

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DARBELİ ELEKTRO-BİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN MİKRON  
ALTI BOYUTLU TiC SERAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ Ni-W-TiC  
KOMPOZİT KAPLAMALAR: TRİBOLOJİK VE KOROZYON ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Serhat DİLEK**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet UYSAL**

**Ağustos 2021**

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DARBELİ ELEKTRO-BİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN MİKRON  
ALTI BOYUTLU TiC SEREAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ Ni-W-TiC  
KOMPOZİT KAPLAMALAR: TRİBOLOJİK VE KOROZYON ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serhat DİLEK**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 25/08/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile  
kabul edilmiştir.**

**Jüri Başkanı**

**Üye**

**Üye**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Serhat DİLEK

25.08.2021

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışma sürecim boyunca bana yol gösterip beni destekleyen ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Mehmet UYSAL'a teşekkür ederim.

Yaptığım çalışmalarla ilgili deneyleri gerçekleştirebilmem adına gerekli ortamı sağlayan Arş. Gör. Hasan ALGÜL başta olmak üzere, tüm çalışmam boyunca numuneler üzerinde testler ve analizler yapmama yardımcı olan Öğr. Gör. Fuat KAYIŞ, Öğr. Gör. Erdem KILIÇASLAN, Arş. Gör. Erhan DURU, Abdulkadir AKYOL'a ve her konuda desteklerini gördüğüm laboratuvar arkadaşlarım Mihraç HALEBİ, Mert AYDIN, Sezer TAN ve Mesut DENİZ'e teşekkür ederim.

Bugüne kadar benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan değerli ailem; babam Yusuf DİLEK, annem Aysun DİLEK ve kardeşim Ramazan DİLEK'e sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| TEŞEKKÜR.....                                      | i   |
| İÇİNDEKİLER .....                                  | ii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....               | vi  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                             | vii |
| TABLolar LİSTESİ .....                             | ix  |
| ÖZET.....                                          | x   |
| SUMMARY .....                                      | xi  |
| BÖLÜM 1.                                           |     |
| GİRİŞ .....                                        | 1   |
| BÖLÜM 2.                                           |     |
| METAL KAPLAMANIN GENEL TANIMI VE ÖZELLİKLERİ ..... | 4   |
| 2.1. Elektrolitik Metal Kaplama.....               | 5   |
| 2.2. Kaplanacak Cisimlerin Temizliği.....          | 7   |
| 2.2.1. Yüzey temizleme işlemleri.....              | 8   |
| 2.2.1.1. Mekanik temizleme .....                   | 8   |
| 2.2.1.2. Elektrolitik ve kimyasal temizleme .....  | 8   |
| 2.2.1.3. Solvent ile yağ alma.....                 | 9   |
| 2.2.1.4. Sulu temizlik.....                        | 9   |
| 2.2.1.5. Diğer temizleme yöntemleri .....          | 10  |
| 2.2.2. Dekapaj (asitleme) ve Tufal Giderme .....   | 10  |
| 2.2.3. Durulama.....                               | 11  |
| 2.2.4. Kurutma .....                               | 11  |

### BÖLÜM 3.

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| KAPLAMA AYGITLARI .....                            | 12 |
| 3.1. Akım Üretici .....                            | 12 |
| 3.2. Akım Dağılımı .....                           | 13 |
| 3.3. Akım Yoğunluğu .....                          | 13 |
| 3.4. Tanklar .....                                 | 14 |
| 3.5. Karıştırma ve Hareketli Ortamda Kaplama ..... | 14 |
| 3.6. Dolaşım ve Süzme .....                        | 16 |

### BÖLÜM 4.

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| KAPLAMA KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER ..... | 17 |
| 4.1. Banyo Kimyası ve Parametreleri .....    | 17 |
| 4.2. Nikel Kaplama .....                     | 18 |

### BÖLÜM 5.

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| KOMPOZİT KAPLAMALAR .....                                      | 20 |
| 5.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı .....                        | 20 |
| 5.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....             | 20 |
| 5.2.1. Yapılarını oluşturan malzemelere göre .....             | 20 |
| 5.2.1.1. Metal matrisli kompozitler .....                      | 20 |
| 5.2.1.2. Seramik kompozitler .....                             | 21 |
| 5.2.1.3. Plastik matrisli kompozitler .....                    | 21 |
| 5.2.1.4. Karbon-Karbon matrisli kompozitler .....              | 23 |
| 5.2.2. Yapı bileşenlerinin şekline göre .....                  | 23 |
| 5.2.2.1. Partikül takviyeli kompozitler .....                  | 23 |
| 5.2.2.2. Fiber takviyeli kompozitler .....                     | 23 |
| 5.2.2.3. Tabaka yapılı kompozitler .....                       | 24 |
| 5.2.2.4. Lamel esaslı kompozitler .....                        | 25 |
| 5.2.2.5. Dolgu kompozitler .....                               | 25 |
| 5.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları ..... | 26 |
| 5.3.1. Kompozit malzemelerin avantajları .....                 | 26 |
| 5.3.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları .....              | 26 |

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4. Kompozit Kaplama Üretimi.....                                                                                                     | 26 |
| 5.4.1. Elektrokimyasal yöntem ile metal matrisli kompozit<br>kaplama üretimi .....                                                     | 27 |
| 5.4.1.1. Elektrolitik yöntem ile metal matrisli kompozit<br>kaplama üretimi .....                                                      | 27 |
| 5.4.2. Metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılan takviye<br>malzemeleri.....                                                     | 30 |
| 5.4.2.1. SiC (Silisyum Karbür) .....                                                                                                   | 31 |
| 5.4.2.2. C (Karbon) .....                                                                                                              | 31 |
| 5.4.2.3. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alümina) .....                                                                                | 31 |
| 5.4.2.4. TiC (Titanyum Karbür).....                                                                                                    | 32 |
| 5.4.2.5. B (Bor) .....                                                                                                                 | 32 |
| 5.4.3. Elektrokimyasal yöntemle üretilen kompozit kaplama<br>prosesine etki eden parametreler .....                                    | 33 |
| 5.4.3.1. Banyo bileşimi .....                                                                                                          | 33 |
| 5.4.3.2. Çalışma sıcaklığı.....                                                                                                        | 33 |
| 5.4.3.3. Uygulanan akım yoğunluğu ve tipi.....                                                                                         | 34 |
| 5.4.3.4. Karıştırma hızı .....                                                                                                         | 35 |
| 5.4.3.5. Kaplama banyosunun pH değeri.....                                                                                             | 36 |
| 5.4.3.6. Zeta potansiyeli.....                                                                                                         | 36 |
| 5.4.3.7. Partikül etkisi .....                                                                                                         | 37 |
| <br>BÖLÜM 6.                                                                                                                           |    |
| KONUyla İLGİLİ ÇALIŞMALAR .....                                                                                                        | 38 |
| 6.1. Effects of Direct Current and Pulse-Plating on The Co-Deposition<br>of Nickel and Nanometer Diamond Powder .....                  | 38 |
| 6.2. Effect of Sic Concentration in Electrolyte on Ni-Sic Composite<br>Coating Properties .....                                        | 39 |
| 6.3. Effect of Sic Particle Size and Heat-Treatment on Microhardness<br>and Corrosion Resistance of Nip Electrodeposited Coatings..... | 39 |
| 6.4. Preparation and Hardness of Pulse Electrodeposited Ni-W-Diamond<br>Composite Coatings.....                                        | 39 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| BÖLÜM 7.                    |    |
| ARAŞTIRMA VE BULGULAR ..... | 41 |
| <br>BÖLÜM 8.                |    |
| TARTIŞMA VE SONUÇ .....     | 44 |
| 8.1. Sonuçlar .....         | 59 |
| <br>KAYNAKLAR.....          | 61 |
| ÖZGEÇMİŞ .....              | 67 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|                   |                                               |
|-------------------|-----------------------------------------------|
| CVD               | : Kimyasal buhar biriktirme                   |
| CTAB              | : Setiltrimetil amonyum bromür                |
| DC                | : Doğru akım                                  |
| $E_{\text{corr}}$ | : Korozyon potansiyeli                        |
| EDS               | : X-ışını spektroskopisi                      |
| EDX               | : Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi     |
| EIS               | : Elektrokimyasal empedans spektroskopisi     |
| FESEM             | : Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu |
| FWHM              | : Yarı yükseklikteki tam genişlik             |
| GPa               | : Gigapascal                                  |
| Hz                | : Hertz                                       |
| $I_{\text{corr}}$ | : Korozyon akımı                              |
| MMK               | : Metal matrisli kompozitler                  |
| mV                | : Milivolt                                    |
| nm                | : Nanometre                                   |
| Ni-W              | : Nikel wolfram                               |
| OCP               | : Açık devre potansiyeli                      |
| PC                | : Darbeli akım                                |
| PVD               | : Fiziksel buhar biriktirme                   |
| $R_{\text{CT}}$   | : Elektron transfer direnci                   |
| $R_s$             | : Elektrolit direnci                          |
| TiC               | : Titanyum karbür                             |
| XRD               | : X-ışını difraksiyonu                        |
| ~                 | : Yaklaşık                                    |
| $\varepsilon$     | : Mikro gerilim                               |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Metal Kaplama Prosesi Akış Şeması .....                                                                                                                                                                                                      | 5  |
| Şekil 3.1. Standart bir kaplama tankı .....                                                                                                                                                                                                             | 14 |
| Şekil 3.2. Döner cihazlarda kaplama.....                                                                                                                                                                                                                | 15 |
| Şekil 3.3. Otomatik kaplama ünitesi .....                                                                                                                                                                                                               | 16 |
| Şekil 4.1. Yüksek Karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere Nikel kaplama öncesi uygulanan son işlemler .....                                                                                                                                                | 19 |
| Şekil 5.1. Değişik tipte fiber kompozitler; a) Tek yönlü pekiştirilmiş sürekli fiber kompozit, b) Örgü formunda fiberlerle pekiştirilmiş kompozitler, c) Rastgele yönlendirilmiş sürekli fiber kompozit, d) Yönlendirilmiş sürekli fiber kompozit ..... | 24 |
| Şekil 5.2. Açılı tabakalara sahip bir kompozitin şematik gösterimi .....                                                                                                                                                                                | 25 |
| Şekil 5.3. Elektrolitik kompozit kaplama üretiminde kullanılan kaplama sistemi .                                                                                                                                                                        | 28 |
| Şekil 8.1. (a) 0 g / L, (b) 5 g / L, (c) 15 g / L ve (d) 30 g / L TiC konsantrasyonları ile darbeli elektrodepozisyon ile üretilen kaplamaların FESEM yüzey mikrografları.....                                                                          | 45 |
| Şekil 8.2. Farklı konsantrasyonlarda üretilen güçlendirilmemiş Ni – W ve Ni – W – TiC kaplama için kesitsel SEM görüntüleri: (a) 0 g / L; (b) 5 g / L; (c) 15 g / L; (d) 30 g / L.....                                                                  | 45 |
| Şekil 8.3. Ni-W-TiC (15 g/L) kaplamanın kesitinin temel haritalaması.....                                                                                                                                                                               | 46 |
| Şekil 8.4. Kaplama banyosundaki TiC konsantrasyonunun kaplamadaki TiC ve tungsten ağırlık yüzdesine etkisi.....                                                                                                                                         | 47 |
| Şekil 8.5. (a) takviyesiz Ni-W ve Ni-W-TiC kompozit birikiminin XRD desenleri; (b) TiC'nin ayrıntılı kırınımı; (c) detaylı (1 1 1) Nikel'in kırınımı .....                                                                                              | 48 |

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 8.6. (a) Williamson-Hall grafiği ve (b) Çeşitli partikül konsantrasyonları ile üretilen güçlendirilmemiş Ni-W ve Ni-W-TiC kompozit kaplamanın kristalit boyutu ve mikro gerilimi ..... | 50 |
| Şekil 8.7. Çeşitli partikül konsantrasyonları ile üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplama ve takviyesiz Ni-W kaplamadaki nanoindentasyon sonuçları (a) $H / E$ ve (b) $H^3 / E^2$ oranı.....      | 51 |
| Şekil 8.8. Ni-W ve farklı TiC konsantrasyonlarında üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplamaların aşınma oranları .....                                                                             | 53 |
| Şekil 8.9. Ni-W ve farklı TiC konsantrasyonlarında üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplamaların aşınma izlerinin SEM görüntüsü: (a) 0 g / L; (b) 5 g / L; (c) 15 g / L; (d) 30 g / L.....         | 55 |
| Şekil 8.10. (a) Açık devre potansiyelinin değişimi ve (b) % 3,5 NaCl çözeltisinde Ni-W ve Ni-W-TiC kompozit kaplama için polarizasyon eğrileri.....                                          | 57 |
| Şekil 8.11. Takviyesiz Ni-W ve farklı TiC konsantrasyonlarında üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplamaların Nyquist grafikleri. Eşdeğer devre modelinin başlangıcı.....                           | 58 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 4.1. Nikel kaplamada kullanılabilecek örnek banyo bileşimi ve çalışma şartları.....                                 | 19 |
| Tablo 7.1. Banyo ve çökelme parametrelerinin bileşimi .....                                                               | 41 |
| Tablo 8.1. Takviyesiz Ni-W ve Ni-W-TiC kaplamalar için polarizasyon eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri ..... | 58 |
| Tablo 8.2. Bağlantıdan türetilen elektrokimyasal parametreler .....                                                       | 59 |

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Elektrodpozisyon, kompozit kaplama, nano indentasyon, H/E oranı, triboloji

Bu çalışma farklı konsantrasyonlarda seramik partikül ilave edilen kompozit kaplamaların, darbeli (pulse) elektrodpozisyon yöntemi ile üretilmesi üzerine yapılmıştır. Karşılaştırma amaçlı takviyesiz Ni-W alaşım kaplama ve farklı konsantrasyonlarda seramik partiküller içeren Ni-W-TiC kompozit kaplamalar üretilip numunelerin morfolojisi, kristalit boyutu, mikro gerilimi, mekanik, tribolojik ve elektrokimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. 15 g/L TiC konsantrasyonunda üretilen kompozit kaplamada 8.3 GPa ile en yüksek sertlik değeri ve 207 GPa elastik modülü gözlemlendi. H/E ve  $H^3/E^2$  oranlarındaki artış Ni-W-TiC kompozit kaplamanın mükemmel aşınma direncinin yanı sıra plastik deformasyona karşı yüksek direncin sergilenmesine yol açtığı gözlemlendi. Güçlendirilmiş TiC birikimlerinde nano indentasyon ve aşınma direnci sonuçları arasında doğrudan bir korelasyon olduğu gözlemlendi. Ayrıca elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve potansiyodinamik polarizasyon analizi ile TiC partiküllerinin bariyer etkileri özellikleriyle kompozit kaplama yönteminin elektrokimyasal özellikleri iyileştirebildiği gösterilmiştir.

# **PULSE ELECTRO CO-DEPOSITION OF SUBMICRON-SIZED TiC REINFORCED Ni-W COATINGS: TRIBOLOGICAL AND CORROSION PROPERTIES**

## **SUMMARY**

Keywords: Electro co-deposition, composite coating, nanoindentation, H/E ratio, tribology

Nickel-Tungsten-Titanium carbide (Ni-W-TiC) coatings were produced by pulse electrodeposition from a Ni-W electrolyte containing TiC particles. The effects of TiC concentration in the electrolyte on the morphology, crystallite size, microstrain, mechanical, tribology and electrochemical properties of TiC reinforced Ni-W co-depositions were investigated. The highest hardness of 8,3 GPa and modulus of elasticity of 207 GPa were observed in the case of the coating produced at 15 g/L TiC concentration in the electrolyte. The increase in the H/E and  $H^3/E^2$  ratios led to displaying excellent wear resistance of the Ni-W-TiC co-depositions besides high resistance to plastic deformation. A direct correlation was observed between nanoindentation and wear resistance results of reinforced TiC co-depositions. It has also been shown by electrochemical impedance spectroscopy and potentiodynamic polarization analysis that TiC particles can improve the electrochemical properties of the co-depositions because of their barrier effect.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte istenilen malzeme üzerine yapılan yüzey kaplama işlemleri de gelişmiştir. Yüzey özelliklerini geliştirmede oldukça etkili olan yüzey kaplama işlemlerine gün geçtikçe ilgi artmaktadır. Bu sayede yüzey kaplama işlemleri önemli bir adım haline gelmiştir. Kaplama, çevre ve metal arasında, metal yüzeyinde bir tabaka oluşturarak matrisi dış etkenlerden korur [1]. Diğer kaplama çeşitlerinin yanı sıra, kompozit elektro kaplama polimerik, metal ve metal dışı partiküllerin malzemenin korozyon dayanımı, yağlayıcılık ve aşınma direnci özelliklerini arttırmak üzere kaplama tabakasında biriktirilmesi yöntemi ile yapılır [2]. Son zamanlarda küçülen partikül boyutlarına sahip takviye tozları üretebilme teknolojisi, mikron ve nano partiküllerin kullanımıyla geliştirilmiş ve dağılımı kontrol edilebilen tozlarla yapılan, iyi özelliklere sahip kompozit kaplamaların üretimine olanak sağlar [3]. Kompozit kaplama üretiminde; elektrokimyasal yöntem, lazerle alaşımlandırma, toz metalürjisi, kimyasal veya fiziksel buhar çöktürme gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin arasında, yüksek kaplama hızı, düşük çalışma sıcaklığı, düşük işletme ve kurulum maliyeti gibi özellikleri nedeniyle elektrokimyasal kaplama işlemi diğer kaplama işlemlerine göre daha avantajlıdır [4].

Son yıllarda metalik bir matris içinde dağılmış seramik tozların kullanıldığı kompozit kaplamalar yapılmaktadır. Bu kaplamalar kimya, elektronik ve mekanik endüstrilerinde büyük önem kazanmaktadır [5].

Kaplama tabakasına dahil edilen seramik parçacıkların etkisi büyük bir öneme sahiptir. Kompozit kaplamalarda seramik toz olarak SiC [6, 7, 8], TiB<sub>2</sub> [9], Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [10], BN [11], B<sub>4</sub>C [12] vb. gibi çeşitli mühendislik seramikleri takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu seramikler arasında, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yüksek aşınma direnci, yüksek elastik

modülü ve yüksek sıcaklık dayanımı nedeniyle mühendislik malzemelerinde en fazla kullanılan tozlardan birisidir [10].

Yapılan incelemeler doğrultusunda metal matris içerisine dahil edilen seramik esaslı tozların kaplama tabakasına birçok özellik kazandırdığını söylemek yanlış olmaz. Eklenen bu katkı maddelerinin malzemeye kazandırdığı özellikleri özetlemek gerekirse; BN yağlayıcılık-yüksek sertlik ve aşınma direnci [13, 11], W sertlik-aşınma direnci, SiC korozyon direnci-sertlik-aşınma direnci -yüksek termal stabilite [6, 14], ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yüksek elastik modülü-sertlik -yüksek sıcaklık dayanımı-yüksek aşınma direnci [10].

Kaplamaların üretimini kontrollü bir şekilde gerçekleştirmek için elektrodpozisyon çok uygun bir yöntemdir. Elektrodpozisyon çoklu metal alaşımlarının, metal-alaşım oksitlerin, metal-polimer alaşımlarının ve hatta elmas benzeri karbon kaplamaların biriktirilmesini sağlar. Sıcaklık, pH, akım yoğunluğu ve durma zamanı gibi parametreler değiştirilerek elektrodpozit kaplamaların mekanik, yapısal ve korozyon özellikleri kontrol altına alınabilir. Vakumlu kaplama yöntemiyle karşılaştırıldığında bu yöntemin uygulanması hem daha kolay hem de daha ekonomiktir. Elektrodpozisyon işlemi iki farklı şekilde yapılabilir: doğru akım (DC) ve darbeli akım (PC). DC işleminde akım, belirli bir süre boyunca, sürekli olarak kaplanacak elektrot boyunca uygulanır. DC yöntemi, kısa kaplama süreleri olan kalın kaplamaları biriktirebilir, ancak banyonun belirli bölgelerinde kaplamalar, iyon tabakasının kalınlığının azalmasından ve düzensiz tane büyümesinden dolayı gözenek ve çatlaklara eğilimlidir. PC, akımın “açık” (Ton) ve “kapalı” (Toff) zamanları bir dalga formunda uygulandığı bir biriktirme yöntemidir. “Kapalı” zaman, iyonları yeniden dağıtmaya yardımcı olur. PC yöntemi DC yönteminden daha kaliteli, kontrollü ve ekonomik kaplamalar yapılmasını sağlar [5, 15].

Bu çalışmada, pulse akım kaplama yöntemi ile elektrodpozitleme uygulanarak, çelik matris üzerine farklı konsantrasyonlarda TiC tozu kullanılarak Ni-W-TiC kaplama tabakası ve TiC tozu kullanılmadan NiW kaplama tabakası biriktirilmiştir. Uygulama kolaylığı ve ekonomik olması nedeniyle elektrodpozisyon yöntemi, doğru akıma göre

daha kontrollü, kaliteli ve ekonomik olması nedeniyle de pulse akım yöntemi tercih edilmiştir. Kaplama tabakasında mekanik ve yapısal özellikleri geliştirmesi adına seramik toz olarak TiC kullanıldı.

Kaplama tabakası içerisinde Nikel tercih edilmesi, Nikel'in üstün korozyon direnci, süneklik ve iyi aşınma direncine sahip olmasından kaynaklanıyor. Aynı zamanda kaplamaya dahil edilen W ve TiC tozlarının, kaplama yapılan malzemeye aşınma ve korozyon direncinin yanı sıra, yüksek sertlik, düşük yüzey pürüzlülüğü özelliklerini ihtiva etmesi beklenir. Kaplamaya W ve TiC eklenmesinin bir diğer sebebi, 6 değerlikli Krom ( $Cr^{+6}$ ) kaplamaya alternatif seçenek sunmaktır. Bilindiği üzere  $Cr^{+6}$  yapısı kanserojendir. Bu sayede sertlik değerinin minimum  $Cr^{+6}$  kaplama sertliğinde olacağı hedeflenmektedir.

Mikron boyutundaki tozlarının nüfuziyetinin, nano boyutlu tozlarla kıyaslandığında daha fazla olmasından dolayı, kaplama banyosunda kullanılan TiC tozu mikron boyutundandır. Ayrıca, Wolfram'ın tek başına elektrometalize edilememesi, kaplama tabakasındaki alaşımlanma fazının ve Nikel'in kaplamaya kazandırdığı özelliklerin göz ardı edilememesi NiW kullanımını kaçınılmaz hale getirdi.

## **BÖLÜM 2. METAL KAPLAMANIN GENEL TANIMI VE ÖZELLİKLERİ**

Yüzey işlemi, malzeme yüzeyi üzerinde uygulanan tüm işlemlere denir. Boyamadan yapıştırmaya, kaplamadan ısıtılma kadar geniş bir kullanım yelpazesi vardır. Yüzey işlemlerinde kullanılan bu yöntemler son işlem ya da ara işlem olarak uygulama alanına göre tercih edilebilir. Bazen de birkaç işlem basamağı olarak ara işlem ve son işlem şeklinde uygulanabilirler. Metal kaplama önemli olduğu kadar yaygın olarak kullanılan bir yüzey kaplama işlemidir. Genelde son işlem olarak uygulanır [16].

Metal kaplamanın tercih edilmesinde üç ana etken vardır:

- Mühendislik
- Yüksek sertlik, daha iyi aşınma direnci ve yağlayıcılık özelliği için [16]
- Dekoratif görünüm kazandırmak orozyondan korumak adına Çinko, Bakır, Nikel ve Krom ile veya Kadmiyum ile kaplamak [16]

Malzemelere kaplama yapılması için etkenlerden en az bir tanesinin hedeflenmesi gereklidir. Elektrolitik kaplamanın tercih edilmesinin diğer sebepleri ise düşük maliyettir [16, 17]. Korozyona karşı koruma ve dekoratif görünüm kazandırma amacıyla genellikle Çinko ve Nikel kullanılır. Mühendislik alanının da ise Nikel, Bakır, Krom, Gümüş, Rodyum, Paladyum, Rutenyum kullanılır [17].

Metal kaplama prosesi bir dizi proses hattından oluşur. Kaplama yapılmadan önce kaplama yapılacak malzeme yüzeyinin oksit ve yağdan arındırılması gerekir. Her uygulama adımından sonra yüzey yıkanmak zorundadır. Böylece kaplama işleminde birbirini ardına gelen yıkamalar yapılır ve en sonunda yüzey lekesiz olarak kurutulur. Proses basamakları yağ alma, asit-baz ile yüzey temizleme, kaplama hatlarından

oluşmaktadır. Uygulanan her işlemin ardından yıkama prosesi yer alır. Basitleştirilmiş proses akış şeması Şekil 2.1.'de gösterilmektedir [18].



Şekil 2.1. Metal Kaplama Prosesi Akış Şeması

## 2.1. Elektrolitik Metal Kaplama

Elektrolitik metal kaplama, genel olarak metal iyonlarını bir elektrolit içinde elektrik akımıyla birlikte katot üzerine çöktürme, metalik film oluşturma işlemidir [16, 17, 19]. Çöktürülen metal iyonları, elektrolit içine dışarıdan bu metalin tuzu olarak ilave edilebilir, ya da anot olarak kullanılan metal plakadan indirgenerek elektrolite geçebilir. Metal kaplama banyosuna elektrolit denir ve bu elektrolitin solventi sudur [17]. Elektrolitik kaplama, elektrolit olarak bilinen ve metal iyonlarından oluşan bir çözelti içinde meydana gelir. Genel olarak kullanım şekli; kaplama metali olarak kullanılacak olan bir adet anot ve yüzeyi kaplanacak olan metalden oluşan bir katot şeklinde iki adet elektrot kullanılır. Katot üzerine çöktürülmesi gereken metallerin elektrik akımı uygulanarak pozitif kutuptaki anottan çözünmesi sağlanır [16]. Faraday kanunu ile kaplama kalınlığı hesaplanabilir. Akım yoğunluğu ve kaplama süresi, kaplama kalınlığı üzerinde doğru orantılı olarak etki gösterir. Yüzeyleri üzerine

kaplama yapılan altlık, parçanın şekil ve mukavemetini, kaplama ise malzemenin yüzey parlaklığını, sertliğini ve kimyasal direncini belirler [16].

Ayrıca kaplama tabakasının düzenli olması adına kullanılan bazı organik kimyasallar vardır. Bu kimyasallar, yüzeyde ki akım yoğunluğu dağılımını, kaplanacak metalin kristal büyüklüğünü düzenler, kaplama sırasında çıkabilecek hidrojen gazını yüzeyden uzaklaştırarak yüzeyde oluşacak olan süngerimsi yapıyı engeller ve yüzeyin elektrolit ile temasının kesilmesini önler.

Bunun yanında ek işlemlere de gereksinim duyulabilir, bunlar elektrolitin karıştırılması ve saflaştırılması için gerekli olan araçlardır. Akımlı kaplamalarda gerekli olan akımı sağlamak için güç kaynağı olarak elektrikselsel araçlar da kullanılır. Bu güç kaynakları kaplama hücreleri için gerekli akımın istenen oranda ve sürelerde verilmesini sağlar [17].

Kaplama banyosunun özellikleri kaplamanın kristal yapısını belirler. Akım yoğunluğu, elektrolitin kimyasal bileşimi, karıştırma hızı, sıcaklık, elektrotların şekli, büyüklüğü ve aralarındaki mesafe büyük önem taşır. Bir diğer önemli nokta ise, katodun yüzey özellikleri ve anodun kimyasal özellikleridir. İstenilen standartta kaplama elde edilebilmesi için bu adımların son derece titizlikle yapılması gerekmektedir [17].

Pürüzsüz ve parlak yüzeye sahip bir kaplama elde edebilmek için altlık olarak kullanılan metalin hazırlık aşamasından eksiksiz geçirilmesi ve daha sonra kaplama çözeltisinde dikkatli bir şekilde kaplanması gerekmektedir [16].

Kaplama işlemi ile birlikte malzemeye kazandırılmak istenen özellikleri belirleyen kaplama metallerinden kısaca bahsetmek gerekirse [19];

- Krom, Nikel ve Bakır; güzel görüntü için
- Nikel, Bakır, Krom, Çinko ve Kadmiyum; Korozyondan korumak için
- Akımsız Nikel veya Krom; iyi aşınma direnci, yüksek sertlik için.
- Gümüş; oksitlenme direnci, mükemmel elektrik iletkenliği [19].

Elektrolitik yöntemle yapılmış bir kaplama, gözlük çerçevelerinde ve banyo armatürlerinde korozyon dayanımı ve güzel görünüm sağlar. Aydınlatma ve mobilya endüstrileri, motor endüstrisi ve mücevherat gibi hayatımızın her an içinde olan çoğu araç ve gereç için, dekorasyon, koruma, geri dönüşüm ve enerji tasarrufu sağlayan elektrolitik kaplama kullanılır [16].

Elektronik endüstrisinde ise bu tür kaplamalar yüksek iletkenlik, direnç kontrolü, lehimlenebilme kabiliyeti ve manyetik özellik gibi karakteristiklere sahip olduğundan dolayı kullanılır [16].

## **2.2. Kaplanacak Cisimlerin Temizliği**

Kaplama işleminin düzgün ve kalıcı olması için, kaplama işlemi uygulanacak parçanın yüzeyi toz, talaş, döküm çapakları, oksitlenmelerden ve yağdan arındırılmış olmalıdır. Bu işlem sayesinde yüzey sadece yağ, çapak gibi kalıntılardan arındırılmakla kalmayıp kaplama işlemi için kimyasal olarak aktif yüzeyler elde edilir. Yüzey işlemin iyi kalitede olabilmesi için yüzeyin pürüzsüz olması gereklidir. Hemen hemen tüm kaplama tesislerinde temizleme ya da yağ alma hatları mevcuttur, fakat bileşenlerin aşırı derecede yağlı olduğu durumlarda yüzey hazırlama daha da önem kazanır. Bu durumda yağ alma prosesine ek olarak bir ön yağ alma hattı gerekli olabilir [18, 20].

Zayıf bir kaplama mükemmel bir ön işlemle idare edebilir, fakat mükemmel bir kaplamayı zayıf bir ön işlemle elde etmek mümkün değildir [19].

Yukarıda da bahsedildiği gibi yüzey kaplama işlemine tesiri olan en önemli adım, kaplama işlemine başlamadan önce kaplama yapılacak altlık yüzeyinin temiz bir şekilde hazırlanmasıdır. Bu şekilde kirletici atıkların malzeme yüzeyindeki yapısal ve elektriksel sürekliliği bozması engellenebilir [19].

### 2.2.1. Yüzey temizleme işlemleri

#### 2.2.1.1. Mekanik temizleme

Parlatma: Mekanik parlatma işlemi basınç ve yüksek sıcaklık etkisi altında uygulanır. Aşındırıcı bantlar kullanılarak yüzey temizlenir ve sonrasında kumaş üzerine uygulanmış pasta ile parlatılır. Parlatma işlemiyle yüzeydeki ince izlerde giderilir. Modern teknikler daha iyi sonuçlar verdiği için bu uygulamalar günümüzde sıklıkla uygulanmamaktadır.

Aşındırarak parlatma: Bu yöntemde kum, çakıl gibi malzemeler kullanılır, bunların dışında yerfıstığı kabuğu gibi daha yumuşak, ince aşındırıcılar da kullanılabilir. İşlenecek parçanın üzerindeki vurguyu azaltmak için uygulanır.

Çapak alma: Çapak alma işlemi küçük, seri üretilen parçalara uygulanır. Temizlenecek parçalar aşındırıcı taşlarla karıştırılır ve saatlerce titreşim uygulanır. Bu işlem, yüzeyi temizleme, çapak alma amaçlı sulu ortamda kimyasal ilavesiyle de uygulanabilir [18].

#### 2.2.1.2. Elektrolitik ve kimyasal temizleme

Elektropolisaj: Elektropolisaj, düzeltme, parlatma, çapak alma ve temizleme amaçlı yaygın olarak kullanılan bir elektrokimyasal metottur, Genellikle çelik, paslanmaz çelik, bakır ve alaşımları, alüminyum ve alaşımları için kullanılır.

Elektropolisaj ile ince yüzey tabakası kaldırılır ve pürüzsüz, temiz yüzeyler elde edilir. İşlenecek parça (anot) elektrolite batırılır, parça ve katot arasında elektrik akımı geçirilir. Parça polarize olur ve metal anottan uzaklaşır. Elektropolisaj işleminde farklı elektrolitler kullanılır. Elektrolitler genellikle çeşitli asitlerin (sülfürik asit, kromik asit, sitrik asit, fosforik asit) karışımından oluşur. Bazen bu karışıma organik maddeler (gliserin, dietilen glikol monobütül eter) de eklenir.

Elektrik deşarjıyla elektropolisaj: Elektropolisajdan farklı olarak elektrolit olarak karışık asit yerine farklı tuz çözeltileri kullanılır. İnsan sağlığı ve çevre dostu bir uygulamadır. Bu işlemde, çözelti ve sıcaklığa (40-959 °C) bağlı olarak anot ve katot arasındaki elektrik potansiyeli 200-400 V doğru akım arasında olmalıdır [18].

#### **2.2.1.3. Solvent ile yağ alma**

Solvent ile yağ alma genellikle klorlu hidrokarbonlar, alkoller, terpenler, ketonlar yardımıyla gerçekleştirilir. Klorlu hidrokarbonlar, temizlik verimliliği ve evrensel uygulanabilirliğinin yanı sıra çabuk kuruyan ve yanmazlık özellikleri açısından tercih edilmektelerdir, fakat kullanımları çevre ve sağlık mevzuatı ile sınırlandırılmıştır.

Solvent seçimini etkileyen birçok faktör vardır, bunlar, giderilecek substrat, yağ ve gresin cinsi, önceki üretim prosesi ve takip eden prosesin gereksinimleridir. Örneğin, klorlu etan ve etilenler alüminyum aşındırır, alüminyumdan yapılmış tank, konteynır, vana gibi malzemelerle ile temas etmemelidir. Dikloroetilen ile bakırın temasından patlayıcı asetilit oluştuğu için bu duruma özen gösterilmelidir [18].

#### **2.2.1.4. Sulu temizlik**

Parçalar birkaç dakika boyunca çözelti içinde tutulur veya sprey banyoya yerleştirilir. Çözeltiler genellikle alkaline veya nötrdür, asidik de olabilir. Geliştirilmiş temizleme etkisi nedeniyle genellikle yüksek sıcaklıklarda (40-90 °C) kullanılırlar, Sulu temizleme sisteminin ana bileşenleri alkali veya asit, silikat, fosfat ve kompleks yapıcı ve ıslatıcı maddeleridir. Sulu temizleme sistemleri kararsız emülsiyonlar (zayıf emülsiyon sistemleri olarak da bilinir) ya da stabil emülsiyonlar oluşturarak çalışırlar [18].

Sulu kimyasal sistemlerde çözücü kullanımından kaçınılır. Sonraki proses elektrokaplama gibi, su bazlı ise temizlenen parçalar ıslak kalabilir. Proses çözeltilerinin ömrü parçalarda yağ veya gres miktarına bağlıdır. Sulu temizleme sistemlerinin verimliliği kimyasalların tipine ve konsantrasyonuna, mekanik etkisine,

sıcaklık ve zamana bağlıdır. Mekanik etki, püskürtme basıncı veya debi, parçaların ya da çözeltinin karıştırılması yoluyla veya ultrasonik kullanılarak uygulanabilir [18].

#### 2.2.1.5. Diğer temizleme yöntemleri

- Hava bıçağı ile yağ giderme parça üzerinden fazla yağın giderilmesi amaçlı kullanılır. Bu sistemler havanın ince yarıklardan geçerek laminar hava perdesi oluşturduğu, düşük basınç ve yüksek hacimli sistemlerdir, Sistemdeki basınç ve hareket sebebiyle hava ısınır, böylece yağ ve gresin giderimi kolaylaşır,
- Santrifüj ile yağ giderme küçük parçalar üzerinden fazla yağın giderilmesi amacıyla kullanılır,
- Kuru buz yöntemi yağ ve gres gideriminin yanı sıra parçaların ve boyanın da giderimi için kullanılır. Temizleme etkisi kontamine yüzeyin soğuması ve çatlamasıyla ve kuru buzun süblümleşmesi sonucu ortaya çıkan gazın kaldırma ve mekanik etkisiyle elde edilir.
- El ile silme yönteminde temiz kumaş parçası ile solvent veya kireçtaşı veya kalker gibi absorbanlar kullanılır. Bu yöntem genellikle havacılık parçaları gibi büyük, çok değerli parçalar üzerinde uygulanır [18].

#### 2.2.2. Dekapaj (asitleme) ve Tufal Giderme

Dekapaj ve tufal giderme, parçanın yağı alındıktan sonra parlatma ve oksitlerden arındırma amaçlı uygulanan kimyasal metal sıyırma işlemleridir.

Dekapaj işlemi sırasından parçanın yüzeyine yapışık bulunan tufal, oksit filmleri ve diğer korozyon ürünleri asit bazlı dekapaj kimyasalının reaksiyonu sonucu giderilir. Güçlü oksit tabakalarının giderimi için belirlenen asit konsantrasyonu, sıcaklık ve dekapaj sayısına uyulmalıdır. Genellikle hidroklorik ve sülfürik asitler kullanılır, Özel durumlarda nitrik, hidroflorik veya fosforik asit ya da asit karışımları kullanılmaktadır. Metalik yüzey üzerinde az miktarda erozyon etkisi isten bir durum olmasına rağmen asitin aşırı aşındırma durumları istenmez. Bu aşırı aşınma dekapaj inhibitörü ile azaltılabilir.

Dekapaj solüsyonu içerisinde serbest asit gücü azalırken, erimiş metal iyonların konsantrasyonu artar. Metal ve metal oksit dağılması ile ilişkili asit tüketimi taze dekapaj çözeltisi ekleyerek desteklenebilir. Ancak, bu tekniği sürekli artan metal içeriği sınırlandırır. Demir içeriğinin, sülfürik asit için en fazla 968, hidroklorik asit için 9612 ve fosforik asit için 962,5 seviyelerinde olması tavsiye edilir. Sınırlayıcı konsantrasyonları ulaşıldığında, dekapaj çözeltisi tamamen veya kısmen bertaraf edilmelidir. Dekapaj süresi, asit konsantrasyonunun ve sıcaklığın artırılması ile düşürülebilir. Maksimum dekapaj etkisine 9625 sülfürik asit konsantrasyonu ile ulaşılır. Bunun üzerinde, dekapaj hızı azalır, optimum sıcaklık 609 °C'dir [18].

### **2.2.3. Durulama**

Proses çözeltilerinin bulaşmasını engellemek için proses basamakları arasında ve parçanın üzerinde kalan kimyasallar yüzünden parçanın bozulmasını (aşırı reaksiyon veya çözünmüş kimyasal maddelerin kuruması ile lekeler oluşması) engellemek için durulama gereklidir. Durulama işlemi, neredeyse her proses basamağının ardından gerçekleştirilir [18].

### **2.2.4. Kurutma**

Gerçekleştirilen tüm işlemlerden sonra elde edilen numunelerin lekesiz bir şekilde kurutulması gerekir. Lekesiz kurutma işlemi organik veya demineralize edilmiş sular ile gerçekleştirilebilir [18].

## BÖLÜM 3. KAPLAMA AYGITLARI

### 3.1. Akım Üreteci

Elektro kaplamada kullanılan doğru akım düşük voltajdadır. Kromdan başka çelik kaplamalarda 6 volt yeterlidir, Krom ile varil kaplamada 12 voltluk gerilim uygulanmalıdır. Pratik bakımlardan düşük gerilimli akım eldesi olanaksızsa doğru akım, kaplama atölyesinde üretilmelidir [20].

Elektrokaplama endüstrisine redresörler girmeye başlamış ve 10000 amper kapasitede üniteler yapılmıştır. Şimdilik piyasada temin edilebilen esas tipler CuO, CuS ve SeS'lü redresörlerdir. Ufak kaplamalar için aküler kullanılabilir (Au, Ag, Pt kaplamada olduğu gibi) [21].

Mikroişlemcili tristör kontrollü redresörler endüstride metal ve plastikler üzerine uygulanan elektroliz yoluyla kaplama, boyama, anodizasyon gibi işlemlerde ihtiyaç duyulan doğru akımı sağlamak için kullanılan tam otomatik güç kaynaklarıdır. Mikroişlemci ile denetlenen tristör kontrolü yüksek doğruluk ve hassas regülasyon sağlayarak kullanıldığı proseste kaliteli sonuç verir [21].

Tristör kontrollü sistemlerin en önemli özelliklerinden birisi Pulse-Base akım kontrolüne sahip olmasıdır. Bu yöntem ile elde edilen kaplamalarda parçanın formu çok sayıda girinti ve çıkıntıya sahip olsa bile kaplama tabakası tüm köşelere ulaşır. Böylece bölge bölge oluşan kaplama eksikliği sorunu ortadan kaldırılmış olur. Aynı zamanda kaplama süresinde de tasarruf sağlar. 600 Hz ve Pulse-Base yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen kaplama işlemleri her yönüyle geleneksel yöntemlerin çok ötesinde bir kalite sunar [21].

### 3.2. Akım Dağılımı

Kaplama işleminde kullanılan akım, jeneratörler üzerinden kaplama banyosuna dikdörtgen biçimindeki iletken çubuklarla taşınır. Yüksek iletkenlik gerektiren bu durumda Bakır çubuk kullanmak mantıklı bir tercih olur. Genellikle 2,5-10 cm genişliğinde, 6,5 mm kalınlığında ve düz form çubuklar halinde imal edilirler. Eğer çubuklar istenilen uzunlukta değil ise birbirlerine eklenerek arzu edilen uzunluk sağlanmalıdır [20].

Krom kaplamada her banyo için ayrı bir jeneratör olması istenir. Ayrıca elektroliz banyosunda akım yoğunluğunu ayarlamak için bir reosta da gereklidir [20].

Diğer elektroliz banyolarında, tankların tümünü her tanka seri bağlanmış bir reosta ile ayrı kaynaktan beslemek uygundur. Reosta'lar iki türdür: Direnç tellerinin birbirine seri bağlandığı bir reosta ve dirençlerin paralel bağlandığı reosta. Bunlarla herhangi bir telin herhangi bir bağlantısı mümkün olur. Paralel reosta seri reostaya oranla daha çok esnektir [20, 21].

Paralel reostaya daha fazla direnç teli bağlandıkça, kaplama tankından daha büyük bir akımın geçmesi sağlanır. Büyükçe bir fleksibilite sağlamak için teller gittikçe artan bir dirence sahip olmalıdır (0,02,0,03,0,04,0,05 ohm gibi). Paralel telli dirence sahip bir reosta minimum 120 amperlik, maksimum 1370 amperlik bir akımı 6 voltluk bir gerilim altında verir [20, 21].

### 3.3. Akım Yoğunluğu

Elektro kaplamada, akım yoğunluğunun kaplamanın oluşması üzerinde büyük etkisi vardır, böylece tanktaki akımı bilmek önem arz eder. Düzgün şekilli cisimler için yüzey kolayca hesaplanır ve ampermetre ona göre ayarlanır. Şekli düzgün olmayan cisimler için yaklaşık kaplama yüzeyini hesaplamak olanaksızdır. Bu takdirde akımın ayarlanabilmesi için bir voltmetre gereklidir. Örneğin, bir Nikel kaplama banyosunda her desimetre kare için 6 amperlik bir akım yoğunluğu ile çalışmak istensin; genellikle

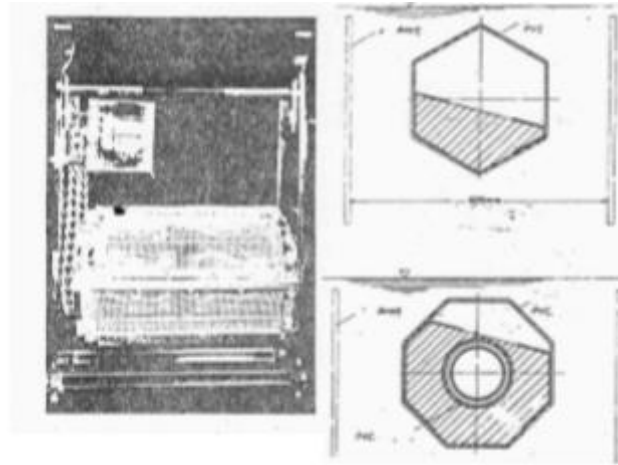


Karıştırma işlemi adına en uygun yöntem varil kaplamadır. Çalışma prensibi olarak kendi eksenini etrafında dönen  $45^\circ$  eğimli üstü açık bir silindirik tanktan ibarettir. Kaplaması yapılacak cisimler, varilin içine bağlanmış metal çubuklar vasıtası ile negatif uçla temas halinde tutulur. Bu sistemin dezavantajı anot bölmesinin küçük olmasıdır. Her işlem sonunda çözeltinin boşaltılması gerekir. Fakat bu zorluklara rağmen yapısal basitliği sistemin lehine işleyen bir faktördür [20].

Varil kaplamasının başka bir çeşidi ise, kaplanacak cismi ihtiva eden delikli bir yatay silindirden oluşur. Silindir, tanktaki çözelti içinde döner, şarj veya deşarj olur. Silindir tahta, seliloid, sert kauçuk veya formika gibi iletken olmayan maddelerden yapılır [20].

Delikli silindir, direnci arttırarak 10 veya 12 voltluk bir gerilim oluşturur. Direnci arttırmak için kaplama çözeltisi yüksek metal iyonu konsantrasyonunda hazırlanır. Her iki tip elektro kaplama varili özellikle somun, cıvata, vida gibi ufak cisimleri kaplamaya yarar. Kaplanacak malın dönerken hareketi hafif aşındırma ve parlatma etkisi yapar, aynı anda varilin hareketi çözeltiyi karıştırır [20].

Döner cihazlarda, kaplama bölümü Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi tankın üzerinde bir dikey plânda hafifçe dönen bir tekerleğe asılmıştır [20, 21].

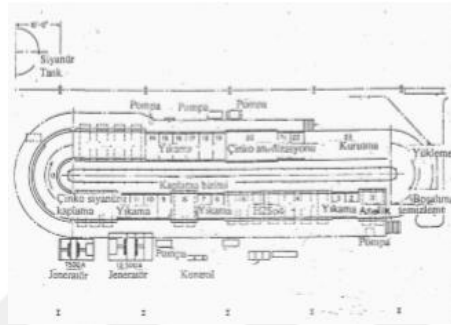


Şekil 3.2. Döner cihazlarda kaplama (Saraç, 1995).

İçindeki anot şuaları da zıt yönde dönerler. Başka bir tip olan uzun dikdörtgen şeklindeki tanka, kaplanacak malzeme tankın etrafında taşıyıcı bir konveyör ile

hareket ettirilir. Geniş çapta üretim için bu konveyörlü kaplama makinesi çeşitli makineler şeklinde geliştirilmiştir [20].

Bu makineler temizleme, asitleme, kaplama ve kurutma işlemlerini otomatik yapacak şekilde imâl edilmişlerdir. Şekil 3.3.'de bu tür bir ünitenin şeması görülmektedir [20, 21].



Şekil 3.3. Otomatik kaplama ünitesi (Saraç, 1995).

### 3.6. Dolaşım ve Süzme

Kaplamada yapılan tankların dibinde zamanla anot çamuru birikir. Çamuru gidermek için kaplama çözeltisi arada bir süzülmalıdır. Uygun bir filtre kullanılarak çözelti süzülür. Benzer çözeltileri ihtiva eden birden fazla tank mevcut ise çözelti tanklarda dolaşır ve filtrelerden süzülür [20].

## BÖLÜM 4. KAPLAMA KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Elektrolitik kaplamanın kalitesini etkileyen faktörleri sıralayacak olursak;

- Çözelti karışımı
- Elektrolitte kullanılan parlaticı
- Banyo cinsi
- Kullanılan suyun sertliği
- Kimyasallar

Akım yoğunluğunun yüksek olduğu kısımlarda toplanan katkı ve parlaticılar kaplama olumunu engellemektedir. Kaplamanın kalitesi banyo parametreleri ve banyo kimyası ile doğrudan orantılıdır [19].

### 4.1. Banyo Kimyası ve Parametreleri

**Akım Yoğunluğu:** Akım yoğunluğunun artışıyla birlikte kristallerin oluşum hızları da artar. Bundan dolayı ince taneli kristalli yapı oluşur. Fakat daha fazla artarsa katotta fakirleşme olacağından dolayı siyah süngerimsi homojen olmayan bir yapı meydana gelir [19].

**Konsantrasyon ve Karıştırma:** Banyo konsantrasyonu yüksek tutulduğunda iri taneli, düşük tutulduğunda ince taneli yapı kristalleri elde edilir. Bölgesel fakirleşmenin engellenmesi adına karıştırma işlemi yapmak etkilidir. Fakat hava ile karıştırma işlemi yapıldığı takdirde dipteki tortuların parça yüzeyine yapışma ihtimali vardır.

Sıcaklık: Banyo sıcaklığı optimum değerde olsa dahi olumlu ve olumsuz etkisi vardır. Küçük kristallerin oluşumunu sağlayan difüzyon olumlu olan tarafıdır. Fakat aynı zamanda katot polarizasyonunu azaltarak iri kristallerin oluşmasını da sağlar.

Asıl metalin ve elektrolitin tabiatı: Kaplama yapılacak numunenin kaplama kalitesi üzerinde üretim aşamaları oldukça etkilidir. Yüzeyi boşluklu ve süngerimsi yapıda olan metal numunenin üzerine yapılacak kaplamada bozuk olacaktır.

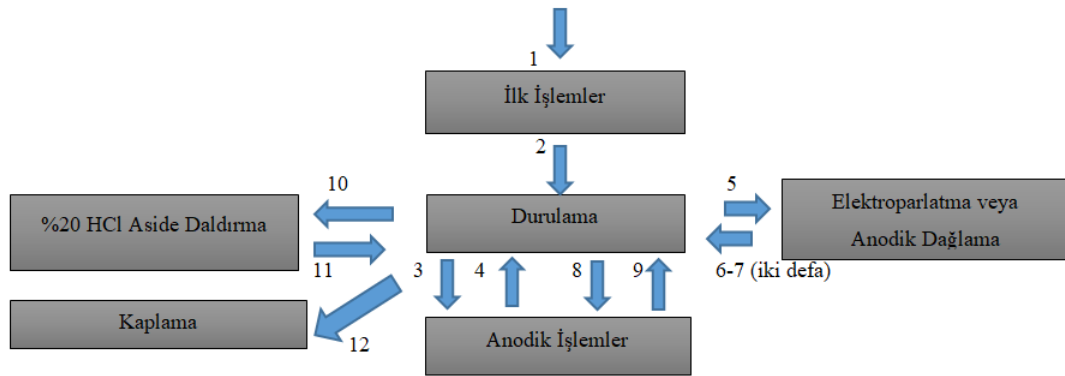
pH'in etkisi: Kaplama için gerekli olan pH değerinin altında veya üstünde yapılan işlemler kaplama kalitesini bozar.

Dağıtma Gücü (kaplama iktidarı): Düzgün yüzeyli olmayan, şekillendirilmiş bir malzeme yüzeyinde oldukça düzgün bir kaplamanın elde edilmesi için çözeltinin gösterdiği özelliğe dağıtma (dağılma) veya kaplama gücü (iktidarı) denir. Düzgün olmayan yüzeyli bir parçanın anoda yakın kısımları diğer yüzey kısımlarına oranla daha kalın bir tabaka ile kaplanır [19].

#### **4.2. Nikel Kaplama**

Nikel kaplamada Nikel'in en fazla %2 safsızlığa kadar kullanılması uygun bulunur. Kaplamaların genel olarak saf Nikelden yapılması tercih edilir. Yaygın olarak mühendislik alanında ve dekoratif uygulamalarda kullanılır [19].

Elektrolitik Nikel kaplamanın dekoratif uygulama alanında kullanılması toplam kullanım alanının %80'i kadardır. Nikel kaplamacılıkta kullanılan banyolar, nikel sulfamat ( $\text{Ni}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2$ ), nikel sülfat ( $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), nikel klorür ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ve bazik nikel karbonat ( $\text{NiCO}_3 \cdot \text{Ni}(\text{OH})_2$ ) [19].



Şekil 4.1. Yüksek Karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere Nikel kaplama öncesi uygulanan son işlemler

Nikel kaplamada kullanılabilecek banyo bileşimi ve çalışma şartları örnek olarak Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Nikel kaplamada kullanılabilecek örnek banyo bileşimi ve çalışma şartları

| Banyo Bileşeni                                                     | g/L | Çalışma Şartları                              |
|--------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------|
| Nikel klorür $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$             | 25  | Banyo sıcaklığı 60-70 °C                      |
| Kobaltsülfat $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$             | 4   | Akım yoğunluğu ( $\text{A}/\text{dm}^2$ )=4-6 |
| Formaldehit $\text{HCHO}$                                          | 2   | pH=3,7-4                                      |
| Borik asit $\text{H}_3\text{BO}_3$                                 | 25  |                                               |
| Nikelsülfat $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$              | 200 |                                               |
| Nikel formiat $\text{Ni}(\text{HCOO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 37  |                                               |

## **BÖLÜM 5. KOMPOZİT KAPLAMALAR**

### **5.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı**

Malzeme biliminde ki büyük gelişmelerin temelini, zamanla gelişmekte olan endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamak adına yapılan yeni malzeme arayışları oluşturur. Havacılık, otomotiv, uzay, enerji ve elektronik gibi askeri ve sivil amaçlı sektörlerdeki teknolojik gelişmeler, yeni özelliklere sahip malzemelere olan gereksinimi gün geçtikçe arttırmaktadır [22].

Malzemedan istenilen özellikleri tek başına sağlamakta yetersiz kalan, kimyasal ve/veya fiziksel özellikleri birbirinden farklı, birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya ikiden fazla malzemeyi, uygun ortam koşullarında fiziksel ve kimyasal birleşim sağlamak suretiyle istenilen özellikleri verebilecek duruma getirerek oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemelerin avantajlı özellikleri aşağıda özetlenmiştir [22, 23].

### **5.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemeleri, yapılarını oluşturan malzemeler ve yapı bileşenlerinin şekillerine göre olmak üzere iki sınıfa ayırabiliriz [23, 24].

#### **5.2.1. Yapılarını oluşturan malzemelere göre**

##### **5.2.1.1. Metal matrisli kompozitler**

Yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu, kırılgan olmaktadır. Metal matrisli kompozitler metalik

fiberler ile takviye edildiğinde, eğer her iki fazda uyumlu çalışıyorsa yüksek sıcaklıkta yüksek mukavemet özelliklerini gösterebilirler. Molibden, Wolfram veya fiberli kompozitler, Bakır ve Alüminyum matrisli ve Al-Cu kompoziti, bize bu uyumlu kompozisyonu veren en iyi örneklerdir. Bu tür kompozitler, matrisin özelliklerini iyileştirmesiyle birlikte elde edilen bu özelliklere daha ekonomik olarak ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu kompozitlerde metal matris içine gömülen ikinci faz, sürekli lifler şeklinde olabildiği gibi, geliş güzel olarak dağıtılmış küçük parçalar halinde de olabilmektedir [24].

#### **5.2.1.2. Seramik kompozitler**

Seramik kompozitler metal veya metal dışı malzemelerin birleşimlerinden oluştuğu için, yüksek sıcaklık dayanımı yüksektir. Ayrıca kuvvet altında formunu koruyarak etkiye maruz kalmazlar ve aynı zamanda gevrek bir yapıya sahiptirler. Elektriksel olarak da çok iyi bir yalıtkanlık özellik gösterirler [23, 24].

#### **5.2.1.3. Plastik matrisli kompozitler**

- Plastik-Plastik kompozitler

Matris olarak kullanılan plastik, darbe emici, esneklik verici ya da istenen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahipken, fiber olarak kullanılan plastik, yük taşıyıcı bir özelliğe sahip olmaktadır. Kullanılabilecek plastik türleri de iki sınıfa ayrılır [23].

Termoplastikler; bu tür plastikler, ısıtıldığında yumuşar, şekillendirilip soğutulduğunda sertleşir. Bu işlem sırasında plastiğin mikro yapısında herhangi bir değişiklik olmaz. Çoğunlukla 5-50 °C sıcaklık aralığında kullanılabilirler. Bu gruba giren plastikler şu şekildedir; naylon, polietilen, Karbonflorür, akrilikler, selülozikler, viniller [24].

Termoset Plastikler; bu tür plastiklerde ısıtma, şekillendirme ve soğutma işlemleri yapıldıktan sonra mikro yapıda oluşan değişim nedeniyle eski yapıya dönüşüm

mümkün değildir. Bu gruba dahil olup en bilinen plastikler ise şunlardır; polyesterler, epoksiler, alkiter, aminler [24].

- Plastik-Metal fiberli kompozitler

Endüstride çok tercih edilen metal fiber takviyeli plastikten oluşan kompozitler yüksek mukavemetli olmasına rağmen hafiftir. Bu kompozitler, polipropilen ve polietilen gibi plastiklerin, Bakır, Alüminyum, çelik, bronz, vs. gibi metal fiberlerle takviye edilmesiyle elde edilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır [24].

- Plastik-Cam elyaf kompozitler

Bu tür kompozitler isteğe göre termoset plastik veya termoplastiklerden oluşan matris ve cam liflerin uygun kompozisyonlarından üretilmektedir. Fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle cam lifler birçok durumda sentetik elyaf ve metal gibi liflere tercih edilebilirler. Ancak cam elyafı kompozitler, büyük kuvvetleri iletmelerine rağmen camın kırılkan yapısından dolayı dirençleri düşüktür. Bu tür malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, kullanılacak olan plastik reçinelerin istenilen işleme uygun olarak seçilmesiyle belirlenebilir. Polyesterler, plastik reçineler arasında en çok tercih edilen cam elyaf takviyeli reçine türüdür [24].

- Plastik-Köpük kompozitler

Plastik malzeme bu tür kompozitlerde fiber olarak görev yapar, matris konumunda ise köpük vardır. Köpükler, düşük yoğunlukta, hücreli yapıya sahip, gözenekli ve doğal halde bulunabilir. Ayrıca büyük bir kısmı sentetik olarak imal edilir. Köpükler hafif maddelerdir, hücre yapısına göre kırılkan, sert, yumuşak veya elastik olabilmektedir. Matris olarak kullanılan bu köpük türleri, kullanılan plastiğin de çeşidine göre değişik özelliklerde kompozit malzemeleri meydana getirir [24].

#### **5.2.1.4. Karbon-Karbon matrisli kompozitler**

Karbon matris ve karbon fiber takviye elemanından oluşan bir kompozit çeşididir. Üretimi polimer/plastik matrisli kompozitlere benzer. Karbon-karbon yapısı çok yüksek sıcaklıklara ve termal şoklara dayanıklıdır [22].

#### **5.2.2. Yapı bileşenlerinin şekline göre**

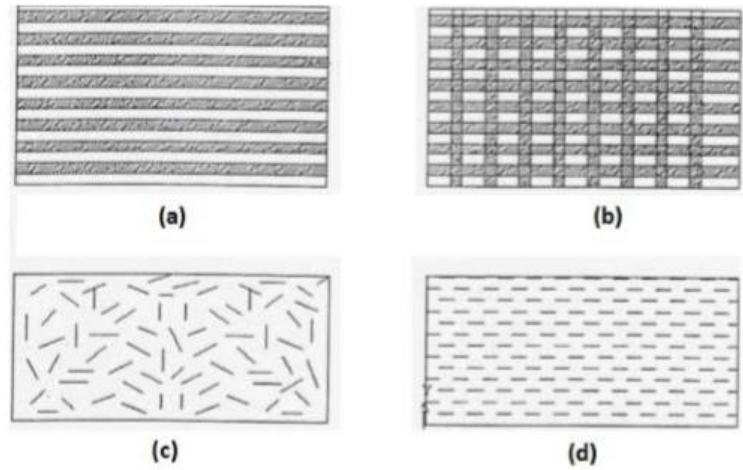
##### **5.2.2.1. Partikül takviyeli kompozitler**

Mikron boyutlarındaki çeşitli partikül takviye elemanlarının matrise dahil edilmesiyle elde edilen kompozit türüdür. Değişik türde oksit, karbür veya nitrür partiküllerinden yararlanılarak, metallerin aşınma dirençlerini, sertliklerini, yüksek sıcaklıklardaki mekaniksel özelliklerini geliştirmek için kullanılır [22, 24].

##### **5.2.2.2. Fiber takviyeli kompozitler**

Sünek olan matris malzeme içerisine, elastiklik modülü ve mukavemeti yüksek fiberlerin ilave edilmesiyle elde edilen kompozit türüdür. Malzeme kuvvetli yük altında olduğu zaman matris malzemesi kompozite uygulanan yükü fiberlerin üzerine çeker. Yüksek mukavemete sahip olan fiber sayesinde, yükün oldukça büyük bir kısmı fiber tarafından taşınabilmektedir. Fiberler, kompozit malzeme içerisinde farklı yönlendirilmiş veya tek yönlü olacak şekilde bulunmaktadır [22, 24].

Fiber takviyeli kompozitlerin performansını etkileyen en önemli faktörler fiberlerin uzunluğu, şekli, yönlendirilmesi, fiber-matris ara yüzey özellikleri ve matrisin mekanik özellikleridir [24].



Şekil 5.1. Değişik tipte fiber kompozitler; a) Tek yönlü pekiştirilmiş sürekli fiber kompozit, b) Örgü formunda fiberlerle pekiştirilmiş kompozitler, c) Rastgele yönlü sürekli fiber kompozit, d) Yönlendirilmiş sürekli fiber kompozit

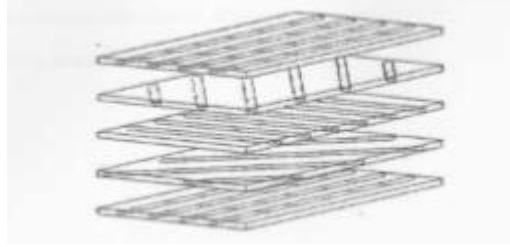
Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemetini belirler. Elyafların uzunluk/çap oranı büyüdükçe matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı da artmaktadır. Bundan dolayı elyaf yapının hata içermemesi mukavemet açısından son derece önemlidir [24].

### 5.2.2.3. Tabaka yapılı kompozitler

Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın birleştirilmesi sonucu oluşan kompozit türüdür. Çok farklı kombinasyonlar ile tabakalanmak istenen kompozitlerin üretimi mümkündür. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, farklı fiber yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır [22, 24].

Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimiyle yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir. Neme ve ısıya dayanıklı yapılardır. Metallere göre daha mukavemetli ve aynı zamanda hafif olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Pek çok katmanlı kompozit yüksek dayanım, düşük maliyet veya hafifliğini korurken,

mükemmel ısı genleşme, aşınma direnci ve gelişmiş görünüm özelliklerini de taşımaktadır [24].



Şekil 5.2. Açılı tabakalara sahip bir kompozitin şematik gösterimi

Buna karşın aşınma direnci ve korozyon gibi önemli özelliklerin çoğu kompoziti oluşturan elemanlardan en az birine bağlıdır. Korozyon direnci düşük olan metaller üzerine, daha yüksek korozyon direncine sahip plastiklerin veya metallerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin aşınmaya karşı dirençli ve sert malzemelerle birleştirilmesiyle aşınma direnci ve sertlik özelliklerinin, farklı fiber yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır [24].

#### 5.2.2.4. Lamel esaslı kompozitler

Yüksek yük taşıma kabiliyetindeki uzunluk/çap oranında dolgu maddesinin matris faza ilavesi ile sahip olunan kompozit türüdür [25].

#### 5.2.2.5. Dolgu kompozitler

Üç boyutlu dolgu maddesinin üç boyutlu matris malzemesi içerisine doldurulması ile elde edilen kompozit türüdür. Matris, şebeke yapısında olabileceği gibi çeşitli geometrik şekillere sahip bir iskelette olabilir. Düzgün petekler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasına seramik, organik veya metalik esaslı dolgu maddeleri eklenebilir. En iyi sonucu almak adına optimum özelliklere sahip kompozitlerin üretimi için kimyasal reaksiyon vermeyen ve birbiri içerisinde çözünmeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir [22, 23].

### 5.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Özgöl ağırlıklarının düşük oluşu, kompozit malzemeler için hafif yapılarda önemli bir avantaj sağlar. Bunun yanında kullanım alanlarına ve üretim yönteminde kullanılan bileşenlerine göre kompozit malzemelerin korozyona karşı dayanım, ses, ısı ve elektrik yalıtımı sağlamaları da önemli bir üstünlüktür [24].

Mekanik ve fiziksel özellik üstünlüklerinin yanı sıra sahip oldukları dezavantajlar hakkında gelişmeler sağlandığı takdirde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerini alabilecektir [24].

#### 5.3.1. Kompozit malzemelerin avantajları

Yüksek rijitlik, yüksek dayanım, yüksek yorulma dayanımı, düşük ağırlık, istenen yönde ısı ve termal iletkenlik, yüksek aşınma direnci, estetik görünüm, gibi avantajları vardır [26].

#### 5.3.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları

İşleme güçlükleri, yüksek maliyet, kırılmaz uzamasının az olması, genellikle geri dönüşümünün olmayışı, metallere oranla bazı kompozit malzemelerin üretim zorluğu gibi dezavantajları vardır [26].

### 5.4. Kompozit Kaplama Üretimi

Kompozit malzemeler üretilirken, elektrokimyasal yöntem, ısı spray, lazerle giydirme, lazerle alaşımlandırma, kimyasal buhar çökeltmesi (CVD), fiziksel buhar çökeltmesi (PVD), iyon bombardıman ile buharlaştırma, toz metalurjisi tekniği yöntemleri kullanılır [22].

Bu tez çalışmasında Ni-W-TiC metal matrisli kompozitler (MMK) darbe akımlı elektrolitik kaplama yöntemiyle üretilmiştir.

#### 5.4.1. Elektrokimyasal yöntem ile metal matrisli kompozit kaplama üretimi

Kompozit kaplamada kullanılan elektrokimyasal yöntem ile mikron veya nano boyuttaki partiküller kaplama banyosuna ilave edilerek bu partiküllerin katotta biriktirilmesi sağlanır [27].

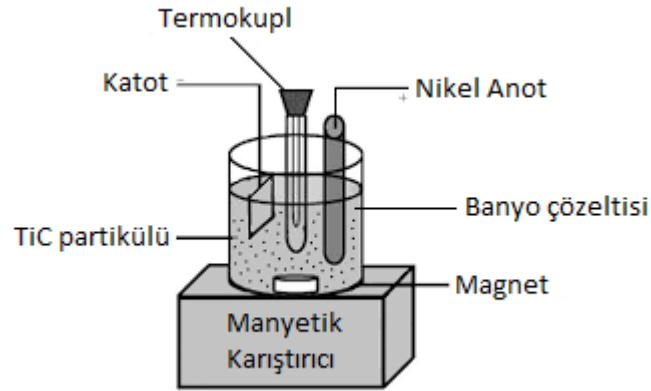
Özellikle, metalik bir matris içerisinde homojen dağılmış ve ince parçacıkların elektrokimyasal birikimi bu teknik ile kompozit kaplamalar üretmek için son derece elverişlidir [7].

Elektrokimyasal yöntemle elde edilen kaplamaların diğer kompozit kaplama yöntemlerine göre önemli üstünlükleri vardır. Bu üstünlükler şu şekildedir; kaplama hızı daha yüksektir, daha homojen bir kaplama üretilir, karmaşık şekilli yüzeylerin kaplamasında daha iyi sonuç elde edilmesi, düşük sıcaklıklarda çalışma olanağı, düşük seviyede kirliliğin oluşması, kaplama kalınlığı ve morfolojinin elektrokimyasal parametreler (pH, akım yoğunluğu, sıcaklık vb) ile daha kolay kontrol edilmesi, işletim ve kurulum maliyetinin daha düşük olması, daha gelişmiş mekanik ve fiziksel özelliklere sahip kaplama elde edilmesi [28].

Elektrokimyasal olarak kompozit kaplama üç farklı şekilde yapılır. Elektrolitik, elektroforetik ve akımsız (kimyasal) kaplamalar olarak bilinen bu yöntemler kompozit kaplamalar için son derece önemlidir [22].

##### 5.4.1.1. Elektrolitik yöntem ile metal matrisli kompozit kaplama üretimi

Elektrolitik yöntem ile kompozit kaplamada, oluşturulan banyo sistemi sayesinde çok çeşitli metal matris ve partikül kombinasyonlarını kullanabilme imkânı ile farklı ve çok sayıda kompozit kaplamalar üretilir [29]. Bu nedenle elektrolitik kaplama yöntemi nano kompozit üretimi için son derece uygundur. Nano kompozit üretimine olanak vermesi yönetime olan ilgiyi arttırmıştır [27].



Şekil 5.3. Elektrolitik kompozit kaplama üretiminde kullanılan kaplama sistemi

Elektrolitik kaplama tekniğinde; kompozit malzemeyi oluşturacak matris çözeltisi içinde kolloidal dağılım gösteren partiküller (polimerik, metalik ya da metalik olmayan) matrisi oluşturan iyonlar ile birlikte katot yüzeyinde biriktirilir [22].

Kompozit malzemelerin üretilmesinde çok çeşitli takviye elemanı ve matris kullanılmaktadır. Matris malzemesi olarak; metalleri (Fe, Cr, Ni, Cu, Ag, Co, Au v.b.), alaşımları (NiCr, CuAg, v.b.), seramik polimerleri ( $MgO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3$ , v.b.) ve Karbon'u sayabiliriz. Takviye elemanlarının seçiminde; karbürler (TiC, SiC, WC,  $Cr_3C_2$  v.b.), oksitler ( $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  v.b.), borürler ve nitrürler (TiN,  $Cr_3B_2$ ,  $TiB_2$ , BN, AlN v.b.), grafit, elmas, metaller (Al, Cr, W v.b.), polimerler, mikro-kapsüllü sıvılar ve cam olarak çok geniş ölçekli tercih alanı mevcuttur [22]. Bu geniş alan içerisinde malzemeye uygun takviye elemanların seçimi kompozit kaplama oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken çok önemli bir durumdur. Çünkü takviye elemanı ile matris malzemesinin özellikleri birbirlerini tamamlayıcı şekilde olmalıdır. Kompozit kaplamaya kazandırılmak istenen özellikler ve malzemenin kullanılacağı ortama bağlı olarak kaplamadan beklenen özellikler matris içerisine takviye edilecek elemanın türü ve özellikleri ile şekillendirilebilir [22].

Kompozit kaplamalarda kullanılacak olan takviye elemanına da bağlı olarak kaplamayla malzemeye kazandırılan özellikler aşağıda belirtildiği gibidir [30]:

- Aşınma özelliklerinde gelişme (sürtünme katsayısı azalışı ve kayma özelliğinde gelişme, aşınma direnci artışı)
- Mukavemet ve bağlayıcı etkisinde artış
- Korozyon dayanımı artışı
- Termal direnç artışı
- Katalitik özelliklerinde gelişme
- Dekoratif özelliklerinde gelişme
- Pürüzlülük ve yapıdaki gözeneklilikte azalma
- Bariyer etkisi oluşturma (termal izolasyon gibi)

Saf metal kaplamalara kıyasla kompozit kaplamaların aşınma direnci ve yüksek mikrosertlik gibi daha gelişmiş aşınma, mekanik ve korozyon özelliklere sahip olması, takviye elemanlarının dispersiyon sertleşmesi mekanizmasına sahip olması ile açıklanabilir. Dispersiyon sertleşmesi mekanizmasıyla kaplamanın özelliklerini önemli derecede arttırmak için takviye partiküllerinin kaplamayı etkileyen en önemli özellikleri aşağıda verilmiştir [31];

- Partiküllerin boyutu ve sertliği
- Kaplama içindeki homojen dağılımı
- Kaplama yapısındaki ağırlıkça oranı

Karbürler, borürler, oksitler ve nitrürler gibi sert partiküllerin varlığı matris malzemesinin deformasyon direncini arttırır [31]. Bu partiküllerin dislokasyon hareketini engellemek için kaplamaya üniform bir biçimde dağılması gerekmektedir. Ayrıca bu sert ve inert partiküller tanelerin büyümesini engelleyerek daha ince taneli bir yapı oluşumuna sebebiyet verir. Bu özelliğiyle malzemenin dayanıklılık ve mukavemet özelliklerinde artış sağlar [32].

Partiküllerin tane boyutunun düşürülmesi ve tanelerin homojen olarak dağılması dispersiyon güçlendirici etki üzerine çok önemlidir. Kullanılan tane boyutu düşürüldükçe bu etkide artış görülmektedir. Dispersiyona etki eden bir diğer özellik partikülün kaplama içerisindeki ağırlıkça yüzde miktarıdır. Bu değer akım yoğunluğu,

akım tipi, sıcaklık, karıştırma hızı, pH ve banyo bileşimi gibi kaplama işleminin gerçekleştirildiği parametrelere bağlı olarak değişim gösterir [31].

#### 5.4.2. Metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılan takviye malzemeleri

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi yapılırken, kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini, takviye elemanının seçimi, takviye elemanlarının yapısal özellikleri, üretim tekniği, üretim esnasında takviye elemanının matris tarafından ıslatılabilmesi belirler. Bu sebeple takviye elemanının özellikleri iyi bilinmeli ve doğru şekilde seçilmelidir [24].

Metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanından, yüksek dayanım, yüksek elastik modül, düşük yoğunluk, üretim kolaylığı, matris ile kimyasal uyumluluk, ekonomik olması, yüksek sıcaklıkta dayanımını muhafaza etmesi gibi özellikler beklenir [24].

TiC, Bor, SiC, Karbon ve  $Al_2O_3$  takviye elemanları metal matrisli kompozit malzemelerde çok sık tercih edilirler. Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin avantajları şunlardır:

- Kısa veya sürekli fiberlilere göre, partikül takviyeli kompozitler daha ucuzdur.
- Döküm ve toz metalurjisi gibi üretim teknikleri ve bunun ardından yapılan dövme, haddeleme, ekstrüzyon gibi geleneksel ikincil işlemler uygulanabilir.
- İzotropik özellikler gösterirler.
- Aşınma dayanımları ve rijitlikleri iyidir.

Metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılan en pahalı takviye elemanı Bor'dur. Bor'dan sonra sırasıyla SiC, Karbon ve  $Al_2O_3$  gelmektedir [24].

#### 5.4.2.1. SiC (Silisyum Karbür)

SiC takviye elemanı olarak metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılır. SiC fibere yüksek elastik modül özelliğini kazandıran şey kovalent bağlı olmasıdır.

SiC fiberler yaklaşık olarak 1400 °C civarında maksimum kullanım sıcaklığına sahiptir ve genelde CVD kaplama yöntemi ile Tungsten ya da Karbon altlık üzerine kaplaması yapılır.

SiC seramik tozunun en önemli avantajı, yüksek sıcaklık altında çalışırken mukavemet ve rijitlik özelliklerini koruyabilmesidir. Bor fiberlere göre daha ekonomik olmasının yanı sıra SiC'ün oksidasyon direnci yüksektir ve ergimiş Alüminyum içerisinde gösterdiği etki Bor fiberlerden daha iyidir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kıyaslandığında da termal genleşme katsayıları daha düşüktür [24].

#### 5.4.2.2. C (Karbon)

Karbon fiberler 20. Yüzyılın ikinci yarısında kullanılmaya başlanmıştır. Elastik modülü yüksek ve çekme dayanımı yüksek, yoğunluğu düşüktür. Bu da spesifik modül ve spesifik dayanım değerlerinin çok yüksek olması anlamına gelmektedir.

Üretimde ki son işlem sıcaklığına bağlı olarak Karbon fiberlerin özellikleri değişiklik gösterebilir. Isıl genleşme katsayıları düşüktür, yaklaşık olarak 1500 °C 'ye kadar mekanik özelliklerini korurlar. Karbon fiberlerde sürünme 2000 °C'den sonra başlar.

Bor veya Silisyum ile birlikte yapılan B<sub>4</sub>C ve SiC kaplamalar malzemenin oksidasyon direncini arttırmaktadır [24].

#### 5.4.2.3. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alümina)

Kompozit malzemeler üretilirken özellikle de metal matrisli kompozitler üretilirken hedef, yüksek dayanımlı ve düşük yoğunluklu malzemeler elde etmektir. Bu özellikler

genellikle yapı içerisine dahil edilen seramik faz ile sağlanır. Alüminanın takviye elemanı olarak kullanılmasının en önemli nedenleri sahip olduğu yüksek modül, yüksek sıcaklık dayanımı ve rijitliktir.

Alümina ile Silisyum Karbür arasında bir karşılaştırma yapıldığında  $Al_2O_3$  daha düşük modül ve dayanıma, aynı zamanda daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Fakat SiC'e göre maliyet açısından daha avantajlıdır [24].

#### 5.4.2.4. TiC (Titanyum Karbür)

Mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklarda dahi muhafaza edebilen TiC, kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık uygulamalarında, yüksek mukavemet, yüksek modül ve iyi sürünme dayanımı gibi özelliklerini korur. Fakat diğer takviye malzemelerine göre Titanyum Karbürün en büyük dezavantajı yoğunluğunun yüksek olmasıdır ( $\rho = 4.93 \text{ gr/cm}^3$ ). Bu sebeple TiC takviye malzemesi yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Nikel ve Titanyum bazlı alaşımlarda, TiC partikül takviyesi yapılması ile kullanım sıcaklığı  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerine kadar çıkarılmıştır. Ayrıca aşınma direncini arttırmak için Alüminyum matris, TiC partiküller ile takviye edilebilir [24].

#### 5.4.2.5. B (Bor)

Bor fiberlerin elastik modülü çok yüksektir fakat oldukça pahalıdır. Bor'un kimyasal buhar biriktirme tekniği kullanılarak Tungsten veya Karbon altlık üzerine kaplama işlemiyle üretilirler. Aşırı tane büyümesi Bor fiberin dayanımını azaltabilir. Bunu önlemek için sıcaklık dikkatli bir şekilde kontrol altında tutulmalıdır [24].

### 5.4.3. Elektrokimyasal yöntemle üretilen kompozit kaplama prosesine etki eden parametreler

Partiküllerin ağırlıkça % miktarı, partikül dağılımı, kristal yapısı, morfolojisi ve hedeflenen kompozit kaplamanın sahip olacağı bütün tribolojik, mekanik ve elektrokatalik özellikler elektrokimyasal kaplama yönteminin işlem parametrelerine bağlıdır. İşlem parametrelere şu şekildedir; banyo bileşimi, çalışma sıcaklığı, uygulanan akım yoğunluğu, karıştırma hızı, kaplama banyosunun pH değeri, zeta potansiyeli, partikül etkisi [31].

#### 5.4.3.1. Banyo bileşimi

İstenilen kompozit kaplama çeşidine bağlı olarak banyonun bileşenleri tasarlanır. Örneğin, Nikel esaslı kompozit kaplama için sülfamat, watts, floroborat veya yüksek klorür esaslı banyolar kullanılır.

Partikül kaplama mekanizması üzerine temel banyo bileşenlerinin önemli etkileri vardır. Örnek olarak, tane boyutu, konsantrasyonu ve geometrisi aynı olan  $Al_2O_3$  partiküllerini içeren Bakır Sülfat, Nikel Sülfat, Bakır Siyanür ve Krom banyoları gibi dört farklı tür banyoda elektrokimyasal kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlem sonucunda sadece Bakır Siyanür ve Nikel Sülfat banyolarından  $Al_2O_3$  partikülleri içeren kompozit kaplamalar elde edilmiştir. Elektrolit içerisinde elektrolit-partikül etkileşiminde ve partikül kaplamasında meydana gelen artışın metal iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Banyo içerisindeki metalik safsızlıklar düşük katot verimi, zayıf yapışma, yanmış rengi solgun ve kırılğan gevrek yapıda kaplamalara neden olurken organik safsızlıklar genelde yüksek iç gerilimli, daha kırılğan ve daha koyu renkli kaplamaların üretilmesine neden olur [31].

#### 5.4.3.2. Çalışma sıcaklığı

Üretilen kompozit kaplama yapısı içerisindeki partikül içeriğinin üzerinde kaplama sıcaklığının önemli bir etkisi vardır. Kullanılan metal kaplama banyosunun kaplama

sıcaklığı aralığına bağlı olarak elektrokimyasal kompozit kaplama işlemi gerçekleştirilmelidir. Kaplamada partikül içeriğine etki eden parametrelerde çeşitli kaplama sıcaklığında çalışması sonucunda farklılık oluşmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak metal kaplanma hızı, elektrolitin viskozitesi ile yoğunluğu ve partikül yüzey kompozisyonunda değişim görülmektedir [31].

Partikül kaplama üzerinde sıcaklığın iki zıt etkisi vardır. Difüzyon hızı arttığından dolayı kristallerin oluşum hızını artırır ve küçük kristalli yapılar elde edilir. Katot polarizasyonunu azaltması nedeniyle büyük kristaller oluşur ve bunların büyümesine sebep olur. Ayrıca sıcaklığın artması ile hidrojen çıkışı kolaylaşmakta ve kaplamada süngerimsi bir yapı meydana gelmektedir [22].

#### **5.4.3.3. Uygulanan akım yoğunluğu ve tipi**

Elektrolitik kaplama prosesinde elektrokimyasal kaplama ile yapılan üretimin en önemli parametrelerinden biri kompozit kaplama esnasında uygulanan akım yoğunluğu ve akım tipidir. Bu tür kaplamalarda periyodik akım, darbeli akım ve doğru akım olmak üzere üç farklı akım tipi kullanılmaktadır.

Sisteme uygulanan akım yoğunluğu doğru akım ile yapılan kaplamalarda işlem süresince değişikliğe uğramaz [31].

Akım yoğunluğu; birim yüzeyden geçen akım miktarı olarak tanımlanabilir ve birimi  $\text{mA/cm}^2$  veya  $\text{A/dm}^2$ 'dir. Akım yoğunluğunun optimum değerden çok veya az olması kaplamanın yapısını bozar. Akım yoğunluğu arttıkça doğru orantılı olarak kristallerin oluşma hızı da artar, böylece kaplamada ince taneli bir yapı oluşur. Akım yoğunluğu daha fazla artarsa iyon fakirleşmesi meydana gelir ve kaplama homojen olmaz. Akım yoğunluğu optimum değerden düşük olduğu takdirde ise kaplamada iri taneli yapı oluşur ve kaba bir mikroyapı gözlemlenir [31].

- PC ve DC yöntemlerinin karşılaştırılması

DC yöntemi, kısa kaplama süreleri olan kalın kaplamaları biriktirebilir, ancak banyonun belirli bölgelerinde kaplamalar, iyon tabakasının kalınlığının azalmasından ve düzensiz tane büyümesinden dolayı gözenek ve çatlaklara eğilimlidir. PC, akımın “açık” ( $T_{on}$ ) ve “kapalı” ( $T_{off}$ ) zamanları bir dalga formunda uygulandığı bir biriktirme yöntemidir. “Kapalı” zaman, iyonları yeniden dağıtmaya yardımcı olur. PC yöntemi DC yönteminden daha kaliteli, kontrollü ve ekonomik kaplamalar yapılmasını sağlar [5, 15].

$T_{on}$  kaplama akımının verildiği,  $T_{off}$  verilen akımın kesildiği süre olarak tanımlanabilir.  $J_m$ , ortalama akım yoğunluğunu ve  $J_p$ ,  $T_{on}$  sırasındaki tepe akım yoğunluğunu gösterir. Bu üç parametreden türetilen diğer darbe özellikleri aşağıdaki gibidir: Görev döngüsü (Q):  $Q = t_{on} / (t_{on} + t_{off})$ , darbe frekansı (f):  $f = 1 / (t_{on} + t_{off})$ , ortalama akım yoğunluğu ( $J_m$ ):  $J_m = J_p \times Q$  [33].

Kaplamaların üretimini kontrollü bir şekilde gerçekleştirmek için elektrodpozisyon çok uygun bir yöntemdir. Elektrodpozisyon çoklu metal alaşımlarının, metal/alaşım oksitlerin, metal/polimer alaşımlarının ve hatta elmas benzeri karbon kaplamaların biriktirilmesini sağlar. Sıcaklık, pH, akım yoğunluğu ve durma zamanı gibi parametreler değiştirilerek elektrodpozit kaplamaların mekanik, yapısal ve korozyon özellikleri kontrol altına alınabilir. Vakumlu kaplama yöntemiyle karşılaştırıldığında bu yöntemin uygulanması hem daha kolay hem de daha ekonomiktir [5, 15].

Yukarıdaki bilgilerden yola çıkarak elektrodpozisyon kaplama tekniğinde PC yönteminin DC yöntemine göre daha avantajlı olduğunu da söyleyebiliriz.

#### 5.4.3.4. Karıştırma hızı

Elektrolit içerisindeki partiküllerin uniform dağılmasını sağlamak, partiküllerin çökmesini ve aglomere olmasını engellemek amacıyla elektrolitin karıştırılması ve karıştırma hızı son derece önemlidir. Bu işlem için optimum karıştırma hızının

ayarlanması çok önemlidir. Eğer karıştırma hızı düşük olursa homojen bir çözelti elde edilemez ve çözelti içerisindeki partiküller zamanla aglomere olarak hücre tabanına çöker. Çözelti içerisinde partiküllerde azalma olacağından dolayı elde edilen kompozit kaplamada da partikül içeriğinde azalma görülür. Karıştırma hızı çok yüksek olursa partiküller katot yüzeyine yüksek hızda çarpacağından dolayı partiküllerin katot yüzeyinde adsorplanabilmesi için gerekli süre sağlanamaz ve partiküller matris içerisine yerleşmeden yüzeyden geri dağılır. Bunun sonucu olarak da düşük partikül içerikli kompozit kaplamalar elde edilmiş olur. Bu nedenlerle, optimum karıştırma hızında çalışmak, matris yüzeyinde ağırlıkça % partikül miktarını maksimum şekilde oluşturmak ve çözültiden matris yüzeyine madde transferini gerçekleştirmek adına önem arz eder [31].

Elektrolit içerisine ilave edilen partiküllerin boyutu karıştırma hızının belirlenmesinde etkili bir parametredir. Nano boyutlarda partikül ilavesi yapılırsa aglomerasyonu engellemek adına nispeten daha yüksek karıştırma hızları tercih edilmelidir [34, 35].

#### **5.4.3.5. Kaplama banyosunun pH değeri**

Elektrolitik içerisinde yer alan iyonlara benzer şekilde  $H^+$  iyonları banyo içerisine ilave edilen partikül yüzeylerine adsorplanır. Bu sebeple banyonun pH değerine, banyoya ilave edilen partiküllerin şekli, türü, tipi ve kaplama banyosunun bileşiminin önemli etkileri vardır [31].

#### **5.4.3.6. Zeta potansiyeli**

Katının yüzeyi ile o katının içerisinde yer aldığı sıvının ara yüzeyinde meydana gelen elektriksel potansiyel zeta potansiyeli olarak tanımlanabilir. Partiküllerin sahip olduğu zeta potansiyelinin büyüklüğü elektrolit içerisindeki partiküllerin etkileşimine bağlıdır [37]. Partiküllerin büyük pozitif veya negatif zeta potansiyel değeri varsa, partiküller birbirini itme eğilimi içinde olurlar. Zeta potansiyel değerinin mutlak değeri düşük ise taneler birbirine yaklaşır aglomere olur. Zeta potansiyeli stabil çözültelerde genelde

-30 veya +30 mV değerindedir. Üç etken zeta potansiyeline etki eder. Bunlar, banyonun iyonik gücü, yapılan ilavelerin konsantrasyonu ve banyonun pH değeridir [36].

#### **5.4.3.7. Partikül etkisi**

Seçilen partikülün çözeltideki miktarı, geometrik şekli ve boyutu kompozit kaplama içerisindeki partikül içeriğini belirler.

**Partikül Boyutu:** Partikül boyutu, elde edilecek olan kompozit kaplamanın özellikleri açısından oldukça etkili bir parametredir. Partiküllerin boyutu kaplamada kullanılacak olan partikül türüne göre belirlenir [22].

**Partikül Şekli:** Partikül şeklinin elektrolitik kaplama prosesi üzerine olan etkisini açıklayan kesin bilgilere henüz ulaşılamamıştır. Fakat partikül şekli, kaplama çözeltisi içerisindeki partikülün yüzey enerjisini belirlediği için kaplama yüzeyinde adsorplanan iyon miktarını etkilemektedir [31].

**Partikül Miktarı:** Elektrolit içerisinde ki partikül miktarı artışı partiküllerin matris yüzeyine adsorplanma şansını arttırmaktadır. Fakat banyodaki partiküllerin miktarının arttırılmaya devam edilmesi etkileşimi artıracağından aglomerasyona yol açar ve kaplamada yer alan partikül miktarında azalmaya sebep olur [38].

## BÖLÜM 6. KONUYLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR

### 6.1. Effects of Direct Current and Pulse-Plating on The Co-Deposition of Nickel and Nanometer Diamond Powder

Wun-Hsing Lee ve arkadaşları Nikel ve nanometre-elmas tozunu doğru akım ve darbeli akım kaplama yöntemleri ile Bakır alaşımı üzerinde başarıyla biriktirmişlerdir. Yapılan çalışmada incelenen değişkenler, kaplama sıcaklığı, karıştırma hızı, kaplama süresi, kaplama çözeltisindeki elmas tozu konsantrasyonu, doğru akım ve darbeli akım kaplama parametreleridir. Elde edilen kaplama tabakasının mikrosertlik değeri kaplama çözeltisindeki elmas tozu konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak artmıştır. Numunenin sertlik değeri darbe akımı ile birlikte 40 g/L elmas tozu konsantrasyonu ile işleme tabi tutulduğunda mikrosertlik değerinin 611 HV değerine kadar ulaşabildiği gözlemlenmiştir. Aynı değerlerde doğru akım kullanıldığı takdirde bu sertlik değeri 540 HV olarak bulunmuştur. Elmas tozu ilavesi olsun veya olmasın darbeli akım yöntemi doğru akım yöntemine göre daha yüksek mikrosertlik değerleri elde edilmesini sağlamıştır. 30-50 °C sıcaklık aralığı ve 300 rpm karıştırma hızının altındaki değerler Ni-Elmas kompozit kaplamalar için uygun bulunmuştur. Ayrıca saf Nikel'in sürtünme katsayı 0,44 olmasına rağmen Nikel ile biriktiren 20 g/L elmas tozu konsantrasyonlu kaplamanın sürtünme katsayısı 0,16'dır. Sonuç olarak doğru akım yerine darbeli akımın tercih edilmesi ve artan elmas tozu konsantrasyonuna göre kaplama tabakasında biriken elmas tozlarının arttığı ve aynı zamanda mikrosertlik değerinin de arttığı rapor edilmiştir [39].

## **6.2. Effect of Sic Concentration in Electrolyte on Ni-Sic Composite Coating Properties**

Aghaie ve arkadaşları, Bakır yüzeylerde Ni-SiC kompozitleri elde etmek için SiC seramik tozu kullanılarak oluşturulan bir kaplama çalışması yapmıştır. SiC parçacıklarıyla yapılan kaplamalar, yüksek sertlik değeri vermiştir. Yüksek yoğunluklu SiC parçacıklarına sahip ve üniform dağılımlı kaplamalar, iyi bir aşınma direnci değeri vermiş ve neredeyse hiç aşınma kaybı olmamasını sağlamıştır. SiC tozu, mükemmel yüksek sıcaklık dayanımı, düşük yoğunluğu, iyi oksidasyon direnci ve aynı zamanda düşük aşınma gibi özelliklere sahip bir malzemedir. Sonuç olarak çözelti içerisine eklenen SiC partiküllerinin konsantrasyonu arttıkça kaplama tabakasında biriken yapıda SiC partikülleri ağırlık yüzdesi olarak artmış ve üniform dağılım sebebiyle de malzemenin sertlik, aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımı özelliklerini de arttırmıştır [7].

## **6.3. Effect of Sic Particle Size and Heat-Treatment on Microhardness and Corrosion Resistance of Nip Electrodeposited Coatings**

Journal of Alloys and Compounds isimli dergide yayınlanan bir çalışmada SiC partikül boyutunun elektro depozitleme yöntemi ile yapılan NiP kaplamalar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kullanılan SiC tozları nano ve mikronaltı boyutlardadır. Kapsama tabakasının bileşimi ve yapısı sırası ile X-ışını spektroskopisi (EDS) ve X-ışını difraksiyonu (XRD) kullanılarak değerlendirilmiş olup tabakaya kazandırılan parçacıkların mikronaltı boyutta olması halinde nüfuziyetin daha olumlu olduğu sonucuna varılmıştır [8].

## **6.4. Preparation and Hardness of Pulse Electrodeposited Ni-W-Diamond Composite Coatings**

Xinyu Zhang ve arkadaşları karbon çeliği üzerine darbe akımlı kaplama yöntemini kullanarak Ni-W/Elmas kompozit kaplamalar yapmışlardır. Yapılan çalışmada görev döngüsünün ve frekansının kaplamaların sertliği üzerindeki etkisi (%30, %50 ve

%70'lik görev döngüsü, 20, 50 ve 100 Hz'lik darbe frekansı), Elmas parçacıklarının miktarının etkisi ve bunlara bağlı olarak kaplamaların mikro yapısı ve mikro sertliği incelenmiştir. Çözelti bileşenleri; 15,8 g/L  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 46,2 g/L  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 147 g/L  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 26,7 g/L  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 15,5 g/L  $\text{NaBr}$  şeklindedir. Elmas partiküllerinin ortalama tanecik boyutu 0,9  $\mu\text{m}$ 'dur ve 5 g/L olarak kullanılmışlardır. Çözelti sıcaklığı 75° C, pH değeri 8,9 olarak ayarlanmıştır. Sonuç olarak görev döngüsü arttıkça matrise gömülü olan Elmas parçacıklarının da arttığı gözlenmiştir. Farklı frekans parametrelerinde numuneler üzerinde mikrosertlik incelemesi yapıldığında frekansın arttıkça sertliğin düştüğü sonucuna varılmıştır. Elde edilen en yüksek sertlik değeri 988 HV'dir. Bu sertliği elde etmek için en uygun ortam koşullarının %25 Elmas-%11 Tungsten içeriği, 0,3 A/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu, %70'lik görev döngüsü ve 20 Hz'lik frekans şeklinde olması gerektiği rapor edilmiştir [40].

## BÖLÜM 7. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Ni-W ve Ni-W-TiC kaplamalar, darbe elektrodepozisyon yöntemi ile Ni (II), W (VI) iyonları ve 0,1 ile 0,5  $\mu\text{m}$  arasında partikül boyutu dağılımına sahip elektrolit içinde süspansiyon edilmiş TiC mikron altı partiküller içeren bir elektrolitten çelik altlık üzerine çökeltiştir. Kullanılan elektrolit çözeltisinin bileşimi ve operasyonel parametreler Tablo 7.1.'de listelenmiştir.

Tablo 7.1. Banyo ve çökelme parametrelerinin bileşimi

|                                                                                        |         |                                        |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------|-------|
| NiSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O (g/L)                                              | 16      | pH                                     | 8.5   |
| Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O (g/L)                               | 46      | Sıcaklık (°C)                          | 75    |
| Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> . 2H <sub>2</sub> O (g/L) | 147     | Süre (min)                             | 45    |
| NH <sub>4</sub> Cl (g/L)                                                               | 25      | Akım yoğunluğu A/dm <sup>2</sup>       | 10    |
| NaBr (g/L)                                                                             | 16      | t <sub>on</sub> -t <sub>off</sub> (ms) | 50-50 |
| TiC konsantrasyonu (g/L)                                                               | 5-15-30 |                                        |       |
| CTAB (g/L)                                                                             | 0.2     |                                        |       |

Altlık olarak kullanılan düşük karbonlu çelikler, pasif oksit tabakasını ve kontaminasyonları ortadan kaldırmak ve pürüzsüz bir yüzey elde etmek için 600, 800 ve 1200 numaralı zımpara kağıtları ile zımparalandı. Bu işlemten sonra, altlıklar 30 saniye süreyle 1 molar Sülfürik asit çözeltisine daldırılarak yüzeyleri aktive edildi ve damıtılmış su ile yıkandı, hemen ardından banyoya yerleştirildi. Elektrodepozisyon işleminden önce, seramik partiküllerin homojen bir dağılımını elde etmek için, kaplama çözeltisi, 250 rpm'lik bir karıştırma hızında manyetik olarak karıştırılarak 1 saat boyunca 100 wattlık bir güçte ultrasonik işleme tabii tutuldu. Kaplama banyosunda TiC aglomerasyonunu önlemek adına ve partikül dispersiyonu için yüzey aktif madde olarak Setiltrimetil amonyum bromür kullanıldı. Kaplama banyosu sıcaklığı 75 °C, pH değeri ise 8,5 olarak tutuldu. Saf Nikel levha ve 5×5 cm<sup>2</sup> yüzey alanına sahip çelik altlık sırasıyla anot ve katot olarak kullanıldı ve Nikel anot, katottan 15 mm uzağa yerleştirildi. Karşılaştırma için, takviyesiz Ni-W alaşım kaplaması aynı

koşullar altında kaplama banyosunda TiC partikül ilavesi olmadan kaplama işlemi yapıldı.

Örneklerin kesitsel ve yüzey morfolojileri, alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ile incelenmiştir. Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDAX), FESEM (JEOL JSM 6060 LV) ile bağlantılı olarak kullanılarak numunelerin bileşimi belirlenmiştir. Kaplamaların faz analizi, X-ışını kırınımı (Rigaku D/max-2400) kullanılarak Cu K $\alpha$  radyasyon kaynağı ile 20-90 2  $\theta$  aralığında 1 °/ dk hızında gerçekleştirildi. FWHM'sine göre örneklerin tüm piklerinin, kristalit boyutu ve mikro gerilimi Williamson-Hall denklemine göre hesaplanmıştır [44].

Çeşitli TiC konsantrasyonları ile kaplanan Ni-W-TiC kompozit kaplamaların ve TiC takviyesi yapılmamış Ni-W alaşım kaplamanın nano sertliği ve elastik modülü, parlatılmış kesitlerden standart bir Elmas Berkovich ucu ile nano indentasyon tekniği (Anton Paar Nanoindentasyon test cihazı: NHT3) kullanılarak ölçülmüştür. Nano indentasyon testleri maksimum 100 mN yükte ve 20 mN/s yükleme hızında 30s boyunca gerçekleştirilmiş ve ardından uygulanan kuvvet tamamen sıfırlanmıştır. Yükleme-boşaltma indentasyon testlerinden sonra, Oliver ve Pharr yöntemine göre yüke karşı derinlik eğrisinden sertlik ve elastik modülü hesaplanmıştır [45].

Kaplamaların tribolojik özelliklerini belirlemek için pistonlu disk üzerinde bilye testleri (CSM Instruments Tribometer-Switzerland) gerçekleştirildi. Çapı 10mm olan, DIN 50 324 ve ASTM G 99-95a standartlarına uygun bir M50 çelik bilye kullanıldı. Tüm testler, numuneler 1 N yüke maruz bırakılarak ıslak olmayan zeminde yani kuru kayma koşullarında 100 mm/s kayma hızıyla gerçekleştirildi. Numunelerin aşınmış yüzeyleri SEM ile değerlendirildi. Aşınma testinden sonra aşınmış malzemenin alanını hesaplamak için, aşınma izleri yüzey profilometresi (KLA Tencor P6) kullanılarak ölçüldü ve ardından denklem 1'de gösterildiği gibi aşınma oranları hesaplandı [46].

$$\text{Wearrate} = V/FXS \quad (1)$$

Burada: V numunenin hacim kaybı, F yük ve S kayma mesafesidir.

Numunelerin elektrokimyasal ölçümleri potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirildi ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi, Gamry Interface 1000 potansiyostat kullanarak ağırlıkça %3,5 olan geleneksel üç elektrotlu bir hücrede NaCl çözeltisi ile yapıldı.

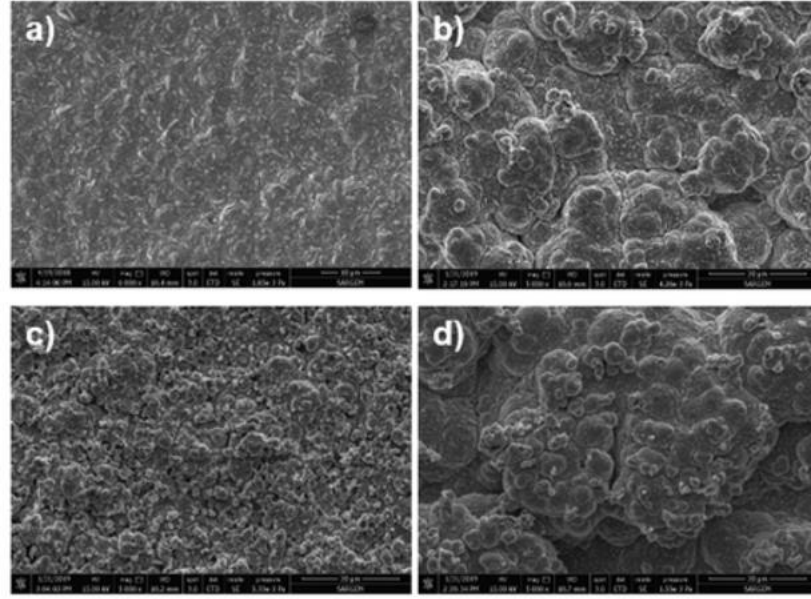
Elektrokimyasal hücre kurulumu  $1 \text{ cm}^2$ 'lik bir yüzey alanından oluşuyordu ve çalışma elektrotları; karşı elektrot olarak platin folyo, referans elektrot olarak doymuş kalomel elektrot kullanıldı. Ölçümlerden önce, kaplamaların açık devre potansiyeli 1 saat süreyle kaydedildi. Potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri, -100 mV ile +100 mV arasındaki bir potansiyel aralığı altında numunelerin korozyon özelliklerini incelemek için gerçekleştirildi. EIS ölçümleri, 10 mV genlik ve 0,01 ila 100000 Hz arasında değişen frekansla açık devre potansiyeli değerlerine yakındı.

## BÖLÜM 8. TARTIŞMA VE SONUÇ

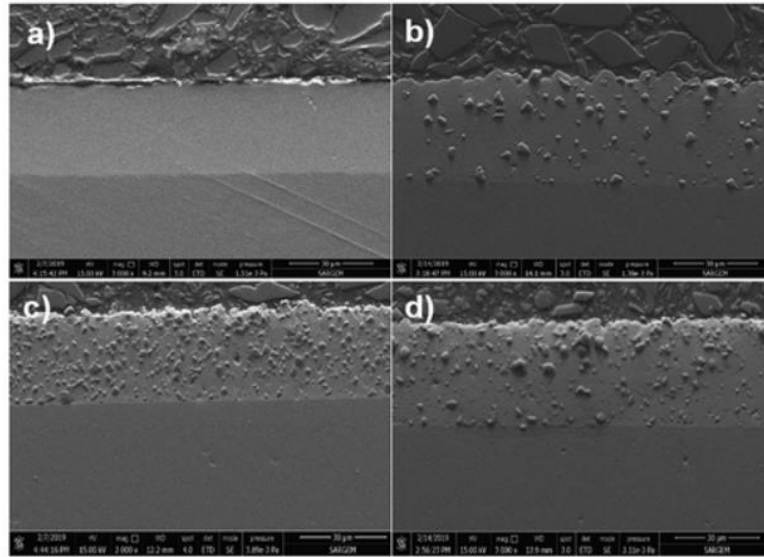
Darbeli elektrodpozisyon yöntemi ile çeşitli seramik partikül konsantrasyonlarında üretilen takviyesiz Ni-W alaşım kaplama ve Ni-W-TiC kompozit kaplamaların yüzey morfolojileri Şekil 8.1.'de gösterilmektedir. Şekil 8.1.'de gösterildiği gibi, takviyesiz Ni-W kaplamanın yüzeyi pürüzsüzdür ve yoğun bir yapı sağlanmış gibi görünmektedir. Ayrıca Ni-W kaplama, çokyüzlüler ve iğne şeklindeki taneciklerin bir karışımını gösterir. Seramik parçacıklarının matrise dahil edilmesi Ni-W kaplamaların yüzey morfolojileri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. 5 g/L ile çökeltilen Ni-W-TiC kaplama yüzeyinin, polikristalin tane büyümesi sağlayan ve dolayısıyla kolon şeklinde büyümeyi önlediği için, takviyesiz Ni-W alaşım kaplamaya göre daha pürüzlü bir yapıya sahip olduğu Şekil 8.1.'de açıkça görünmektedir. Ayrıca, kaplamaların yüzeyindeki homojen olmayan büyüme ve tanecik oluşumu, Nikelin alt tabaka üzerine gömüldüğünde, Nikel atomlarının çelik üzerinde homojen olarak birikmesinin aksine TiC partikül yüzeylerinde tercihli birikiminden kaynaklanıyor olabilir [47].

Şekil 8.1.'de gösterildiği gibi 15 g/L TiC konsantrasyonları ile hazırlanan Ni-W-TiC kompozit kaplama morfolojisi, daha küçük kristallerin büyümesi ile daha pürüzsüz yüzeyler vermiş ve diğer kaplamalara göre daha yoğun yapılar ortaya çıkarmıştır. Bu etki, dahil edilen seramik partiküllerin Nikel büyümesi için çekirdeklenme yerleri olabileceği ve daha yüksek TiC partikül konsantrasyonlarında Nikel matrisi üzerinde daha fazla çekirdeklenme sahasına yol açtığı ve pürüzlülüğün azaldığına sebep olduğu anlaşılabılır. Bunun nedeni, deneysel araştırmanın, elektrolitte 15 g/L TiC konsantrasyonları durumunda kaplama tabakasına çökeltilen TiC partiküllerinin miktarının en yüksek olduğunu göstermesidir. Artan miktarda TiC partikülünün daha yüksek çekirdeklenme bölgelerine neden olduğundan, heterojen çekirdeklenmeyi ve büyümeyi artırdığına inanılmaktadır [48]. Bu etkiden dolayı, 5 g/L TiC partikül eklenen elektrolit durumunda (Şekil 8.1.) elektrolit içindeki asılı partikül miktarı

oldukça düşüktür ve elektrolitteki 30 g/L TiC konsantrasyonu için biriken Ni matris taneleri daha iri görünmektedir. Elektrolit içindeki TiC partiküllerinin, büyük olasılıkla yetersiz miktarda yüzey aktif madde malzemesinden ayrılması veya bu konsantrasyon için düşük elektrolit karıştırma oranı, Ni-W-TiC kompozit kaplama için pürüzlü çökelmiş yüzeyleri ortaya çıkardı.

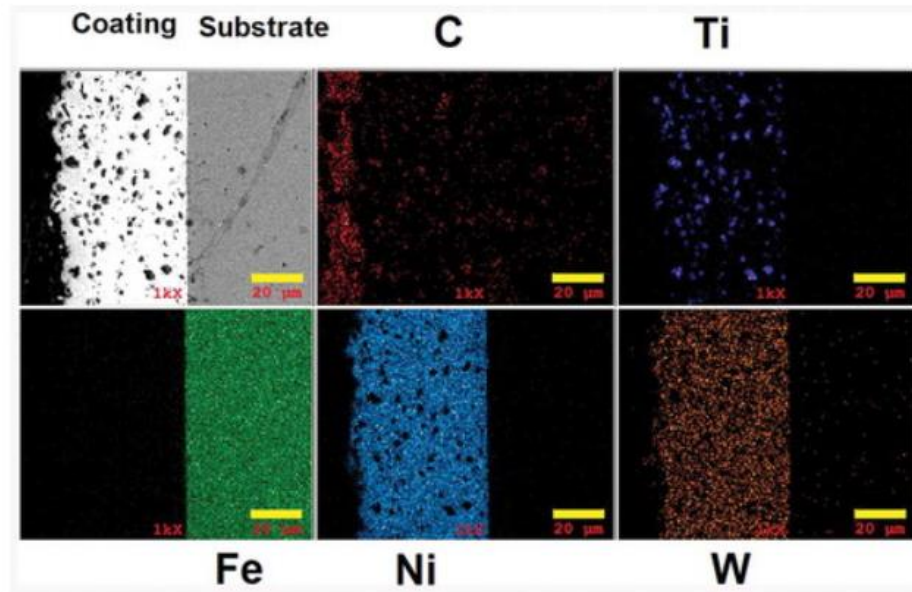


Şekil 8.1. (a) 0 g / L, (b) 5 g / L, (c) 15 g / L ve (d) 30 g / L TiC konsantrasyonları ile darbeli elektrodepozisyon ile üretilen kaplamaların FESEM yüzey mikrografları



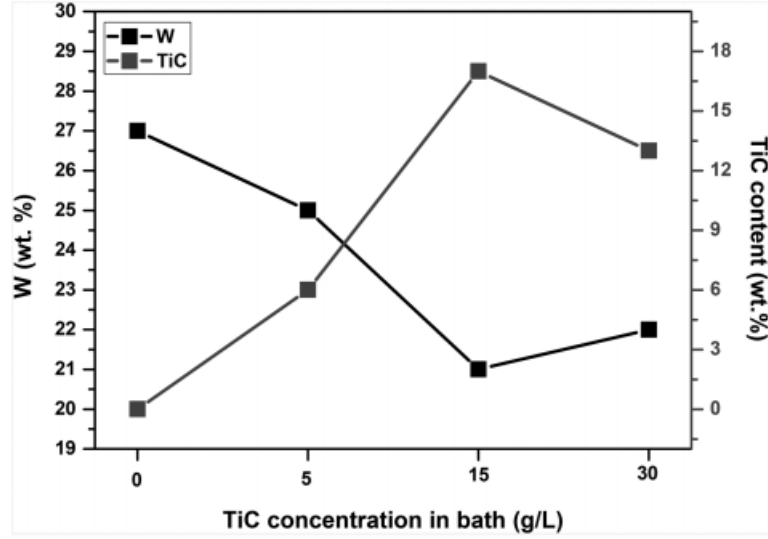
Şekil 8.2. Farklı konsantrasyonlarda üretilen güçlendirilmemiş Ni – W ve Ni – W – TiC kaplama için kesitsel SEM görüntüleri: (a) 0 g / L; (b) 5 g / L; (c) 15 g / L; (d) 30 g / L

Şekil 8.2.'de çeşitli TiC konsantrasyonları ile yapılan Ni-W-TiC kompozit kaplamaların ve Ni-W alaşım kaplamanın enine kesitlerinin SEM görüntülerini göstermektedir. Aralarında hiçbir süreksizliğin gözlenmediği tüm numuneler için altlık ve kaplamalar arasında iyi bir yapışma olduğu görülebilir. Ayrıca, tüm kaplamaların enine kesitlerinde çatlak ve gözenek yoktur. Ölçülen tüm numunelerin kalınlık değerlerinin, elektrolit içindeki artan partikül konsantrasyonu ile birlikte hafif bir kalınlık artışı göstererek ~ 28 ila 35  $\mu\text{m}$  arasında olduğu görülmektedir. Farklı kaplama kalınlıklarının nedeni, Nikel iyonlarının çökelme hızından kaynaklanıyor olabilir. Takviyesiz Ni-W alaşım kaplaması, yaklaşık ~ 25  $\mu\text{m}$  kalınlığında pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Şekil 8.2.'de görüldüğü gibi, TiC seramik partikülleri, kompozit kaplamaların enine kesitinde iyi dağılmıştır. Kaplama banyosunda artan seramik partikül konsantrasyonuna sahip TiC partiküllerinin içeriğinin artmasının nedeni Guglielmi'nin modeli ile açıklanabilir. Bu modele göre, seramik partiküllerinin birlikte birikmesi, fiziksel adsorpsiyon ve güçlü adsorpsiyon olan iki emme modeline bağlıdır [49, 50]. Fiziksel emilim aşaması, çözeltideki partikül konsantrasyonundan oluşur. Yüksek bir potansiyelin baskın olduğu ikinci adımda, birlikte biriken parçacıkların adsorpsiyon oranı yüksektir. Ni-W-TiC (15 g/L) kaplama, parçacıkların elemental bileşimini ve dağılımını araştırmak için EDX spektroskopisi ile karakterize edilmiştir.



Şekil 8.3. Ni-W-TiC (15 g/L) kaplamanın kesitinin temel haritalaması

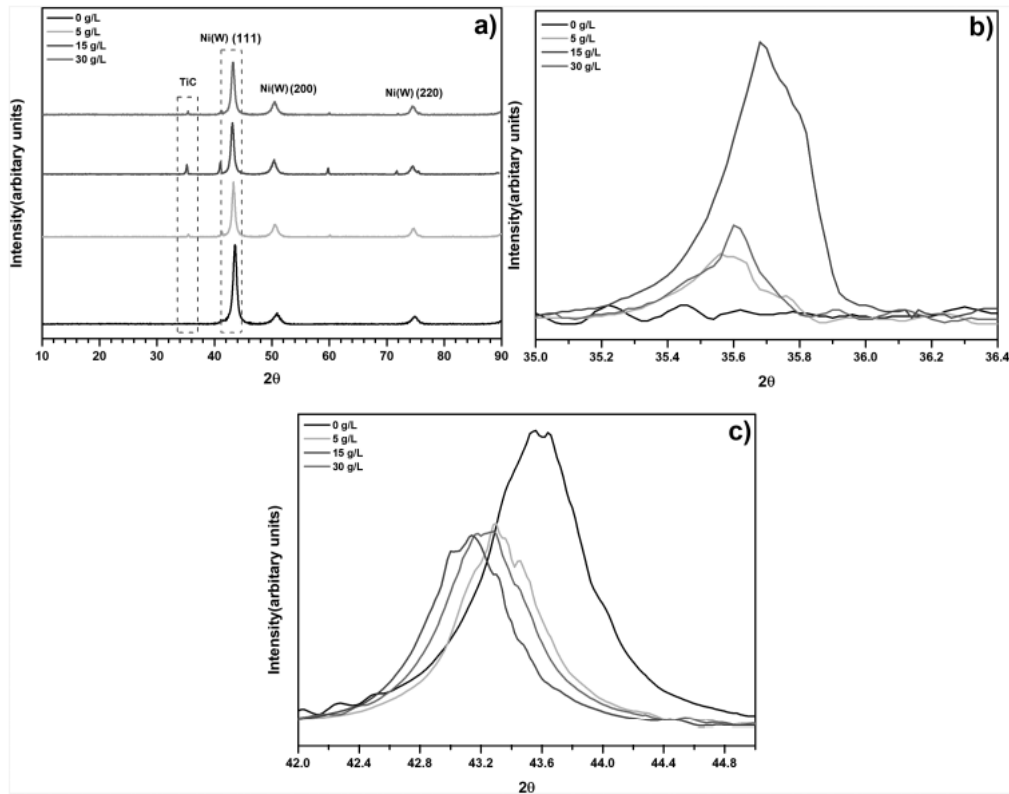
Şekil 8.3.'de gösterildiği gibi TiC parçacıkları NiW matrisinde belirgin bir topaklaşma olmaksızın homojen bir şekilde dağıldı ve TiC parçacıkları kaplamanın yüzeyine iyi bir şekilde bağlandı.



Şekil 8.4. Kaplama banyosundaki TiC konsantrasyonunun kaplamadaki TiC ve tungsten ağırlık yüzdesine etkisi

Şekil 8.4. kaplamalardaki Tungsten ve TiC seramik partiküllerinin miktarına bağlı olarak kaplama banyosundaki TiC partiküllerinin konsantrasyon değişimini gösterir. TiC partikül konsantrasyonunu artırarak Nikel ile kaplanmış Tungsten miktarındaki azalmanın ana nedeni, Nikel iyonlarının TiC partikülleri üzerinde Tungsten iyonlarından çok daha aktif olarak absorbe etmesidir [51]. Grafik, Ni (W) matrisine dahil edilen TiC seramik partiküllerinin miktarının TiC seramik partikül konsantrasyonundaki artışla arttığını açıkça göstermektedir. Bununla birlikte, yukarıda belirtildiği gibi, seramik partikül konsantrasyonunun 15 g/L'nin üzerine çıkarılması, kaplama tabakasında biriken TiC partiküllerinin azalmasıyla sonuçlandı. Aynı zamanda, çözeltideki TiC konsantrasyonunun 5 g/L'den 30 g/L'ye yükselmesiyle kaplamada Tungsten içeriği biraz azaldı. EDX sonuçlarından elde edilen Tungsten içeriği, sırasıyla 5 g/L, 15 g/L ve 30 g/L TiC konsantrasyonlarında yapılan kaplamalar için ağırlıkça %25, %21 ve %22 idi. Diğer yazarlar tarafından yapılan çalışmalarda benzer etkiler gözlemlendi [41, 51]. Buna göre, partiküller üzerine adsorbe edilen  $\text{Ni}^{+2}$  sayısı, düşük partikül konsantrasyonunda elektrolitte düşüktü ve bu da matriste biriken TiC partiküllerinin azalmasına neden oldu. Kaplama banyosundaki TiC

konsantrasyonunu artırarak, daha fazla miktarda süspanse edilmiş partikül oluşturdu ve kaplama üzerine partikül adsorpsiyonu için daha fazla fırsat sağladı. Bununla birlikte, TiC partikül konsantrasyonu 15 g/L'nin üzerine çıktığında, kaplama tabakasında biriken partikül içeriğinde azalma gözlemlenmiştir ve bu, yetersiz yüzey aktif madde konsantrasyonundan kaynaklanan partikül agregasyonuna neden olan konsantrasyon doygunluğundan dolayı TiC partikül içeriğinde azalmaya neden olabileceği gözlemlenmiştir. Öte yandan, 30 g/L'lik TiC konsantrasyonunda, elektrolitin içindeki Nikel iyonları TiC partiküllerinin zayıf süspanسیونundan dolayı tüm TiC parçacıklarını örtemez ve bu birlikte biriken partiküllerin miktarının azalmasına yol açar. Bu nedenle bu çalışmada, incelenen partikül konsantrasyonu için kaplama çözeltisindeki TiC partikül içeriğinin 15 g/L'yi geçmemesi önerilmektedir. Bu sonuçlar, eklenen parçacığın maksimum ağırlıkça yüzdesinin, 15 g/L TiC konsantrasyonu içeren bir elektrolitten elde edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 8.5. (a) takviyesiz Ni-W ve Ni-W-TiC kompozit birikiminin XRD desenleri; (b) TiC'nin ayrıntılı kırınımı; (c) detaylı (111) Nikel'in kırınımı

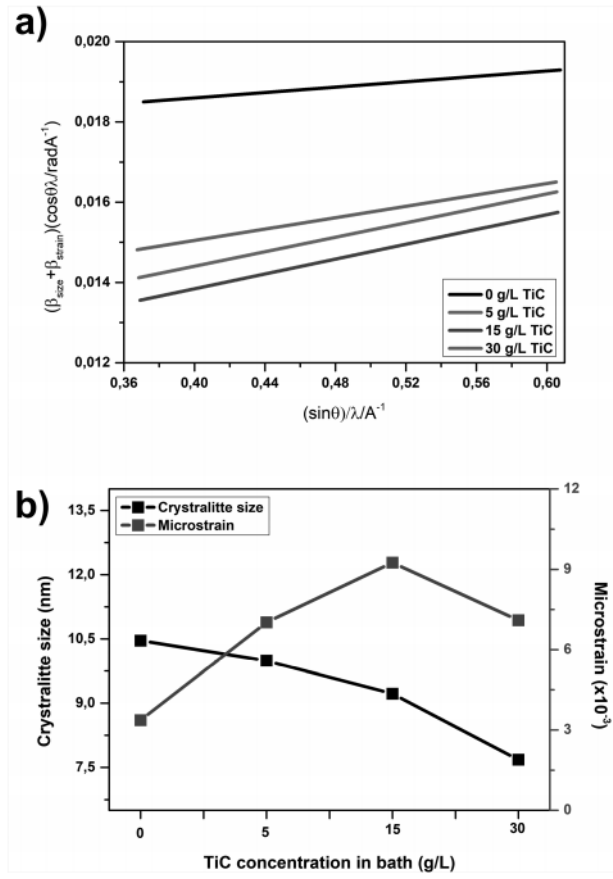
Şekil 8.5.'de kaplama banyosunda çeşitli TiC seramik partikül konsantrasyonlarında elde edilen kaplamaların XRD modellerini gösterir. Şekil 8.5.'de görüldüğü gibi, yüzey merkezli kübik (YMK)-Nikel'e karşılık gelen  $2\theta$  açısı  $\sim 44^\circ$ ,  $\sim 51^\circ$  ve  $\sim 74^\circ$  olan üç geniş tepe ve baskın kristal düzlemler (111) (200) ve (220) Nikel kafesinde katı bir Tungsten atomu çözeltisinin oluşumunu ifade eder. İfade edilen bu oluşum diğer araştırmalar tarafından desteklenmektedir [42, 52].  $36,1^\circ$ 'deki zayıf tepe, Ni (W) matrisinde bulunan TiC parçacıklarına aittir. Şekil 8.5.'de gösterildiği gibi TiC zirveleri, diğer kaplamalara kıyasla Ni-W-TiC (15 g/L) kompozit kaplamada maksimum yoğunluğa sahiptir. Bu nedenle, 15 g/L'lik bir konsantrasyonda hazırlanan Ni-W-TiC kompozit kaplamanın maksimum TiC içeriğine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, Şekil 8.5.'de görülebileceği gibi kaplama banyosundaki TiC konsantrasyonundaki artış, TiC parçacıklarının neden olduğu kafes distorsiyonundan dolayı sol tarafa doğru daha düşük  $2\theta$  açılarında hareket etti. Diğer bir neden, daha büyük boyutlu Tungsten iyonlarının, daha küçük boyutlu Tungsten iyonları ile yer değiştirmesidir. Biriken katmandaki Tungsten miktarındaki düşüş zaten Şekil 8.5.'de verilmiştir.

Ni-W alaşımları ile karşılaştırıldığında, Ni-W-TiC kaplamanın tepe noktasının yoğunluğu, elektrolit içindeki TiC konsantrasyonunun artmasıyla azaldı ve genişledi. Bu, Ni-W kaplamasına TiC partiküllerinin eklenmesiyle TiC birikiminin kristalit boyutundaki azalmaya dayanmaktadır. Numunelerin tüm piklerinin FWHM'sine göre tüm kaplamaların kristalit boyutu ve mikro gerilimi Williamson-Hall denkleminde hesaplanabilir. Williamson-Hall denklemi aşağıdaki gibidir [44]:

$$\frac{(\beta_{size} + \beta_{strain}) \cos \theta}{\lambda} = \frac{k}{D} + \frac{2\epsilon \sin \theta}{\lambda} \quad (8.1)$$

$$\beta_{size} + \beta_{strain} = \beta_{exp} - \beta_{inst} \quad (8.2)$$

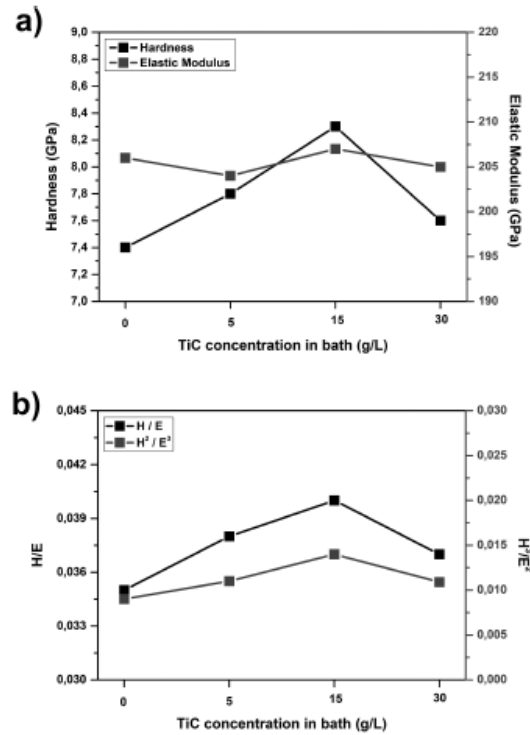
Burada, k; 0.9 sabittir,  $\beta_{boyutu} + \beta_{gerilme}$ ; tam genişlik yarı maksimum (FWHM) değerini gösterir,  $\beta_{inst}$ ; genişlemeyi temsil eder,  $\lambda$ ;  $1,54 \text{ \AA}$  olan CuK $\alpha$  radyasyonunun dalga boyudur,  $\theta$ ; Bragg açısıdır,  $\epsilon$ ; mikro gerilim ve D; kristalit boyutudur.



Şekil 8.6. (a) Williamson-Hall grafiği ve (b) Çeşitli partikül konsantrasyonları ile üretilen güçlendirilmemiş Ni-W ve Ni-W-TiC kompozit kaplamanın kristalit boyutu ve mikro gerilimi

Şekil 8.6., Ni-W alaşım kaplama ve Ni-W-TiC kompozit kaplamanın tüm kırınım zirveleri için x eksenini boyunca  $2\epsilon \sin \theta / \lambda$  ve y eksenini boyunca  $(\beta_{size} + \beta_{strain}) \cos \theta / \lambda$  ile çizilen Williamson-Hall grafiklerini vermektedir. Sonuç olarak, yerleştirilen çizginin eğimi ve y-kesişimi sırasıyla gerinim ve kristalit boyutunu verir. Şekil 8.6., TiC partiküllerinin dahil edilmesinin, TiC birikiminin mikro gerilimi ve kristalit boyutu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. 0,5,15 ve 30g/L TiC seramik partikül konsantrasyonlarında biriktirilen kaplamalar için numunelerin kristalit boyutlarının sırasıyla 10,4 nm, 9,9 nm, 9,22 nm ve 7,68 nm boyutlarında olduğu hesaplanabilir. Bu değerlerden de anlaşılabileceği üzere Ni-W-TiC kaplamanın kristalit boyutu, çözeltideki TiC konsantrasyonunun 5 g/L'den 15 g/L'ye yükselmesiyle azaldı, ardından TiC miktarını 15g/L'den 30 g/L'ye arttırdığımız zaman bu azalmada daha fazla artış gözlemlendi. Elektrodpozisyon işlemi için literatürde bilindiği üzere, kristalit boyutu esasen tane büyüme hızı ve çekirdeklenme hızı ile tanımlanır [53, 54].

Bu, TiC'nin büyüyen kristal üzerinde adsorbe edildiğini ve kaplama banyosundan Nikel iyonlarının birikmesi için daha fazla çekirdeklenme yerlerinin oluşmasıyla sonuçlandığını gösterir ve böylece kristal büyümesi için bir bariyer görevi gören ve kaplamanın kristalit boyutunun azalmasına neden olan metal kristalitlerin büyümesini engeller. Buna ek olarak, Williamson-Hall grafiğinde Şekil 8.6.'da artan TiC konsantrasyonu ile görülebilen artan eğim, kaplamadaki TiC varlığının Ni (W) matrisinde bir dereceye kadar mikro gerilmeye yol açtığını gösterir. Çözeltideki TiC konsantrasyonunun artmasıyla Ni-W-TiC kaplamanın mikro geriliminin arttığı ve maksimum 15 g/L TiC konsantrasyonunda elde edildiği görülmüştür. Bu, seramik parçacıkları ile Nikel matrisi arasındaki büyük kafes uyumsuz gerilimine bağlanabilir ve sıkıştırıcı mikro gerinim üretilir. Partikül konsantrasyonunun 30 g/L'ye yükseltilmesi, partikül agregasyonuna neden olduğu için TiC birikiminin mikro gerilimde azalmaya yol açar.



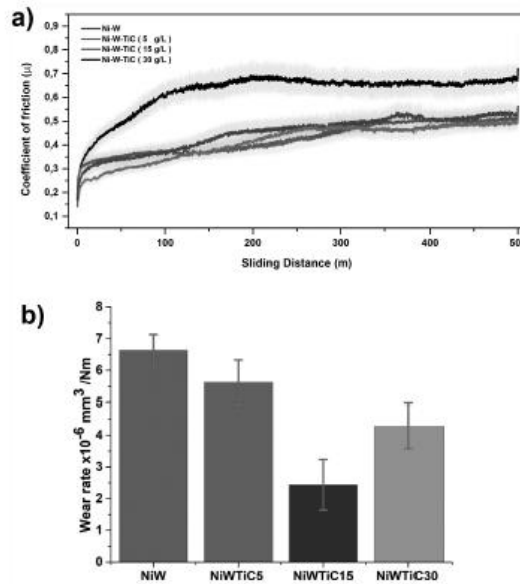
Şekil 8.7. Çeşitli partikül konsantrasyonları ile üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplama ve takviyesiz Ni-W kaplamadaki nanoindentasyon sonuçları (a) H/E ve (b) H³/E² oranı.

Çeşitli partikül konsantrasyonları ile üretilen Ni-W alaşım kaplama ve Ni-W-TiC kompozit kaplamanın mekanik özellikleri, yani sertlik ve elastik modülü, nano

indentasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, kaplama banyosundaki TiC partikül konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak Şekil 8.7.'de gösterilmektedir. Ni-W alaşımının sertliği 7,4 GPa iken elastik modülü 206 GPa idi. Şekil 8.7.'de görülebileceği gibi TiC seramik partiküllerinin dahil edilmesi, kaplamanın elastik modülünü ve nano sertliğini önemli ölçüde geliştirdi. Ayrıca, kaplamanın sertliğinin ve elastik modülünün önce elektrolit içindeki TiC konsantrasyonlarının artmasıyla arttığı, ardından 15 g/L'yi aştığında azaldığı sonucuna varılabilir. Örneğin, 15 g/L ile çökeltilen Ni-W-TiC kaplamanın sertliği ve elastik modülü sırasıyla 8,3 GPa ve 207 GPa iken 5 g/L'de sırasıyla 7,8 GPa ve 204 GPa'dır, yani neredeyse 15 g/L içeren Ni-W-TiC kaplamanın nano sertlik ve elastik modülünde 5 g/L ile yapılanlara göre %8 ve %1,4 artış görülmektedir. TiC dahil edilen kaplamanın sertliğindeki iyileşme, tane sınırı güçlendirmesi (Hall-Petch ilişkisi) gibi çeşitli mekanizmalarla ilişkilendirilebilir [55, 56]. Yukarıda belirtildiği gibi, elektrolite TiC partiküllerinin eklenmesi, kaplamanın kristalit boyutunu azaltır ve matristeki dislokasyon hareketini inhibe eden tane sınırlarının hacminin artmasıyla sonuçlanır. Böylece Hall-Petch denkleminde göre kaplama sertliği artırılır. Sertliğin iyileştirilmesinin ikinci nedeni, TiC parçacıklarının dağıtıcı güçlendirme etkileri olan Orowan mekanizmasından kaynaklanıyor olabileceği düşünülmektedir. Orowan mekanizmasına göre, ikinci faz partikülleri arasındaki mesafe azaldığında, kaplamanın sertliği artar. Nikel matrisine, miktarı artırılarak eklenen TiC partikülleri, partiküller arasındaki mesafenin azalmasına neden olur. Ayrıca, Takviye olarak kullanılan TiC seramik parçacıkları, matristeki dislokasyon hareketini ve matrisin tane sınırı kaymasını engellemek için bariyer görevi görür ve böylece Ni (W) matrisinin plastik deformasyonunu engeller. Öte yandan, seramik partikül-Nikel matris arayüzleri, TiC partikül takviyesinin mekanik özellikleri iyileştirilmesi açısından önemli rollere sahiptir. Mükemmel stabiliteye ve sınırlı hareketliliğe sahip seramik partikül-Nikel matris arayüzlerinin varlığı, Nikel matrisin tane sınırlarını güçlendirir ve matrisin plastik deformasyonunu engeller [57]. Bu nedenle, yukarıda bahsedilenlere göre, TiC kompozit birikiminin (15 g/L) mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, Nikel matrisi ve seramik parçacığı arasında mükemmel bir arayüzün oluşumu ve TiC parçacıklarının Ni (W) matrisinde homojen dağılımı ile ilişkilendirilebilir. Sonuçlarımız Wang ve arkadaşları tarafından bildirilenlerle uyumludur [58]. Bununla birlikte, TiC konsantrasyonu 30 g/L'ye çıktığında, sertlik ve

esneklik modülü sırasıyla 7,6 GPa ve 205 GPa'ya düşmüştür. Bu azalmanın Nikel matrisindeki seramik partiküllerinin aglomerasyonu ve homojen olmayan dağılımı ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Yazarlar, kaplamaların tribolojik davranışını tahmin etmede sertlik ve elastik modül arasındaki oranın, sertliğin ölçümüne göre daha sağlıklı yol gösterdiğini rapor etmişlerdir [ 45, 46 ]. Kaplamalar için yüksek  $H/E$  ve  $H^3/E^2$  değerlerinin, yüksek temas yükleri altında uzun hizmet ömrü ve uygulama için anahtar nokta olduğu öne sürülmüştür.  $H$  ve  $E$  arasındaki oran kaplamanın mekanik eksikliğini tahmin etmek için kullanılabilirken,  $H^3/E^2$  oranı malzemenin plastik deformasyon direnç faktörü ile ilgilidir. Araştırmacı Qi, en dayanıklı kaplamaların, kopmaya karşı yüksek elastik gerilme durumlarında üretilebileceğini ve bunun, plastik deformasyona direnmek için kaplamalara yüksek sertlik ve düşük bir elastik modül ile gerçekleştirilebileceğini öne sürmüştür [59]. Kaplamaların  $H/E$  ve  $H^3/E^2$  oranları Şekil 8.7.'de gösterilmiştir. Şekil 8.7.'de görülebileceği gibi, 15 g/L'de çöktürülen Ni-W-TiC kaplama, en yüksek  $H/E$  oranı  $\sim 0,040$  ve  $H^3/E^2$  oranı  $\sim 0,014$  GPa değerlere sahiptir.



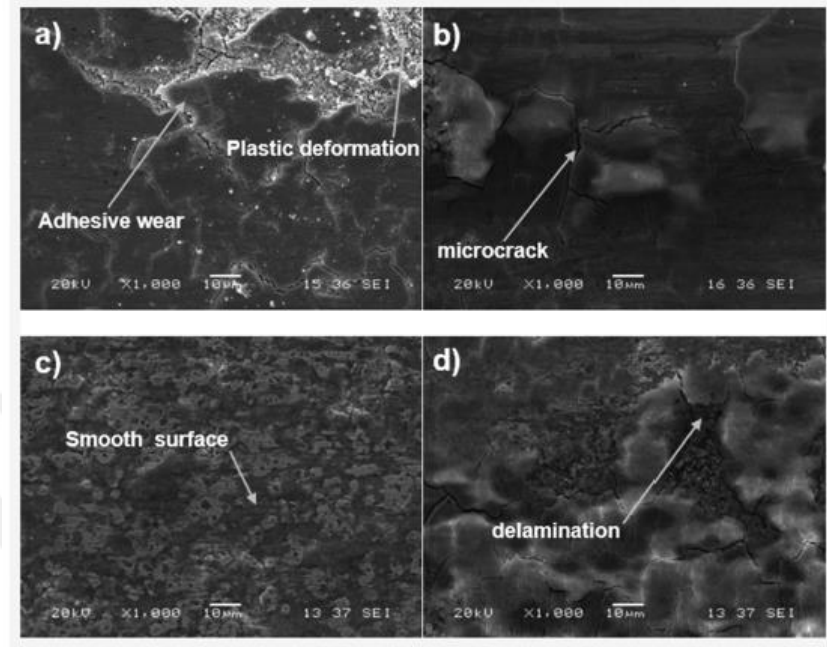
Şekil 8.8. Ni-W ve farklı TiC konsantrasyonlarında üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplamaların aşınma oranları

Şekil 8.8.'de çeşitli TiC içeriklerinde üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplamanın aşınma oranlarını ve sürtünme katsayılarını gösterir. Ni-W durumunda, kayma mesafesi

arttıkça sürtünme katsayısı sürekli olarak artar ve 0,5'lik bir sürtünme katsayısı veren 400 metre kayma mesafesinden sonra bile stabilizasyon göstermez. Tüm Ni-W-TiC kaplamaların sürtünme katsayısı, kayma mesafesine neredeyse benzer özellikler gösterir. Elektrolit içinde 30 g/L TiC oranı ile biriktirilen kaplama dışında, sürtünme katsayıları, temas alanının artması nedeniyle pürüzlerin düzleşmesine bağlı olarak 300 metre kayma mesafesinden sonra nispeten kararlı davranış sergilemiştir. Elektrolitte artan TiC partikül konsantrasyonları ile numunelerin sürtünme katsayısı başlangıçta azalır ve ardından konsantrasyon 15 g/L'nin üzerine çıktıktan sonra artar. Şekil 8.8.'de Ni-W-TiC (30 g/L) kaplama, kaplamanın pürüzlü yüzeyinden ve parçacıkların toplanmasından kaynaklanabilecek tüm kaplamalara kıyasla daha yüksek bir sürtünme katsayısı göstermektedir. Yüksek sürtünme katsayısının başka bir nedeni, seramik parçacıkları ile matris arasındaki zayıf arayüzey bağlanması olabilir, bu da aşınma testi sırasında TiC parçacıklarının çekilmesine yol açar. Ancak, en yüksek TiC içeriğine sahip Ni-W-TiC (15 g/L) kompozit kaplama, en düşük sürtünme katsayısını sergilemiştir. Bu sonuçlar, sadece Nikel matrisindeki TiC seramik parçacıklarının tekdüze dağılımına değil, aynı zamanda homojen mikro yapıya ve yüksek mekanik özelliklere de atfedilir [61].

Şekil 8.8.'de gösterildiği gibi, biriktirme banyosunda ki seramik partikül oranı arttıkça aşınma oranı azalır ve 15 g/L'de minimum değere ulaşır, ardından 30 g/L'de daha da artar. Üretilen kaplamaların 10 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda aşınma oranları  $6,6 \times 10^{-6}$ ,  $5,6 \times 10^{-6}$ ,  $2,4 \times 10^{-6}$ ,  $4,2 \times 10^{-6}$  olarak elde edildi. Elde edilen bu değerler sırasıyla 0 g/L, 5 g/L, 15 g/L, 30 g/L seramik parçacık konsantrasyonlarına aittir. Aşınma oranındaki bu azalma, artan H/E ve H<sup>3</sup>/E<sup>2</sup> oranları ile artan sertlik ve tokluk olarak açıklanabilir [58]. TiC konsantrasyonu 30 g/L olduğunda, aşınma oranı, matrise dahil edilen TiC partiküllerinin aglomerasyonu nedeniyle aşındırıcı yüzey ile kaplama arasındaki temas yüzeyinin artmasına bağlı olarak Ni-W-TiC kaplama için  $4,25 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup> N/m'ye yükselir. Bu çalışmada 15 g/L'lik TiC seramik partikül konsantrasyonu ile üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplamaların en iyi aşınma direncini gösterdiğini görmekteyiz. Bu Orowan ve Hall-Petch mekanizmalarına göre Nikel matrisinin dayanıklılığını ve sertliğini artıran TiC seramik partiküllerinin rolüne atfedilir [62].

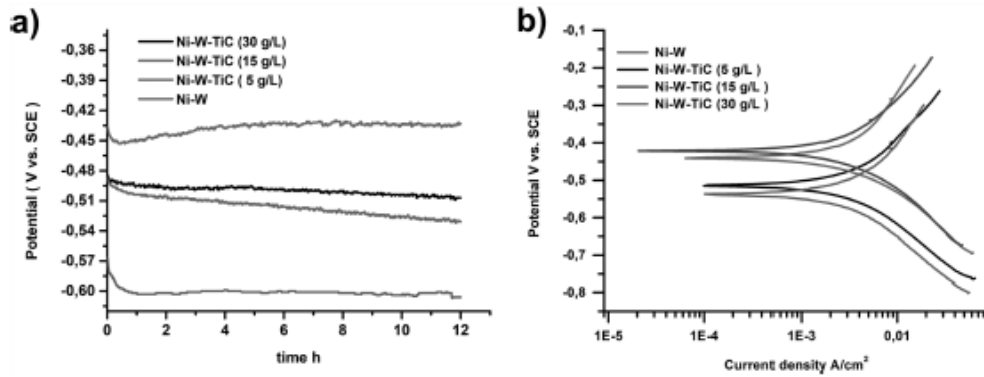
Ayrıca, kayma aşınması sırasında TiC seramik parçacıkları Ni (W) matrisi ile M50 bilyesi arasındaki doğrudan teması azaltır.



Şekil 8.9. Ni-W ve farklı TiC konsantrasyonlarında üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplamaların aşınma izlerinin SEM görüntüsü: (a) 0 g / L; (b) 5 g / L; (c) 15 g / L; (d) 30 g / L.

Şekil 8.9.'da farklı TiC konsantrasyonlarında üretilen birlikte biriktirmenin aşınmış yüzeyinin yüksek büyütme SEM görüntülerini gösterir. Şekil 8.9.'da gösterildiği gibi, seramik partikül takviyesi olmadan üretilen Ni-W kaplamanın aşınmış yüzeyi kayma yönü boyunca ağır plastik deformasyon ve oluklar ile karakterize edilir. Bu sonuçlar, baskın aşınma mekanizmasının yapışkan aşınması tarafından yönetildiğini göstermektedir. Seramik partikül takviyesi olmadan yapılan kaplama için plastik deformasyon sertleşmesi nedeniyle, yorulma çatlaklarının oluşumu ve ardından delaminasyon aşınması en etkili olgudur (Şekil 8.9.). Ni (W) matrisine TiC partiküllerinin dahil edilmesinden sonra, Ni-W-TiC 5 g/L kaplamanın aşınmış yüzeyi, Ni-W kaplamaya göre daha az çatlak ve daha pürüzsüz yüzeyler ile çatlak genişliğinin arttığını göstermektedir. Kompozitte yük taşıyıcı için TiC partiküllerinin katkısına atfedilen delaminasyon başlatılacak gibi görünmüyor (Şekil 8.9.). Bununla birlikte, plastik deformasyon ve ardından çatlak oluşumunu takiben artan kayma mesafesi ile delaminasyon aşınması, TiC ile birlikte biriktirilmiş (5 g/L) kaplamanın yüzeyinin

potansiyeye sahip olduğunu göstermektedir. Banyodaki 15 g/L partikül konsantrasyonu ile üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplamanın aşınmış yüzeyi, serbest çatlamaya sahiptir ve nispeten pürüzsüzdür çünkü seramik partiküller gerilmeleri taşıyabilir ve plastik deformasyonu azaltabilir. Kayma testi sırasında Nikel matris ve bilyede oluşan sürtünme ısısı nedeniyle Ni (W) matrisi yumuşar ve aşınan yüzeyde birikinti oluşur. Kaplamadaki TiC partikül içeriği artarken, aşınma yolundaki kalıntı alanı fraksiyonları azalır. Ni (W) matrisindeki homojen dağılımdaki TiC partikülleri mekanik özellikleri geliştirmiştir ve bu açıkça, kayma işlemi sırasında matrisin deformasyonunu engelleyerek aşınma direncini artırabilir. Ni-W-TiC 15 g/L kompozit kaplamanın mükemmel aşınma direnci, Ni (W) matrisindeki takviye miktarındaki artışla birlikte TiC parçacıklarının geliştirilmiş yüzey sertliğine ve yüksek yük taşıma kapasitesine de bağlanabilir. Artan pürüzsüz alan miktarı, matrise entegre TiC partikülleri nedeniyle artan yük taşıma kapasitesiyle alakalıdır. Bu nedenle Ni (W) matrisindeki artan TiC partikülleri, döküntü alan fraksiyonlarının azalması nedeniyle gelişmiş bir aşınma direncine yol açar. Şekil 8.9.'de görüleceği gibi yüzeyde oluşan kalıntı, 15 g/L ile kaplanmış Ni-W-TiC kaplamanın aşınmış yüzeyine yapışmaktadır. Ni-W-TiC 5 g/L kaplamalarıyla karşılaştırıldığında, aşınmış yüzey pürüzsüz hale gelir ve transfer tabakası Şekil 8.9.'da gösterildiği gibi parçacıklar etrafında oluşur. Dahası, bu kalıntı, kayma testi sırasında M50 çelik bilye ile düzleştirildi, bu da aşınma yolunun pürüzlülüğünün azalmasına neden oldu. Bu tür bir transfer tabakasının sertliği, seramik partiküllerin varlığı ve işlenmiş tabakanın sertleşmesi nedeniyle yüksektir. Bu yüzden oluşum transfer tabakası Ni (W) matrisi ile karşı yüzey bilyesi arasındaki temas azaldı ve böylece TiC kompozit yapının 15 g/L aşınma oranı azaldı. TiC partikül konsantrasyonunu daha da artıran Ni-W-TiC 30 g/L kaplama, delaminasyonla ilişkili şiddetli plastik deformasyonla daha fazla aşınma kalıntısı sergiledi (Şekil 8.9.). Ayrıca, kaplamanın aşınmış yüzeyinde bazı tabakalı çatlaklar oluştu. Aşınmış yüzey üzerinde oluşan katman, TiC partiküllerinin aglomerasyonu ve bazı bölgelerde gevşek bağlanmış seramik partikülleri nedeniyle parçalandı ve kısmen temastan çıkarıldı, bu da aşınma oranında ve sürtünme katsayısında keskin bir artışa neden oldu.



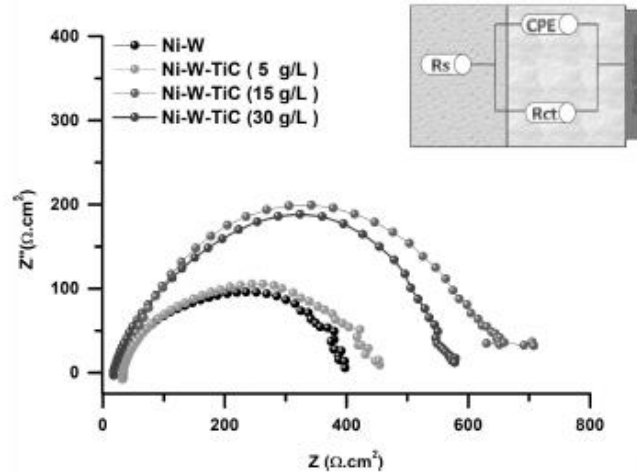
Şekil 8.10. (a) Açık devre potansiyelinin değişimi ve (b) %3,5 NaCl çözeltisinde Ni-W ve Ni-W-TiC kompozit kaplama için polarizasyon eğrileri.

TiC partiküllerinin matrise dahil edilmesinin öncelikle açık devre potansiyelini daha pozitif değerlere doğru önemli ölçüde artırdığı ve bunun da galvanik korozyon oluşumunun azalmasına yol açtığı gözlemlenmiştir. Ardından, TiC partikül konsantrasyonunun daha da artması, açık devre potansiyelini azaltır. Elde ettiğimiz sonuçlar, 15 g/L'lik TiC konsantrasyonu ile üretilen Ni-W kaplama için yaklaşık 1,5 saat daldırıldıktan sonra sabit bir değer gözlemlendiğini ve mükemmel bir kimyasal stabilite sergilediğini gösterir. Ni-W ve farklı değerlerde TiC konsantrasyonu ile üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplamanın polarizasyon eğrileri Şekil 8.10.'da gösterilmektedir. Kompozit kaplamanın korozyon direnci temel olarak kimyasal bileşimlerden ve yüzey morfolojisinden, kristalit boyutundan, tercih edilen yönelimden ve ayrıca matrisle arayüzey bağlanmasından, seramik parçacıklarının miktarından ve homojen dağılımından etkilenir [43, 63]. Korozyon potansiyeli ve akım yoğunluğu değerleri, ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisinde test edildikten sonra Tafel eğrisinden hesaplandı. Tablo 8.1.'de görüldüğü gibi, Ni-W kaplama,  $E_{\text{corr}} = -0.53$  V ve  $I_{\text{corr}} = 4.12 \mu\text{A cm}^{-2}$  değerlerine sahiptir. TiC 5 g/L eklendikten sonra, Ni-W kaplamanın  $E_{\text{corr}}$  değeri, takviyesiz Ni-W kaplamaya kıyasla yaklaşık  $-0,51$  mV civarında pozitif bir kayma gösterdi. Ayrıca, 15 g/L ile çökeltlen Ni-W-TiC kaplamanın  $E_{\text{corr}}$  değeri  $-0.41$  V'dur ve bu, takviyesiz Ni-W ve Ni-W-TiC 5 g/L kaplamalardan daha pozitifdir. Ni-W-TiC 30 g/L kaplamanın korozyon özellikleri, Ni (W) matrisine gevşek bir şekilde bağlanmasından dolayı yüzeyden kolayca çıkan partikül aglomeraları nedeniyle bozulur. 15 g/L TiC içeriği ile üretilen Ni-W-TiC kaplama, diğer kaplamalara kıyasla daha düşük korozyon akımı yoğunluğu ve daha yüksek korozyon potansiyeli gösterdi. Kompozit kaplamanın korozyon direncinin artmasının ana

nedenleri, Ni (W) matrisine korozif iyon difüzyonunu engelleyen TiC partiküllerinin eklenmesiyle gözenekler ve boşluklar gibi kusurların azalmasıdır [43]. Diğer bir neden, seramik parçacığının Ni (W) matris içinde bulunması, sadece korozyona eğilimli aktif alanı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda kaplamaların mikro yapısının grenini de rafine eder, kaplamayı pürüzsüz ve homojen hale getirir. Öte yandan, TiC seramik partiküllerinin homojen dağılımı, kompozit kaplamanın mekanik özelliklerini geliştirir ve Ni (W) matrisinin çözünmesini engeller [12]. Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı çalışmamızda, 15 g/L içeren Ni-W-TiC kaplamada daha iyi bir korozyon performansı elde edildiği görülmektedir.

Tablo 8.1. Takviyesiz Ni-W ve Ni-W-TiC kaplamalar için polarizasyon eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri

| Coatings         | E <sub>corr</sub> vs. SCE (V) | İ <sub>corr</sub> (mA cm <sup>-2</sup> ) |
|------------------|-------------------------------|------------------------------------------|
| Ni-W             | -0,53                         | 4,12                                     |
| Ni-W-TiC (5g/L)  | -0,51                         | 3,71                                     |
| Ni-W-TiC (15g/L) | -0,41                         | 2,76                                     |
| Ni-W-TiC (30g/L) | -0,44                         | 3,25                                     |



Şekil 8.11. Takviyesiz Ni-W ve farklı TiC konsantrasyonlarında üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplamaların Nyquist grafikleri. Eşdeğer devre modelinin başlangıcı

Şekil 8.11.'de darbe akımlı elektrodpozisyon yöntemiyle üretilen numuneler için Nyquist grafiklerini göstermektedir. Tüm kaplamaların Nyquist'indeki eğrilerine benzer görüldüğü Şekil 8.11.'de açıkça görülmektedir fakat bunlar farklı boyutlarda yarım daire biçimli yaylardır. Ayrıca Ni-W ve Ni-W-TiC kaplama, tek bir yarım daire yayının oluşumunu gösterir. Kaplamalar için büyük bir yarı çember empedans

yarıçapının, kaplamaların korozyon özelliklerini iyileştirdiği öne sürülmüştür [64]. Açıkçası, kaplamaların empedans yarıçapı ilk önce elektrolit içindeki TiC partikül içeriğinin artmasıyla artmış, ardından seramik partikülü 15'ten 30 g/L'ye çıkarıldığında azalmıştır. Empedans yarım dairesinin en büyük yarıçapının 15 g/L TiC konsantrasyonunda üretilen Ni-W-TiC kompozit kaplama için elde edildiği görülmektedir. Eşdeğer daire, sırasıyla elektron transfer direnci, elektrolit direnci ve sabit faz elemanı olan  $R_{CT}$ ,  $R_s$  ve  $C_{PE}$ 'den oluşur.

Tablo 8.2. Bağlantıdan türetilen elektrokimyasal parametreler

| Coating          | $R_s$ | $R_{ct}$ | $Q_{dl}$ ( $\times 10^{-5}$ F) |
|------------------|-------|----------|--------------------------------|
| Ni-W             | 5,9   | 798      | 15,4                           |
| Ni-W-TiC (5g/L)  | 6,2   | 985      | 14,7                           |
| Ni-W-TiC (15g/L) | 9,5   | 1241     | 11,3                           |
| Ni-W-TiC (30g/L) | 6,5   | 1085     | 13,1                           |

Numunelerin EIS verileri Tablo 8.2.'de listelenmiştir. Yüksek  $R_{CT}$  değerlerinin ve düşük  $R_s$  değerlerinin korozyon direncini iyileştirmek için fayda sağladığı tespit edilmiştir. Tablo 8.2.'de görüldüğü gibi kaplamaya TiC partiküllerinin eklenmesi ile  $R_{CT}$  değeri artarken,  $CPE_{dl}$  değerleri düşerek kaplamanın korozyon direncini artırmıştır. TiC partiküllerinin  $H_2O$  ve  $Cl^-$  gibi korozif ortamlara karşı fiziksel bir bariyer görevi gördüğü ve korozyona yatkın aktif alanı azaltabileceği sonucuna varılmıştır [65]. Öte yandan Ni (W) matrisinde TiC'nin varlığı, matrisin çözünmesini ve korozif ortamın yayılmasını engelleyerek daha homojen ve yoğun bir kaplama oluşumuna sebep oldu. Bu sonuçlar, elde edilen Tafel eğrisinin sonuçlarıyla iyi bir uyum içindedir.

### 8.1. Sonuçlar

Özetle, darbeli elektrodpozisyon yöntemini kullanarak Ni-W-TiC kaplamalarını başarıyla ürettik ve tribolojisini, nano sertliğini, çözeltideki çeşitli TiC konsantrasyonları altında korozyon özelliklerini araştırdık. XRD sonuçlarının hesaplanması, TiC'in Ni (W) matrisine dahil edilmesinin, TiC'in varlığından dolayı Ni (W) matrisinde örgü bozulmasına neden olan mikro gerilimle sonuçlanacağını elde ettik. Öte yandan kaplamaların aşınma direnci  $H/E$  ve  $H^3/E^2$  oranları ile hesaplanabilmektedir. Böylece kompozitlerin aşınma direnci mekanik özelliklerden

önemli ölçüde etkilenir. Yukarıdaki analize dayanarak, en düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerleri,  $H^3/E^2$  ve  $H/E$  oranlarının en yüksek değerlerinde elde edilmiştir. Açıkça ki, Ni (W) matrisine TiC partiküllerinin eklenmesi, Ni-W-TiC kaplamanın mekanik, tribolojik ve elektrokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynadı. Kaplamaların korozyon ve tribolojik özellikleri, banyoda artan TiC konsantrasyonları ile belli bir noktaya kadar kademeli olarak artmıştır ve en iyi sonuçlar 15 g/L TiC konsantrasyonunda elde edilmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] Abdel, A.A., Hassan, H. B., Electrodeposited nanocomposite coatings for fuel cell application, *Journal of Alloys and Compounds*, 2009;477:652- 656.
- [2] Akbulut, H., Alp, A., Güler, O, M., Akımlı, akımsız, pulse ve elektrokompozit kaplama uygulamaları – Deney no 9,2013.
- [3] Gyftou, P., Stroumboluli, M., Pavlatou, E. A., Asimidis, P., Spyrellis, N., Tribological study of Ni matrix composite coatings containing nano and micro SiC particles, *Electrochimica Acta*, 2005;50:4544-4550.
- [4] Thiemig, D., Bund, A., Characterization of electrodeposited Ni–TiO<sub>2</sub> nanocomposite coatings, *Surface & Coatings Technology*, 2008;202: 2976-2984.
- [5] Nitin P. Wasekar, S. Madhavi Latha, M. Ramakrishna, D.S. Rao, G. Sundararajan, *Materials and Design* 112 , Pulsed electrodeposition and mechanical properties of Ni-W/SiC nano-composite coatings, 2016; 140–150.
- [6] Pompei, E., Magagnina, L., Lecis N., Cavallotti, P.L., Electrodeposition of nickel–BN composite coatings, *Electrochimica Acta*, 2009;54: 2571–2574.
- [7] Aghaie, E., Najafi, A., Maleki-Ghaleh, H., Mohebi, H., Effect of SiC concentration in electrolyte on Ni–SiC composite coating properties, *Surface Engineering*, 2013;29:3,177-182.
- [8] Ahmadkhaniha, D., Eriksson, F., Leisner, P., Zanella, C., Effect of SiC particle size and heat-treatment on microhardness and corrosion resistance of NiP electrodeposited coatings, (English)In: *Journal of Alloys and Compounds*, ISSN 0925-8388,E-ISSN 1873-4669,2018;769:1080-1087.
- [9] Gyawali, G., Tripathi, K., Joshi, B., Lee, W.S., Mechanical and tribological properties of Ni-W-TiB<sub>2</sub> composite coatings, *Journal of Alloys and Compounds*, 2017; 721,757-763.
- [10] Aal, A., Zaki, I.Z., Hamid, A.Z., Novel composite coatings containing (TiC–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) powder, *Materials Science and Engineering A* 44,87–94,2007.
- [11] Pompei, E., Magagnina, L., Lecis, N., Cavallotti, L.P., Electrodeposition of nickel–BN composite coatings, *Electrochimica Acta* 54 (9): 2571–2574,2009.

- [12] He, T., He, Y., Li, H., Su, Z., Fan, Y., He, Z., Fabrication of Ni-W-B<sub>4</sub>C composite coatings and evaluation of its microhardness and corrosion resistance properties, *Ceramics International* 44(8):9188-9193,2018.
- [13] Gyawali, G., Lee, W.S., Effect of SiC and h/BN codeposition on microstructural and tribological properties of Ni-SiC-h/BN composite coatings, *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 16, No. 2, pp. 213~217,2015.
- [14] Yari, S., Dehghanian, C., Deposition and characterization of nanocrystalline and amorphous Ni-W coatings with embedded alumina nanoparticles, *Ceramics International* 39(7) :7759-7766,2013.
- [15] Shreeram, D.D., Li, S., Bedekar, A.V., Cong, H., Effect of reverse pulse time on electrodeposited Ni-W coatings, *Surface & Coatings Technology* 325: 386-396, 2017.
- [16] Alp, A., Elektrolitik Metal Kaplama Ders Notları, SAÜ Müh. Fak. Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., Bölüm 3.
- [17] Gezerman, O.A., Nikel Kaplama Banyolarının Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [18] Yılmaz, Ö., Yetiş, Ü., Karanfil, T., Sektörel Tehlikeli Atık Rehberleri, Metal Kaplama Sektörü, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013.
- [19] Evcin, A., Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Kaplama Teknikleri Ders Notları, 2006.
- [20] Saraç, S.A., Metal kaplama ve elektro kimyasal teknolojileri kitabı, Çağlayan kitabevi yayınları, 1995.
- [21] Alp, A., Kaplama Sistemi Ders Notları, Bölüm 4, SAÜ Müh. Fak. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- [22] Yılmaz, G., Elektrokimyasal Yöntemle Nikel-TiO<sub>2</sub> Kompozit Kaplama Üretimi ve Karakterizasyonu, İstanbul Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [23] Baykal, D., Pim Bağlantılı Kompozit Malzemelerde Gerilme Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Bitirme Projesi, İzmir, 2004.
- [24] Onat, A., Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya, 2015.

- [25] Şen, O., TiO<sub>2</sub> Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Manisa, 2005.
- [26] Gutowski, G.T., Advantages Composites Manufacturing, 1997.
- [27] Stroumbouli, M., Gyftou, P., Pavlatou, E. A., Spyrellis, N., Codeposition of ultrafine WC particles in Ni matrix composite electrocoatings, Surface & Coatings Technology, 2005;195: 325-332.
- [28] Gyftou, P., Stroumbouli, M., Pavlatou, E. A., Asimidis, P., Spyrellis, N., Tribological study of Ni matrix composite coatings containing nano and micro SiC particles, Electrochimica Acta, 50,4544-4550,2005.
- [29] Burzynska, L., Rudnik, E., Koza, A. J., Blaz, L., Szymanski, W., Electrodeposition and heat treatment of Nickel/silicon carbide composites, Surface & Coatings Technology, 2008;202: 2545-2556.
- [30] Wielage, B., Steinhäuser, S., Henker, A., Manufacture and Properties of Composite Coatings: An Introduction, Journal of Thermal Spray Technology, 8,512-516,1999.
- [31] Hovestad, A., Janssen, L. J. J., Electroplating of Metal Matrix Composites by Codeposition of Suspended Particles, Modern Aspects of Electrochemistry, B. E. Conway et al. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 6,475-526,2005.
- [32] Pavlatou, E. A., Stroumbouli, P., Gyftou, P., Spyrellis, N., Hardening effect induced by incorporation of SiC particles in Nickel electrodeposits, Journal of Applied Electrochemistry, 36,385-394,2006.
- [33] Alp, A., Akımlı-Akımsız, Pülse ve Elektrokompозit Kaplama Ders Notları, Bölüm-7, Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- [34] Hou, H.K., Ger, D.M., Wang, M.L., Ke, T.S., The wear behaviour of electro-codeposited Ni-SiC composites, Wear, 253,994-1003,2002.
- [35] Kuo, S., Chen, Y., Ger, M., Hwu, W., Nano-particles dispersion effect on Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coatings, Materials Chemistry and Physics, 86,5- 10,2004.
- [36] Lee, H-K., Lee, H-Y., Jeon, J-M., Codeposition of micro- and nano-sized SiC particles in the nickel matrix composite coatings obtained by electroplating, Surface & Coatings Technology, 2007;201: 4711-4717.

- [37] Lee, H-K., Lee, H-Y., Jeon, J-M., Electrolytic Deposition Behaviours of Ni-SiC Composite Coatings Containing Submicron-Sized SiC Particles, *Metals and Materials*, 2008;14: 599-605.
- [38] Low, C.T.J., Wills, R.G.A., Walsh, F.C., Electrodeposition of composite coatings containing nanoparticles in a metal deposit, *Surface & Coatings Technology*, 2006;201: 371-383.
- [39] Lee, W., Tang, S., Chung, K., Effects of direct current and pulse-plating on the co-deposition of nickel and nanometer diamond powder, *Surface and Coatings Technology*, 1999;120–121,607–611.
- [40] Zhang, X., Qin, J., Perasinjaroen, T., Aeksen, W., Das, K.M., Hao, R., Zhang, B., Wangyao, P., Boonyongmaneerat, Y., Limpanart, S., Ma, M., Liu, R., Preparation and hardness of pulse electrodeposited Ni-W-Diamond composite coatings, *Surface & Coatings Technology*, 2015;276,228-232.
- [41] Jinlong, L., Zhuqing, W., Tongxiang, L., et al. Effect of tungsten on microstructures of annealed electrodeposited Ni–W alloy and its corrosion resistance, *Surf Coat Technol.*, 2018;337: 516–524.
- [42] Sangeetha, S., Kalaignan, GP., Tribological and electrochemical corrosion behavior of Ni–W/BN (hexagonal) nano–composite coatings, *Ceram Int.*, 2015;41 (9):10415–10424.
- [43] Wang, Y., Zhou, Q., Li, K., Zhong, Q., Bui, B.Q., et al. Preparation of Ni–W–SiO<sub>2</sub> nanocomposite coating and evaluation of its hardness and corrosion resistance, *Ceram Int.*, 2015;41(1):79–84.
- [44] Carpenter, C.R., Shipway, P.H., Zhu, Y., The influence of CNT co–deposition on electrodeposit grain size and hardness. *Surf Coatings Technol [Internet].*, 2011;205 (21–22):5059–5063
- [45] Su, J., Li, Y., Duan, MG., et al. Investigation on particle strengthening effect in in–situ TiB<sub>2</sub>/2024 composite by nanoindentation test. *Mater Sci Eng A*. 2018;727: 29–37.
- [46] Uysal, M., Akbulut, H., Tokur, M., et al. Structural and sliding wear properties of Ag/Graphene/WC hybrid nanocomposites produced by electroless co–deposition. *J Alloys Compd.*, 2016;654:185-195.
- [47] He, Y., Wang, SC., Walsh, FC., et al. Self–lubricating Ni–P– MoS<sub>2</sub> composite coatings. *Surf Coat Technol.*, 2016;307:926–934
- [48] Zhang, Q., Qin, Z., Luo, Q., et al. Microstructure and nanoindentation behavior of Cu composites reinforced with graphene nanoplatelets by electroless co–deposition technique, *Sci Rep*. 2017;7(1):1–12.

- [49] Bahadormanesh, B., Dolati, A., The kinetics of Ni–Co/SiC composite coatings electrodeposition, *J Alloys Compd.*, 2010;504(2):514–518.
- [50] Alizadeh, M., Narouei, S., Properties of Ni–Ni<sub>3</sub>Si composite coatings prepared by electrodeposition and subsequent heat treatment, *J Alloys Compd.*, 2019;772:565–572.
- [51] Beltowska–Lehman, E., Bigos, A., Indyka, P., et al. Optimisation of the electrodeposition process of Ni– W/ZrO<sub>2</sub> nanocomposites, *J Electroanal Chem.*, 2018;813: 39–51.
- [52] Allahyarzadeh, MH., Aliofkhazraei, M., Rezvanian, AR., et al. Ni–W electrodeposited coatings: characterization, properties and applications. *Surf Coat Technol.*, 2016;307:978–1010.
- [53] Zhang, X., Qin, J., Das, MK., et al. Co–electrodeposition of hard Ni–W/diamond nanocomposite coatings, *Sci Rep.* 2016;6(1):1–11.
- [54] Wang, C., Shen, L., Qiu, M., et al. Characterizations of Ni– CeO<sub>2</sub> nanocomposite coating by interlaced jet electrodeposition, *J Alloys Compd.*, 2017;727:269–277.
- [55] Allahyarzadeh, M.H., Aliofkhazraei, M., Rouhaghdam, ARS., et al. Electrodeposition of Ni–W–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite coating with functionally graded microstructure. *J Alloys Compd.*, 2016;666:217–226.
- [56] Ghasemi, A., Penther, D., Kamrani, S., Microstructure and nanoindentation analysis of Mg–SiC nanocomposite powders synthesized by mechanical milling, *Mater Charact.*, 2018;142:137–143.
- [57] Alizadeh, M., Safaei, H., Characterization of Ni–Cu matrix, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced nano–composite coatings prepared by electrodeposition, *Appl Surf Sci.*, 2018;456:195–203.
- [58] Wang, L., Zhao, Y., Jiang, C., et al. Investigation on microstructure and properties of electrodeposited Ni–Ti– CeO<sub>2</sub> composite coating, *J Alloys Compd.*, 2018;754: 93–104.
- [59] Qi, S., Li, X., Zhang, Z., et al. Fabrication and characterisation of electro–brush plated nickel–graphene oxide nano–composite coatings, *Thin Solid Films.*, 2017;644:106–114.
- [60] Leyland, A., Matthews, A., On the significance of the H/E ratio in wear control: a nanocomposite coating approach to optimised tribological behaviour, *Wear*, 2000;246(1–2):1–11.

- [61] Algul, H., Tokur, M., Ozcan, S., et al. The effect of graphene content and sliding speed on the wear mechanism of nickel–graphene nanocomposites, *Appl Surf Sci.*, 2015;359:340–348.
- [62] Rupert, T.J., Cai, W., Schuh, C.A., Abrasive wear response of nanocrystalline Ni–W alloys across the Hall–Petch breakdown, *Wear*, 2013;298-299:120–126.
- [63] Singh, S., Sribalaji, M., Wasekar, N.P., et al. Microstructural, phase evolution and corrosion properties of silicon carbide reinforced pulse electrodeposited Nickel– Tungsten composite coatings, *Appl Surf Sci.*, 2016;364:264–272.
- [64] Fan, Y., He, Y., Luo, P., et al. Pulse Current Electrodeposition and Characterization of Ni–W–MWCNTs Nanocomposite Coatings, *J Electrochem Soc.*, 2015;162(7): D270–D274.
- [65] Fan, Y., He, Y., Luo, P., et al. Pulse Current Electrodeposition and Properties of Ni–W–GO Composite Coatings., *J Electrochem Soc.*, 2016;163(3): D68–D73.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Serhat DİLEK

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece        | Eğitim Birimi                                                                         | Mezuniyet Yılı |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Yüksek Lisans | Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü /<br>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği | Devam Ediyor   |
| Lisans        | Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi /<br>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği   | 2016           |
| Lise          | Gaziemir Nevvar-Salih İşgören Anadolu Lisesi                                          | 2012           |

### İŞ DENEYİMİ

| Yıl        | Yer                         | Görev            |
|------------|-----------------------------|------------------|
| 2020-Halen | Türk Standardları Enstitüsü | İnceleme Uzmanı  |
| 2018-2019  | Global Kalite               | Kalite Mühendisi |

### YABANCI DİL

İngilizce

### ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. Pulse electro co-deposition of submicron-sized TiC reinforced Ni-W coatings: tribological and corrosion properties

### HOBİLER

Kitap okumak, doğa sporları