemical Coating Heat Shock Adhesion Test*, November (1990).
- [21] *Fiat Auto Normazione Material Standard 50461: Adhesion Test of Inorganic and Organic Trims by Squaring off*, (2005).

EKLER

Ek-1 Potasyum Klorürlü Çinko Kaplama Banyosu Analiz Metodu

Metalik çinko analizi :

- 2 ml banyo numunesi pipetle bir erlene alınır ve yaklaşık 100 ml saf su, 20 ml tampon çözelti ve 1 ml formaldehit ilave edilir,
- Çok az Erichrome Black T indikatörü ilave edilir.
- 0,1 N EDTA ile maviye kadar titre edilir. Sarfiyat (S) olarak kaydedilir.

SONUÇ : (S) x 1,635 = g/lt metalik çinko

Toplam klorür analizi:

- 1 ml banyo numunesi bir erlene alınır ve yaklaşık 50 ml saf su ilave edilir,
- Üzerine 4-5 damla sodyum kromat eklenir
- Gümüş nitrat ile kıvılcık-kahveye kadar titre edilir. Sarfiyat (S) olarak kaydedilir.

SONUÇ : (S) x 3,55 = g/lt klorür

Borik asit analizi:

- 1 ml banyo numunesi bir erlene alınır ve 25 ml İndikatör B ilave edilir,
- 0,1 N Sodyum hidroksit çözeltisiyle mavi renge kadar titre edilir. Sarfiyat (S) olarak kaydedilir.

SONUÇ : (S) x 6,2 = g/lt borik asit

pH ve Sıcaklık analizi :

pH ve sıcaklık değeri belirlenecek banyo içerisine pH metre daldırılarak bir süre beklenerek pH metre üzerindeki değerin sabit olması sağlanarak ölçülür.

DÜZELTME ŞEKLİ :

Bulunan değerler şayet, işletme parametreleri'ne uymuyor ise:

- Sıcaklık değerini işletme parametrelerinde tutabilmek için ısıtıcı bağlantıları kontrol edilir.
- 1 g Metalik Çinko'yu arttırmak için 1,8 g Çinko Klorür ilave edilir.
- 1 g Klorür'ü arttırmak için, eğer metalik çinko eksikliği yoksa 2,1 g Potasyum Klorür ilave edilir. Ancak Metalik Çinko eksikliği ile beraber Klorür eksikliği de varsa 1 g Metalik Çinko'yu arttırmak için ilave edilen 1,8 g Çinko Klorür'ün 0,8 g m Klorür olduğundan, 0,4 g Potasyum Klorür ilave edilerek 1g' a tamamlanır.
- 1g Borik Asit'i arttırmak için 1g Borik Asit ilave edilir.