17571

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI "ZAMAK-5" ALAŞIMININ ELEKTROLİZ YOLUYLA TEK ve ÇOK KATLI KAPLANMASINDA ÖNEMLİ PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

(METAL EĞİTİMİ)

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

Ramazan ÇITAK

Eylül 1991

T 17571

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Danışman

Dç.Dr. Rafet ARIKAN

Sınav Jürisi:

Başkan	:	Prof.Dr. Ertuğrul ATASOY
Üye	:	Prof.Dr. Melike KABASAKALOĞLU
Üye	:	Doç.Dr. Süleyman SARITAŞ
Üye	:	Doç.Dr. Rafet ARIKAN

Bu Tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Esaslarına Uygundur.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZ..... viii

ABSTRACT..... ix

TEŞEKKÜR..... x

ÇİZELGELER LİSTESİ..... xi

TABLOLAR LİSTESİ..... xii

ŞEKİLLER LİSTESİ..... xiii

GİRİŞ..... 1

BÖLÜM 1

ELEKTROLİZ YOLUYLA METALLERİN KAPLANMASI..... 5

1.1. Genel Prensipleri..... 5

1.2. Elektroliz İşlemi..... 6

1.2.1. Elektroliz İşleminin Kaplamacılıkta Kullanılması..... 7

1.3. Kaplanan Malzeme Miktarının Teorik Olarak Hesaplanması..... 9

1.3.1. Faraday Kanunları..... 9

1.3.2. Yüzey Alanı Belirli Bir Parçanın Üzerine Kaplanan Malzeme Miktarının Hesaplanması... 11

1.3.3. Kaplamanın Ortalama Kalınlığının Hesaplanması..... 11

1.4. Kaplama Öncesi İşlemler..... 12

1.4.1. Mekanik Temizleme..... 12

1.4.2. Elektropolisaj..... 14

Sayfa

1.4.3. Yağ Alım İşlemi..... 14

1.4.4. Elektrolitik Temizleme..... 15

1.4.5. Kimyasal Temizleme..... 15

1.5. Kaplamacılıkta Kullanılan Araç ve Gereçler..... 16

1.5.1. Doğru Akım Kaynağı..... 16

1.5.2. Anod-Katod Çubukları..... 16

1.5.3. Katod Elektrodu (Katod)..... 16

1.5.4. Anod Elektrodu (Anod)..... 17

1.5.5. Askılar..... 17

1.5.6. Isıtıcılar..... 18

1.5.7. Banyolar..... 18

1.6. Kaplamacılıkta Etkili Unsurlar..... 19

1.7. Kaplamanın Özellikleri..... 22

1.7.1. Kalınlık..... 22

1.7.2. Yapışkanlık..... 23

1.7.2.1. Yapışkanlık Test Metodları..... 23

1.7.3. Korozyon Direnci..... 28

1.7.4. Gözeneklilik..... 28

1.7.5. Görünüş..... 28

1.7.6. Mekanik Özellikler..... 29

1.7.7. Diğer Özellikler..... 29

1.8. Metallerin Bakırla Kaplanması..... 29

1.8.1. Bakır Kaplama Banyoları..... 30

1.8.2. Siyanürlü Bakır Banyolar..... 30

1.8.3. Siyanürlü Bakır Banyolarında Kimyasal Reaksiyon 31

Sayfa

1.8.4. Çinko ve Alaşımların Bakırla Kaplanması..... 31

1.8.5. Bakır Kaplama Banyolarında Anodlar..... 32

1.9. Metallerin Nikelle Kaplanması..... 32

1.9.1. Nikel Kaplama Banyoları..... 32

1.9.2. Nikel Kaplama Banyolarında Anodlar..... 33

1.9.3. Nikel Kaplama Banyolarında Reaksiyon..... 33

BÖLÜM 2

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLAR..... 34

2.1. Çinko-Alüminyum Alaşımları..... 34

2.2. Çinko-Alüminyum İkili Sistemi..... 34

2.3. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri..... 35

2.3.1. Kimyasal Bileşimleri..... 35

2.3.2. Mekanik ve Fiziksel Özellikleri..... 36

2.4. Kullanıldığı Yerler..... 37

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... 39

3.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması..... 39

3.2. Mekanik Temizleme..... 39

3.3. Kir ve Yağdan Temizleme..... 40

3.4. Tartma..... 40

3.5. Elektrolitik Olarak Yağ Alımı ve Kullanılan Banyo... 40

3.6. Asite Daldırma ve Daldırma Kabı..... 41

3.7. Ön Çalışma..... 41

3.7.1. Ön Çalışma Sonucu..... 42

3.8. Bakır Kaplama..... 44

3.9. Nötürleme (Asite Daldırma)..... 44

Sayfa

3.10. Kurutma ve Tartma..... 45

3.11. Bakır Kaplamada Kullanılan Parametreler..... 45

3.11.1. Akım Yoğunluğu..... 45

3.11.2. Sıcaklık..... 48

3.11.3. Kaplama Süresi..... 50

3.11.4. Banyo PH'ı..... 51

3.11.5. Banyo Bileşimi..... 53

3.11.6. Çekme Numunelerinin Kaplanması..... 55

3.11.7. Hareketli Banyoda Bakır Kaplama..... 56

3.12. Nikel Kaplama..... 56

3.12.1. Nikel Öncesi Bakır Ağırlığının Tespiti..... 57

3.13. Nikel Kaplama Parametreleri..... 58

3.13.1. Akım Yoğunluğu..... 58

3.13.2. Sıcaklık..... 61

3.13.3. Kaplama Süresi..... 62

3.13.4. Banyo PH'ı..... 63

3.13.5. Bileşim..... 65

3.13.6. Çekme Numunelerinin Kaplanması..... 67

3.13.7. Hareketli Banyoda Nikel Kaplama..... 69

3.14. Yapışkanlık Deneyleri..... 69

3.14.1. Parlatma Metodu..... 69

3.14.2. Eğe Metodu..... 69

3.14.3. Kesme Metodu..... 70

3.14.4. Çizme ve Kareleme Metodu..... 71

3.14.5. Eğme Metodu..... 72

3.14.6. Çekme Metodu..... 73

3.14.7. Termal Şok Metodu..... 74

Sayfa

3.14.8. Çökertme Metodu..... 74

3.14.9. Mikroskopla Kesit ve Yüzey İncelemesi..... 75

3.15. Kaplama İşlemi ve Deneylerde Kullanılan Alet ve Teçhizatlar..... 87

3.15.1. Doğru Akım Kaynağı (Redresör)..... 87

3.15.2. Isıtıcı..... 87

3.15.3. Termostat ve Termometre..... 88

3.15.4. PH Kağıdı..... 88

3.15.5. Elektronik Terazi..... 88

3.15.6. Çekme ve Basma Cihazı..... 88

BÖLÜM 4

TARTIŞMA ve SONUÇ..... 89

4.1. Genel..... 89

4.2. Bakır Kaplama..... 89

4.2.1. Akım Yoğunluğu..... 89

4.2.2. Sıcaklık..... 90

4.2.3. Süre..... 90

4.2.4. Banyo PH'ı..... 90

4.2.5. Banyo Bileşimi..... 90

4.2.6. Banyo Hareketinin Sonucu..... 91

4.2.7. Uygun Kaplama Parametreleri..... 91

4.3. Nikel Kaplama..... 92

4.3.1. Akım Yoğunluğu..... 92

4.3.2. Sıcaklık..... 92

4.3.3. Süre..... 92

4.3.4. Banyo PH'ı..... 93

Sayfa

4.3.5. Banyo Bileşimi..... 93

4.3.6. Banyo Hareketinin Sonucu..... 93

4.3.7. Uygun Kaplama Parametreleri..... 94

KAYNAKLAR..... 95

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI "ZAMAK-5" ALAŞIMININ ELEKTROLİZ YOLUYLA TEK ve ÇOK KATLI KAPLANMASINDA ÖNEMLİ PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ramazan ÇITAK

Gazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Eylül-1991

ÖZ

Çinko-alüminyum alaşımları, son yıllarda, özellikle otomotiv endüstrisi olmak üzere bir çok alanda, yaygın olarak kullanılmaktadır. Pres döküm alaşımıda denen çinko-alüminyum esaslı "Zamak-5" alaşımı ile üretilen parçalar genellikle kaplanarak kullanılmaktadır. Türkiye'de bu alaşımların kaplanmaları yapılmakla beraber sıkça sorunlarla karşılaşılmaktadır. Çoğunlukla, çelik için kullanılan banyo şartlarında kaplama yapılmakta, bu da kaplama kalınlığı ve kalitesi açısından bir takım problemler çıkarmaktadır. Bu çalışmada "Zamak-5" alaşımının elektroliz yoluyla bakırla tekkat ve bakır-nikelle çok kat kaplanmasında, değişik kaplama şartlarının, kaplanan malzeme miktarı ve akım verimine etkisi incelenmiştir.

Ayrıca kaplamalara yapışkanlık deneyleri de uygulanarak Zamak-5 alaşımı için uygun kaplama şartları belirlenmeye çalışılmıştır.

INVESTIGATION OF IMPORTANT PARAMETERS IN THE MONO AND MULTI LAYER ELOCTROLYTIC COATING OF BASED ZINC-ALUMINUM "ZAMAK-5" ALLOY

(M.S. Thesis)

Ramazan ÇITAK

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

SEPTEMBER-1991

ABSTRACT

Recently, zinc-aluminum based alloys have being used widely in many areas especially in automotive industry. The equipment produced from pressure die casting zinc-aluminum alloy (Zamak-5) are usually used as coated. In Turkey, coating is applied to zamak-5 alloy in a similar way as used for steels. This causes some problems on coating thickness and quality. In this study, in the coating of zamak-5 alloy with copper mono layer and copper-nickel multi layer, the effects of different coating conditions on the amount of coated material, and current efficiency were investigated. Adhesion tests have also been applied and thus the best coating conditions for zamak-5 alloy have been determined.

T E Ş E K K Ü R

Tez konumun belirlenmesinde yardımcı olan Sayın Prof.Dr. Mustafa E. UYGUR ve bu çalışmada bana yön veren, yardımlarını esirgemeyen Sayın hocam Doç.Dr. Rafet ARIKAN'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarımızda yardımcı olan M.E.B. D.A.Y.M. Galvano atelyesi şefi Kimya Müh. Sayın Zafer ÇORLU ve ustabaşı Sayın Galip DEVECİOĞLU'na, çalışmamın her safhasında destek olan bölümümüzdeki hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ramazan ÇITAK

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

ÇİZELGE

1. Akım veriminin %100 olduğu kabul edilerek çeşitli metallerde 1 Ah'deki ayrışma miktarı..... 10
2. Çeşitli kaplama metalleri için uygulanan yapışkanlık metodları..... 24
3. Termal şok metodunda baz ve kaplama malzemesine göre uygulanacak sıcaklık değerleri..... 27
4. Çinko-alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimi..... 36
5. Çinko-alüminyum esaslı alaşımların mekanik ve kimyasal özellikleri..... 36

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

TABLO

1. Direk nikel kaplama parametreleri ve sonuçları..... 42
2. Değişik akım yoğunluklarında bakır kaplama parametreleri..... 45
3. Değişik sıcaklıklarda bakır kaplama parametreleri..... 48
4. Değişik sürelerde bakır kaplama parametreleri..... 50
5. Değişik PH'larda bakır kaplama parametreleri..... 51
6. Değişik NaCN konsantrasyonlarında bakır kaplama parametreleri..... 53
7. Çekme numunelerine uygulanan değerler..... 55
8. Hareketli banyoda bakır kaplama değerleri..... 56
9. Nikel kaplama öncesi bakır kaplama ağırlığının tespiti için kaplanan numuneler..... 57
10. Değişik akım yoğunluklarında nikel kaplama parametreleri..... 58
11. Değişik sıcaklıklarda nikel kaplama parametreleri..... 61
12. Değişik sürelerde nikel kaplama parametreleri..... 62
13. Değişik PH'larda nikel kaplama parametreleri..... 64
14. Değişik $NiSO_4$ konsantrasyonlarında nikel kaplama parametreleri..... 66
15. Çekme numunelerine uygulanan değerler..... 68
16. Hareketli banyoda nikel kaplama değerleri..... 69

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

ŞEKİL

1. Bir elektroliz devresi ve elemanları..... 5
2. Elektroliz işleminin kaplamacılıkta kullanılması..... 7
3. Asitli bakır banyosunda anod ve katod reaksiyonu..... 8
4. Çinko-alüminyum ikili faz denge diyagramı..... 35
5. Deneylerde kullanılan numunelerin şekil ve boyutları.... 39
6. Kaplama Düzeneği..... 41
7. Direk nikel kaplanmış numunelerde kalkan kaplamalar.. 43
8. Direk nikel kaplanmış numunelerin mikroskup altındaki görünüşü..... 43
9. Bakır kaplama banyosu..... 44
10. Bakır kaplamada uygulanan akım yoğunluğunun kaplanan malzeme miktarına etkisi..... 46
11. Bakır kaplamada, akım yoğunluğunun akım verimine etkisi..... 46
12. Banyo sıcaklığının kaplamanan malzeme miktarına etkisi 49
13. Banyo sıcaklığının akım verimine etkisi..... 49
14. Kaplama süresinin kaplanan malzeme miktarına etkisi... 50
15. Kaplama süresinin akım verimine etkisi..... 51
16. Banyo PH'nın kaplanan malzeme miktarına etkisi..... 52
17. Banyo PH'nın akım verimine etkisi..... 52
18. NaCN konsantrasyonunun kaplanan malzeme miktarına etkisi..... 54

Sayfa

19. NaCN konsantrasyonunun akım verimine etkisi..... 54
20. Nikel kaplama banyosu..... 57
21. Akım yoğunluğunun kaplanan malzeme miktarına etkisi.. 59
22. Akım yoğunluğunun akım verimine etkisi..... 59
23. Banyo sıcaklığının kaplanan malzeme miktarına etkisi... 60
24. Banyo sıcaklığının akım verimine etkisi..... 60
25. Kaplama süresinin kaplama malzeme miktarına etkisi.... 62
26. Kaplama süresinin akım verimine etkisi..... 63
27. Banyo PH'nın kaplanan malzeme miktarına etkisi..... 64
28. Banyo PH'nın akım verimine etkisi..... 65
29. $NiSO_4$ konsantrasyonun kaplanan malzeme miktarına etkisi..... 66
30. $NiSO_4$ konsantrasyonun akım verimine etkisi..... 67
31. Eğeleme sonucunda kalkan kaplama..... 70
32. Kesme sonucunda kalkan kaplama..... 71
33. Çizme ve kareleme deneyi sonucu kabarmış ve kalkmış bakır kaplama..... 71
34. Çİzme ve kareleme deneyi sonucu kabarmış ve kalkmış nikel kaplama..... 72
35. Eğme deneyi sonucu kabarmış bakır kaplama..... 72
36. Eğme Deneyi sonucu Kalkmış Nikel Kaplama..... 73
37. Çekme Deneyi Sonucu Kabarmış Bakır Kaplama..... 73
38. Çekme Deneyi Sonucu Kalkmış Nikel Kaplama..... 74
39. Çökertme Deneyi sonucu Kabarmış Bakır Kaplama..... 74
40. Çökertme Deneyi Sonucu Kabarmış Nikel Kaplama..... 75
41. Hareketsiz kaplamada kaplamanın köşelerde yığılışı..... 75
42. Pres Döküm "Zamak-5"'in Mikroyapısı..... 76

Sayfa

43. Serbest Döküm "Zamak-5"'in Mikroyapısı..... 76
44. 1.5 A/dm^2 Akım Altında 30 dk Süreyle Bakır Kaplama... 77
45. 0.5 A/dm^2 Akım Altında 60 dk Süreyle Bakır Kaplama... 77
46. 0.5 A/dm^2 Akım Altında 30 dk Süreyle Bakır Kaplama.... 78
47. 0.5 A/dm^2 Akım Altında 30 dk Süreyle Bakır Kaplama... 78
48.0.5 A/dm^2 Akım Altında 15 dk Süreyle Bakır Kaplama.... 79
49. 0.25 A/dm^2 Akım Altında 30 dk Süreyle Bakır Kaplama... 79
50. 0.5 A/dm^2 Akım Altında 30 dk Süreyle Bakır Kaplama... 80
51. 0.5 A/dm^2 Akım Altında 30 dk Süreyle Bakır Kaplama... 80
52. 0.5 A/dm^2 Akım Altında 30 dk Süreyle Bakır Kaplama... 81
53. 0.25 A/dm^2 Akım Altında 30 dk Süreyle Bakır Kaplama... 81
54. 6 A/dm^2 Akım Altında 20 dk Süreyle Ni Kaplama..... 82
55. 4 A/dm^2 Akım Altında 20 dk Süreyle Ni Kaplama..... 82
56. 4 A/dm^2 Akım Altında 20 dk Süreyle Ni Kaplama..... 83
57. 4 A/dm^2 Akım Altında 60 dk Süreyle Ni Kaplama..... 83
58. 8 A/dm^2 Akım Altında 20 dk Süreyle Ni Kaplama..... 84
59. 6 A/dm^2 Akım Altında 20 dk Süreyle Ni Kaplama..... 84
60. 4 A/dm^2 Akım Altında 20 dk Süreyle Ni Kaplama..... 85
61. 4 A/dm^2 Akım Altında 20 dk Süreyle Ni Kaplama..... 85
62. 4 A/dm^2 Akım Altında 20 dk Süreyle Ni Kaplama..... 86
63. 4 A/dm^2 Akım Altında 20 dk Süreyle Ni Kaplama..... 86
64. 1 A/dm^2 Akım Altında 20 dk Süreyle Ni Kaplama..... 87

GİRİŞ

Metallerin, içindeki bulundukları ortamla reaksiyona girerek yüzeylerinde bozulma ve parçalanma meydana gelmesine korozyon denmektedir.

Metallerin korozyonu sebebi ile her yıl ülkelerin kayıpları gayrisafi milli gelirlerinin %3.5-5'i arasındadır (1). Ülkemizde kaybın bu aralığın üst basamaklarında (%4.5) olduğu tahmin edilmektedir (2).

Bu denli büyük kayıplara neden olan korozyonun önlenmesi için bir çok metod kullanılmakta ayrıca daha etkili koruma metodları geliştirmek için araştırmalar devam etmektedir. Mevcut koruma metodlarından en önemlilerinden birisi, korunacak metalin yüzeyini, bulunduğu ortama karşı daha dayanıklı bir maddeyle, örtmektir.

Metaller, boyanarak, laklanarak veya çeşitli maddelerle kaplanarak, bulundukları ortama karşı örtülebilir. İnsanlar metalleri uzun yıllardan beri güzel görünmelerini sağlamak ve korozyondan korumak için boyamaktadırlar. Fakat boya ve verniklerin mekanik etkilere karşı mukavemetli olmamaları bilim adamlarına metalleri daha dayanıklı metallerle örtme fikrini vermiştir.

Metaller, bu gün birçok yöntem kullanılarak başka bir metalle kaplanmaktadır. Bunları şöyle sıralamak mümkündür.

1. Sıcak daldırma
2. Yayınma ile kaplama

3. Vakum altında kaplama

4. Sıcak püskürtme

5. İyon kaplama

6. Kimyasal indirgeme ile kaplama (Akımsız kaplama)

7. Elektro kaplama (Elektroliz yoluyla kaplama)

18. asırda elektriğin bulunması ve uygulanması, metallerin değerli metallerle bu yolla kaplanması fikrini geliştirmiş, 1805 yılında İtalyan Brugnatalli elektrik kaynağı olarak kullandığı akümülatör yardımıyla altın kaplamayı başarmıştır. 1840 yılında İngiliz Wright'in altın ve gümüş kaplamada siyanürlü banyoları bulması elektrokaplamanın gelişmesini sağlamıştır (3).

Metalik kaplamalarla korunmada iki temel ilke vardır. Birincisinde, kaplanan metal korozyona karşı dayanıklı bir metalle kaplanır. Korozyona karşı dayanıklı, kaplama metali, kolaylıkla reaksiyona girmeyerek kaplanan metali korumaktadır. Bu tür kaplamalarda gözeneklilik, kaplama yapışkanlığı ve hataları çok önemlidir. Kaplamada mevcut geçirgen gözenekler, kaplama hataları ve zamanla kalkan ve çatlayan kaplamalar, katod-anod ilişkisinden dolayı korozyon açısından tehlikeli olmaktadır. Bu tür kaplamalara katodik kaplamalar denmektedir. İkincisinde ise kaplanan metal kendisinden daha aktif bir metalle kaplanır. Kaplama malzemesi seçimli olarak korozyona uğrayarak alt metali korur. Bu tür kaplamalarda özellikle gözenekler ve çatlaklar istenir. Böyle kaplamalara anodik kaplamalar denir (4).

Metalik kaplamalar korozyondan korunmak amacıyla geliştirilmiş olmalarına karşın bu gün çok değişik amaçlar için yapılmaktadır. Bunların başlıcaları şunlardır (5).

1. Korozyona karşı korumak
2. Dekoratif bir görünüş elde etmek
3. Aşınma ve sürtünme mukavemetini artırmak
4. Yüzeyde sert bir tabaka elde etmek
5. Yüzey pürüzlülüğünü azaltmak
6. Elektrik iletkenliğini artırmak
7. Lehimlenebilirliği artırmak
8. Çeşitli işlemlerde bazı bölgeleri korumak

Kaplamanın, yukarıda izah edilen prensiplere göre, bir takım özellikler göstermesi gerekir. Bunların başlıcaları korozyon direnci, kalınlık, yapışkanlık, gözeneklilik, mekanik özellikleri, görünüş vb. özelliklerdir. Bir çok nedene bağlı olarak değişebilen bu özellikler, kaplamadan istenen verimin alınabilmesi için mutlaka gözönünde bulundurulması gerekli, bir takım deneylerle ölçülebilen özelliklerdir. Kaplanacak metal, kaplama metali, akım yoğunluğu, banyo sıcaklığı, PH'ı ve bileşimi bu özellikler üzerinde etkili unsurlardır.

Türkiye'de çelik, bakır ve alaşımları, aliminyum ve alaşımları çok iyi kalitede kaplanmalarına rağmen çinko-alüminyum alaşımlarının kaplanmasında bazı güçlüklerle karşılaşılmaktadır. Ülkemizde, bu alaşımlar genellikle diğer metallerin kaplanmasında kullanılan banyolarda kaplanmaktadır. Fakat aynı kalitede kaplama elde edilememektedir. Bunun nedeni aynı özellikte bir banyo değişik metallerin kaplanmasında farklı etkiler göstermektedir. Bu nedenle her metalin en uygun kaplama şartları tespit edilmeli ve bu şartlarda kaplama yapılmalıdır. Bu yapıldığı takdirde kaplamada optimum verimi almak mümkündür.

Bu tez çalışmasında çinko-alüminyum esaslı, "Zamak-5" ticari isimli pres döküm alaşımlarının değişik kaplama şartları incelenmiş bu şartlarda kaplanan malzeme miktarları ve akım verimi oranları tespit edilmiştir. Görünüş ve yapışkanlık kalitesi açısından en uygun kaplama şartlarının belirlenmesine çalışılmıştır.

BÖLÜM 1

ELEKTROLİZ YOLUYLA METALLERİN KAPLANMASI

1.1. Genel Prensipleri

Elektrokaplama metalik veya iletken yüzeylerin metalle kaplanmaları işlemidir. Bu işlemde kullanılan elektrokimyasal terimler şunlardır.

Elektrod: Elektroliz kabında (+) ve (-) kutuplara asılan ve akım geçiren elemanlardır (Şekil 1).

Anod : Doğru akımın pozitif (+) kutbuna denir

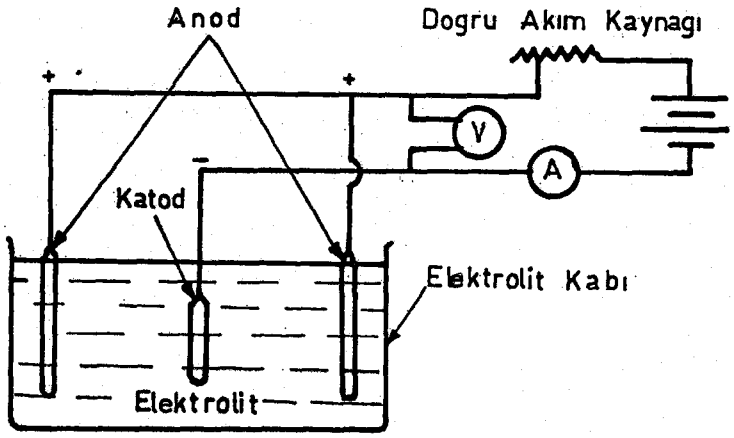
Anyon : Anoda giden ve (-) negatif yüklü iyonlara denir.

Katod : Doğru akımın negatif (-) kutbuna denir.

Katyon : Katoda giden ve (+) pozitif yüklü iyonlara denir

İyon : Bir veya daha fazla elektron almış veya vermiş, negatif veya pozitif yüklü atom veya atom grubudur.

Elektrolit: Akım geçirebilen sıvıya denir. Asitli, bazlı veya tuzlu sıvılar iyi birer elektrolittir (5).



Şekil 1. Bir elektroliz devresi ve elemanları

1.2. Elektroliz İşlemi

Elektroliz aşağıdaki örnekle açıklanabilir.

Bir kab içerisindeki suya sodyumklorür (NaCl) ilave edilirse aşağıdaki kimyasal reaksiyonlar meydana gelir.

Sodyumklorürün sulu çözeltisinde Na^+ ve Cl iyonları bulunur.

$$NaCl \longrightarrow Na^+ + Cl^-$$

Suda hidrojen ve hidroksil iyonları arasında aşağıdaki denge vardır.

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

Bu elektrolite iki elektrod asılır ve doğru akım uygulanırsa: Şekil 2.

Klor ve hidroksil iyonları (-) yüklü olduklarından anot tarafından çekilirler ve klor iyonu bir elektron vererek klor elementine dönüşür.

$$Cl^- - e \longrightarrow Cl$$

$$Cl^- - e \longrightarrow \frac{1}{2} Cl_2$$

Bu durumda anoddan klor gazı çıkar

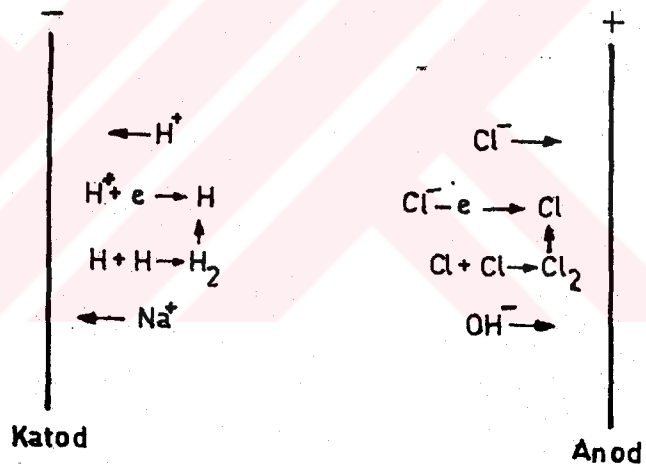
(+) yüklü hidrojen ve sodyum iyonları katoda göç ederler. Hidrojen iyonu bir elektron olarak hidrojen elementine dönüşür.

$$H^+ + e \longrightarrow \frac{1}{2} H_2$$

Eğer reaksiyon devam ederse iki hidrojen elementi birleşerek hidrojen gazını oluşturur ve katodda hidrojen gazının çıktığı görülür.

Sıvı içinde kalan sodyum ve hidroksil iyonları sodyumhidroksit (NaOH) meydana getirirler.

$$Na^{+} + OH^{-} \longrightarrow NaOH$$



Şekil 2. NaCl içeren bir elektrolitde elektroliz işlemi

1.2.1. Elektroliz İşleminin Kaplamacılıkta Kullanılması

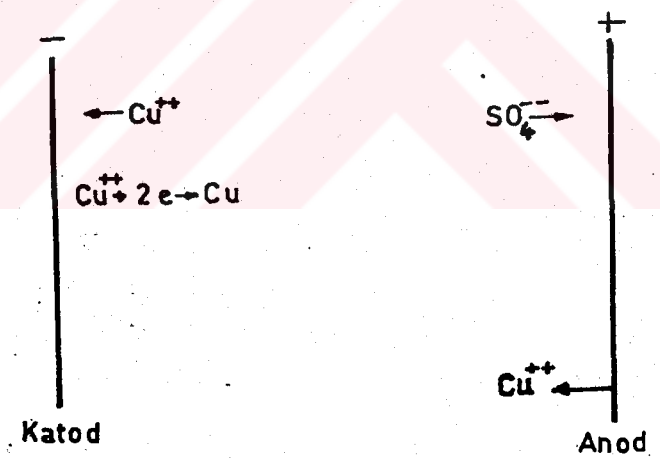
Yukarıdaki sodyumklorür yerine bakırsülfat ($CuSO_4$) konur, anot olarak bakır elektrod, katod olarak da yüzeyi

temizlenmiş çelik bir elektrod asılırsa (Şekil 3) aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelir.

Cu^{+2} iyonları katod tarafından çekilir ve iki elektron alarak bakır metaline dönüşür.

$$Cu^{+2} + 2e \longrightarrow Cu$$

Bu reaksiyon devam ettiği sürece çelik yüzeyinde bakır metali toplanacaktır.



Şekil 3. Asitli bakır banyosunda anod ve katod reaksiyonu

1.3. Kaplanan Malzeme Miktarının Teorik Olarak Hesaplanması

1.3.1. Faraday Kanunları

Elektroliz olayının temellerini araştıran Faraday elektro ayrışmaya adapte edilen önemli iki prensip ortaya koydu (5).

Bunlar;

a) Elektroliz esnasında elektrodlarda serest halde ayrılan ya da çözünen madde miktarı elektrolitten geçen akım miktarı ile doğru orantılıdır.

b) Çeşitli elektrolitlerden aynı miktar elektrik akımı geçmesi ile elektrodlarda ayrılan ya da çözünen madde miktarı bu maddelerin elektrokimyasal eşdeğerliği ile orantılıdır.

Bu prensipler şu formülle ifade edilir.

$$W = \frac{It \times G}{zF}$$

Burada;

W= Ayrışan metal miktarı (gr)

It= Akım x zaman (Asn)

G= Atom ağırlığı (gr)

z= Ayrışan valans elektron sayısı

F= Faraday sabiti 96500 (kulon)

-Yukarıdaki açıklamaya göre bakır metalinin ayrışmasının incelenmesi

Bakırın Atom Ağırlığı: 63.54, değerliği 2 dir.

1 Amperlik akım saniyede

$$W = \frac{ItxG}{zF} = \frac{1x63.50}{2x96500} = 0.00032 \text{ gr/Asn}$$ bakır ayrılır.

Bu miktar 1 Ah te:

$$W = \frac{G x 3600}{2 x 96500} = 1.185 \text{ gr/Ah}$$

Bu tür hesaplama akım veriminin %100 olduğu varsayılarak yapılır. Ancak akım verimi, birçok şarta bağlı olarak, daima %100'ün altındadır. Çıkan sonuç akım verimi ile çarpılarak teorik hesaplama sonuçlandırılır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında bazı metallerin 1 Ah deki ayrışma miktarları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Akım veriminin %100 olduğu kabul edilerek çeşitli metallerde 1 Ah'deki ayrışma miktarı (6).

Metal	Atom ağr.	Valans Say.	Kimyasal eş değr.	Ah deki Ayrışan Mik
Kadmiyum	112.40	2	56.20	2.10
Krom	52.00	6	8.67	0.323
Krom	52.00	3	17.33	0.646
Krom	52.00	2	26.20	0.970
Kobalt	58.93	2	29.47	1.10
Bakır	63.54	1	63.54	2.37
Bakır	63.54	2	31.77	1.19
Altın	196.97	1	196.97	7.36
Altın	196.97	3	65.7	2.45
Demir	55.85	2	27.92	1.04
Demir	55.85	3	18.61	0.695
Kurşun	207.19	2	103.06	3.865
Kurşun	207.19	4	51.8	1.932
Nikel	58.71	2	29.35	1.095
Platin	195.09	2	97.5	3.642
Platin	195.09	4	48.80	1.821
Gümüş	107.37	1	107.87	4.025
Kalay	118.69	2	59.35	2.214
Kalay	118.69	4	29.70	1.107
Çinko	65.37	2	32.67	1.22

1.3.2. Yüzey Alanı Belirli Bir Parçanın Üzerine Kaplanan Malzeme Miktarının Hesaplanması

Yüzey alanı belirli bir parçanın üzerine kaplanan malzeme miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$W_t = W.S.I.t$$

Burada;

W_t = Kaplanan toplam malzeme miktarı (gr)

W = 1 Ah deki ayrışan metal miktarı (gr)

S = Yüzey alanı (dm^2)

I = Akım yoğunluğu (A/dm^2)

t = Kaplama süresi (h)

1.3.3. Kaplamanın Ortalama Kalınlığının Hesaplanması

Kaplama kalınlığı aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

Burada;

$$L = \frac{V}{S}$$

L = Kaplama kalınlığı (mm)

V = Kaplama hacmi (mm^3)

S = Kaplama alanı (mm^2)

$$V = \frac{Wt}{g}$$

Burada;

W_t = Kaplanan malzeme miktarı (gr)

g = Özgül Ağırlık (gr/cm^3)

1.4. Kaplama Öncesi İşlemler

Parçalar, dövme, talaş kaldırma ve dökme gibi işlemler ile şekillendirildikten sonra diğer yüzey bitirme işlemlerine tabii tutulurlar. Kaplamaların yapışkanlık ve diğer fiziksel özellikleri kaplanacak parça yüzeyi ile yakından ilgilidir. Bu yüzden kaplanacak parçaların kaplama işleminden önce bazı yüzey işlemlerinden geçmesi gerekmektedir. Bu işlemler sırasıyla;

1. Mekanik temizleme
2. Elektropolisaj
3. Yağ alım işlemi
4. Elektrolitik temizleme
5. Kimyasal temizleme

1.4.1. Mekanik Temizleme

Kaplanacak parça yüzeylerinin temiz ve pürüzlülüğünün az olması istenir. Bundan dolayı dövme, talaş kaldırma ve dökme gibi işlemlerle şekillendirilen parçaların yüzeylerindeki çapak, boşluk çizik gibi yüzey hataları mekanik işlemlerle giderilir ve yüzey parlatılır. Mekanik temizleme işlem sırası şöyledir.

-Kaba taşlama

-İnce taşlama

-Fırçalama

-Parlatma

- Kaba Taşlama

Kaba taşlama, parça yüzeyindeki çıkıntı, çapak, cûruf gibi yüzey hatalarını gidermek için normal zımpara taşları, bez

veya keçe üzerine emdirilmiş kaba zımpara taşları ile yapılır. Yüzey pürüzlülüğü çok fazladır.

- **İnce Taşlama**

Kaba taşlamadan sonra yüzey pürüzlülüğünü gidermek veya hassas parçaların bozulmasını önlemek için kaba taşlama yapılmadan, otomatik taşlama tezgahları, bez veya keçe üzerinde emdirilmiş ince zımpara taşları ile yapılır.

- **Fırçalama**

Parçaların yüzeylerindeki toz, kum kalıntısı vs. gidermek ve yüzey pürüzlülüğünü daha aza indirmek için fırçalama işlemi yapılır. Fırçalama çelik ve pirinç gibi tel veya deri ve bez fırçalarla yapılır. Fırçalar silindirik şekilde olup polisaj tezgahının bir tarafına bağlanarak yüksek devirle tatbik edilir.

- **Parlatma**

Parlatma işlemi birkaç şekilde yapılabilir. Bunlar, bez ve keçe ile kum püskürtme veya döner dolaplarla yapılır. Bez veya keçelerle yapılan parlatmalarda, çeşitli şekillerdeki bez veya keçe tekerlekler kullanılır. Bu tekerleklere çeşitli metallere göre parlatma pastaları sürülmek suretiyle parlatma işlemi yapılır.

Kum püskürtme metodunda genellikle döküm parçalar üzerine basınçlı hava ile kum püskürtülerek parlatılır. Bu parlatmada mat bir parlaklık elde edilir.

Döner dolaplarda küçük boyutlu parçalar ile çelik bilyalar ağaç talaşı kum ve keçe parçaları bir döner dolaba konarak ha-

reket ettirilir. Bu hareket sonucu parlatma işlemi yapılır.

1.4.2. Elektropolisaj

Rulman yatakları, saat parçaları, dişli çark gibi çok hassas parçaların, parlatma işlemleri sırasında ölçülerinde bir değişiklik olması istenmez. Veya çok hassas bir yüzey elde edilmek istenirse bu metod kullanılabilir. Özellikle paslanmaz çelik ve alüminyum parçalar bu yolla çok iyi parlatılabilir. Ayrıca, yukarıda bahsedilen mekanik temizleme işlemlerinden sonra yüzeyde kalan çok küçük hatalarda bu işlemle giderilebilir.

Elektropolisaj için genellikle fosforik asit ve sülfirik asit banyoları kullanılır. Demir alaşımları için ağırlıkça 50/50 oranda sülfirik asit/fosforik asit 55-105°C sıcaklık kullanılır. Bakır için 85/15 fosforik asit/sülfirik asit 45-60°C, pirinç için fosforik asit %5-7 kromik asitle birlikte kullanılır. Akım yoğunluğu 5-40 A/dm^2 zaman 2-7 dk. arasındadır (7).

1.4.3. Yağ Alım İşlemi

Mekanik işlem sonucunda hemen hemen bütün parçaların yüzeylerinde yağ, kir ve oksit tabakaları bulunur. Kaplama işleminden önce bu tabakaların mutlaka temizlenmesi gerekmektedir. Asitlerle oksit tabakasını giderme işleminden önce parçanın yüzeyindeki yağ ve kirlerin temizlenmesi gerekir. Bunun için gaz veya benzinle yıkama, trikloretilen, perkloretilen gibi organik çözücülere daldırma veya buharlarına tutma yapılır. Benzin ve gazla yıkama işleminde heran yangın tehlikesi vardır. Bu yüzden fazla kullanılmaz. Bu işlemlerden sonra elektrolitik yağ alım işlemi yapılır.

1.4.4. Elektrolitik Temizleme

Benzin veya trikoloretilen gibi maddelerle yağı alınan parçalar sabunlu suda yıkanarak veya yıkanmadan, elektrolitik olarak, kalan yağlardan temizlenir. Bazı metaller kısa bir süre katod ve anod olarak değiştirilirse iyi sonuç alınır. Aşağıdaki örnekde bir yağ alım banyosu bileşimi verilmiştir (3).

NaOH	60gr/lt.
$Na_2CO_3 10H_2O$	20gr/lt.
NaCN	20gr/lt.
Akım yoğ	8-10 A/dm^2
Sıcaklık	Oda
Zaman	30 sn.

Yukarıdaki banyoda parça katoda asılır ve anod olarak paslanmaz çelik bir parça kullanılır.

1.4.5. Kimyasal Temizleme (Piklaj)

Kaplamadan önceki son temizleme işlemidir. Parça yüzeyindeki oksit tabakalarının asit çözeltileri içerisinde çözünerek giderilmesiyle yapılır. Bu işleme dağlama, bakır ve alaşımları için ise sarartım da denmektedir. Dağlama süreleri, parça yüzeylerindeki korozyonu önlemek için çok iyi seçilmelidir. Çelik parçalar için %5-20'lik sülfirik asit, %5-25'lik tuz asidi veya %13-17 lik fosforik asit çözeltileri kullanılır. Çinko ve alaşımları için %2-5 lik sülfirik asit, %5-10 tuz asidi veya %1-2 lik florik asit çözeltileri kullanılır. Dağlama süresi 5-30 sn. arasındadır (6).

Bu işlemden önce ve sonra parçalar akar suda iyice yıkanmalıdır. Yıkama küvetlerinde, su devirdayım yapmalı, kirli su atılmalıdır.

1.5. Kaplamacılıkta Kullanılan Araç ve Gereçler

1.5.1. Doğru Akım Kaynağı

Kaplamacılıkta doğru akım kullanılmaktadır. Bunu bir dinamo veya redresör yardımıyla temin edebiliriz. Dinamolar sağlıklı olmadıkları için bugün artık kullanılmamaktadırlar. Redresörler üzerinde veya devre üzerinde devreden geçen akım şiddetini ve gerilimi ölçen ampermetre ve voltmetre bulunmalı ve bunlar sürekli kontrol altında bulundurulmalıdır. Doğru akım kaynağından temin edilen kontrollu akım anahtarlar yardımıyla istenen banyoya iletilir.

1.5.2. Anod-Katod Çubukları (Barlar)

Anod ve katod da elektrodların asıldığı, akımı iyi ileten, bakır pirinç gibi malzemelerden, yapılan yuvarlak, kare, lama kesitli çubuklardır. Çubuk bağlantılarının iyi yapılması ve zaman zaman oksitlerden temizlenmesi gerekir. Askıların da aynı şekilde akımı en iyi iletecek şekilde asılması gerekir. Hareketli banyolarda katod çubuğuna küçük devirli bir motor yardımıyla hareket verilir.

1.5.3. Katod

Katod çubuğuna kaplanacak malzeme asılır.

1.5.4. Anod

Bölüm 1.2.2. de anlatıldığı gibi kaplanacak parça elektrolitten iyon alacaktır. Böylece elektrolitteki iyon dengesi bozulabilir. Anotların kaplama maddesi ile aynı cins metalden olması halinde anodik çözünme dengeyi sağlar. Bundan dolayı anod elektrodları kaplama maddesi ile aynı cins maddeden olmalıdır. Mümkün olduğu kadar, saf veya elektrolitik malzemeden seçilen anodların yüzey alanı katodların yüzey alanına eşit veya büyük olmalıdır (6).

Anodlar haddeden çekilme veya döküm olarak yapılırlar. Uzun süreli çalışmalarda özellikle nikel kaplamalarda, anod yüzeyi ve elektrolitin kirlenmesini önlemek için anodlar ipek veya keten bezden yapılmış anot gömlekleri denen torbalar içine yerleştirilir.

1.5.5. Askılar

Askılar anod ve katodların çubuklara asılmasında kullanılan iletkenlerdir. Genellikle bakır veya alaşımlarından yapılan askıların anod için kullanılanları başka cins bir anoda bağlanması halinde banyo içinde kalan kısımları izole edilmelidir. Anod askıları anoda sabit veya sökülebilir şekilde vida vb. bir araçla tutturulabilir.

Katod askıları çok çeşitli olabilir. Kaplanacak parçaların durumuna göre şekillendirilir. Katod askılarının iyi bir iletkenlik sağlaması, kolay asılıp alınır olması, çalışılan elektrolite dayanıklı olması istenir.

1.5.6. Isıtıcılar

Isıtıcılar, banyoların istenen sıcaklığa kadar ısıtılmasında kullanılan elemanlardır. Kaplamacılıkta genellikle, asitli ve siyanürlü banyolara dayanıklı oldukları için, elektrikli seramik ısıtıcılar kullanılır. Bu ısıtıcılar termostatlı olarak istenilen sıcaklığa ayarlanabilir. Bunların yanında çeşitli metal ısıtıcılarda banyoların ısıtılmasında kullanılmaktadır.

Ayrıca sıcak sulu ve buharlı ısıtıcılarda kullanılmaktadır ki bunlar sıcaklık kontrolü açısından mahsurludur.

Banyo sıcaklıkları banyoya sabitleştirilmiş veya seyyar termometreler ile kontrol edilmelidir.

1.5.7. Banyolar

- Yıkama Banyoları

Bu banyolar, kaplamadan önce ve sonra parçaların yıkandığı soğuk veya sıcak su banyolarıdır. Tek veya birkaç kademeli olarak yapılır. Kademeli olanlardan su temizden kirliye doğru akar yıkama kademesi ise kirliden temize doğrudur. Plastik kaplanmış çelik veya sert plastik banyolar kullanılır.

-Kaplama Banyoları

Elektrolitler asitli veya bazlı olacaklarından banyolar bu çözeltilere dayanıklı olması istenir. Bu yüzden bu tür elektrolitlere dayanıklı, kurşun, P.V.C., sert kauçuk ve polyester gibi maddelerle kaplanmaları veya bunlardan imal edilmeleri gerekir. Banyolar genellikle çelik saclardan yapılarak bu maddelerle kaplanırlar.

-Nötürleme Banyoları

Bu banyolar asitli veya siyanürlü banyolarda kaplanan malzemelerin diğer bir banyoya alınacakları zaman üzerlerinde önceki banyonun kalıntılarının giderildiği banyolardır. Örnek olarak siyanürlü bakır banyosunda kaplanan bir parça nikel banyosuna alınmadan önce üzerindeki siyanür kalıntılarını gidermek veya nötürlemek için bir asit banyosuna daldırılır ve yıkanır. Aksi takdirde siyanür kalıntıları olan parça nikel banyosunun bileşimini ve PH'ını etkiler. bu da kaplama için zararlıdır. Nötürleme banyoları olarak yukarıda söylediğimiz malzemelerden asitli ortama dayanıklı malzemeden yapılmış banyolar kullanılır.

1.6. Kaplamacılıkta Etkili Unsurlar

- Akım Yoğunluğu

Kaplama sırasında uygulanacak akım yoğunluğu, kaplanan malzeme miktarı, akım verimi, kaplamanın görünüşü ve mekanik özellikleri üzerinde etkilidir. Her kaplama metali ve kaplanan metale göre akım yoğunluğunu ayarlamak gerekir.

- Elektrolit Bileşimi

Elektrolit içine katılacak, asit, baz ve tuzlar iyi ayarlanmalıdır. Bu maddelerin elektrolit içerisindeki miktarı kaplamanın kalınlığına, görünüşüne ve mekanik özelliklerine etki eder.

- Elektrolit PH'ı

Elektrolit içerisindeki maddelerin durumuna göre değişen bu değer kaplamacılıkta önemli bir faktördür. Çeşitli malzemelerin

aynı metalle kaplanmaları değişik PH'larda daha iyi sonuç verebilir. Banyo PH'ları da kaplama kalınlığı görünüşü ve kalitesi üzerinde etkili bir unsurdur. PH banyonun asitlik ve bazlık durumuna göre 0'dan 14'e kadar değişebilir. 1'den 6'ya kadar kuvvetliden zayıfa doğru asitli banyolardır. 7 saf suyun PH değeridir ve nötrdür. 8'den 14'e kadar zayıftan kuvvetliye doğru bazlık değerlerini gösterir. Asit ve bazlar birbirlerini nötürlerler. Banyo PH'ısık sık kontrol edilmeli bozulma anında gerekli malzeme ilavesi ile düzeltme yapılmalıdır.

- PH'in Ölçülmesi

Banyo PH'ı iki metodla ölçülebilir. Bunlardan biri Elektrometrik diğeri kolorimetrik metoddur (7).

- Elektrometrik Metod

Bu metodda, bir "karşılaştırma elektrodu" ile PH'ı ölçülecek çözeltiye daldırılan "daldırma elektrodu" arasındaki gizli güç farkının ölçülmesiyle PH değeri bulunur. Bu metodla çalışan elektronik PH ölçen (PH metre) cihazlar geliştirilmiş ve kullanılmaktadır.

- Kolorimetrik Metod

Bu metodda özel bir göstergenin, çözeltinin PH'ına göre renk değiştirmesiyle PH ölçümü yapılır. Rengini çözeltinin PH'ına göre değiştiren organik PH kağıtları mevcuttur. Bunlar daha önceden denenmek suretiyle hangi PH değerinde hangi rengi aldığı tespit edilmiş ve bu renkler PH değerleri de belirtilerek kağıt muhafaza kutusu üzerinde belirtilmiştir. Ölçüm, kağıttan bir par-

ça koparılarak banyo veya numune elektrolit içine daldırılıp aldığı renk kutu üzerindeki renkle karşılaştırma yapılarak, sağlanır.

- Sıcaklık

Banyo sıcaklığı da kaplamacılıkta önemli faktörlerden birisidir. Sıcaklık özellikle kaplama kalınlığı ve akım verimi, kaplama görünüşü üzerinde etkilidir. Banyo sıcaklığı belirli sıcaklıklarda sabit tutulmalı bunun içinde sık sık kontrol edilmelidir.

- Temizlik

Kaplamacılıkta elektrolitin zamanla istenmeyen maddelerle kirlenmesi sözkonusudur. Bunlar, anod çamuru, metal partükülleri ve tuz artıkları gibi maddelerdir. Bu maddelerin kaplamayı istenmeyen yönde etkilemeleri mümkündür (pürüzlülük, gözeneklilik vb) Elektrolidin bu maddelerden zaman zaman arındırılması gerekir. Bunun için elektrolit çeşitli süzücülerden geçirilerek istenmeyen maddeler ayırtedilebilir. Küçük banyolar süzgeç kağıdı veya süzgeç bezleriyle büyük banyolar ise elektrikle çalışan motorlu süzme pompalarıyla yapılabilir.

- Kaplama Süresi

Kaplama süresi, direk olarak kaplama kalınlığıyla ilgilidir. Kaplama süresi, istenen kaplama kalınlığına göre otomatik olarak veya elle kumanda ile ayarlanabilir.

- Havalandırma

Kaplamacılıkta çalışılan ortamın havalandırılması çalışanların sağlığı açısından son derece önemlidir. Çünkü temizleme ve

kaplama işlemleri sırasında hem metal tozları hem de zararlı gaz ve zehirli buhar çıkışı sözkonusudur. Havalandırılmayan böyle bir ortamda çalışma son derece tehlikelidir. Bu yüzden havalandırmanın çok iyi yapılması gerekir. Banyolarda buharlaşmanın önlenmesi için banyonun üstüne plastik yuvarlak bilyalar konabilir.

1.7. Kaplamanın Özellikleri

1.7.1. Kalınlık

Kaplamaların önemli özelliklerinden biridir. Kaplama banyosunun bileşimine PH'ına uygulanan akım yoğunluğu banyo sıcaklığı ve kaplama süresine bağlı olarak değişebilir. Kaplama kalınlığı kaplanan malzemenin çalışacağı ortama göre ayarlanmalıdır. Örneğin çok katlı banyolarda ilk kat kaplamanın ince olması uygundur. Korozif ortamla korozyona uğrayan kaplamanın daha kalın olması (krom altındaki nikel gibi) istenir.

- Kalınlık Ölçüm Metodları

Kaplama kalınlığının ölçümünde, tahribatlı, yarı tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere üç ana metod kullanılır (7).

a) Tahribatlı Kalınlık Ölçüm Metodu

Bu metodda, kaplanan parçanın bir bölümü genellikle kaplamaya dik olarak kesilir ve kesilen kısımdan kaplama kalınlığı mikroskop altında incelemek suretiyle kaplama kalınlığı tespit edilir. Bu şekilde hem kaplanan parça hem de kaplama tahrip edilmektedir. Bu metod zaman ve malzeme sarfiyatı açısından kullanışlı değildir. Ayrıca önceden inanıldığı kadar sağlıklı bir ölçüm metodu değildir.

b) Yarı Tahribatlı Kalınlık Ölçüm Metodları

Bu metodda genellikle kaplama malzemesinin bir bölümü tahrip edilerek ölçüm yapılmaktadır. Bu ölçümde "anodik çözünmeli kolorimetri yöntemi" (8) ve "Fizeau çok ışın demetli girişim yöntemi" (9) gibi yöntemler kullanılır.

c) Tahribatsız Kalınlık Ölçüm Metodları

Bu metodda kaplama kalınlığını ölçebilen aletler yardımıyla kaplama kalınlığı tesbit edilir. Kalınlık ölçümünde kullanılan aletler kaplama malzemesi ve kaplanan malzemenin değişik özelliklerinden (mağnetik, ultrasonik, iletkenlik, kristal yapısı gibi) faydalanarak ölçüm yaparlar ve bir ekran vasıtasıyla kalınlığı birim olarak verirler.

1.7.2. Yapışkanlık

Kaplama malzemesinin kaplanan malzemeye yapışkanlığı, kaplama kalınlığı kadar hatta daha da önemlidir. Yapışkanlık, kaplamanın kaplanan parça üzerinde çalışma şartlarında, soyulup dökülmemesidir. Yapışkanlık, kaplanacak malzemenin yüzey temizliği, kaplama banyosunun bileşimi, PH'ı, sıcaklığı ve uygulanan akım yoğunluğuna bağlı olarak değişebilir.

1.7.2.1. Yapışkanlık Test Metodları (10)

Kaplamanın kaplanan malzemeye yapışkanlığının kontrolunda bir çok metod kullanılmaktadır. Uygulanan yapışkanlık testleri ve uygulama alanları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çeşitli kaplama metalleri için uygulanan yapışkanlık Metodları (10)

Yapışkanlık test metodları \ Kaplama metali	Cd	Cr	Cu	Ni	Ni + Cr	Ag	Sn	Sn-Ni alaşım	Zn	Au
Parlatma	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Bilyalı Parlatma	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Soyulma (lehimleme)			X	X		X		X		
Soyulma(Yapıştırma reçine)	X		X	X		X	X	X	X	X
Eğe			X	X	X			X		
Keski		X		X	X	X		X		
Çizme-kareleme	X		X	X	X	X	X		X	X
Eğme-burma		X	X	X	X			X		
Taşlama-kesme		X		X	X			X		
Çekme	X		X	X	X	X	X	X	X	
Termal şok		X	X	X	X	X	X	X		
Çökertme		X	X	X	X	X	X	X		
Bilyalı püskürtme				X		X				
Katod Deneyi		X		X	X					

- **Parlatma Metodu**

Kaplanmış parçalar bölgesel olarak parlatıldığında kaplamada iç gerginlik oluşur ve ince kaplamalarda yapışkanlığın kötü olduğu bölgelerde kaplama kabarcıkları halinde baz metalden ayrılır.

Parçanın şekli ve büyüklüğü elverişli olduğu durumlarda kaplama yüzeyinin 6 cm^2 den büyük olmayan bir bölgesi yüzeyi düzgün bir alet ile yaklaşık 15 sn sürülür. Bu işlem için bir ucu düzgün yarım küre olan 6 mm çapında çelik çubuk kullanılır.

Basınç her sürtmede parlatma elde edecek kadar olmalı ancak kaplamayı kesecek kadar büyük olmamalıdır. Sürtünmeye devam

edildiğinde kabarcığın büyümesi yapışkanlığın kötü olduğunu gösterir. Kaplamanın mekanik özellikleri kötü ise kabarcıklar çatlayabilir ve kaplama baz metalden soyulur. Bu metodun kullanımı nispeten ince kaplamalar ile sınırlıdır.

- Eğe Metodu

Kaplanmış parçadan bir numune kesilir ve mengeneye bağlanır. Kaba dişli ve ters yönlü bir eğe ile kaplamayı kaldıracak şekilde eğelenir.

Eğe kaplanmış yüzey ile yaklaşık 45°'lik bir açı yapacak şekilde ve baz metalden kaplamaya doğru uygulanır. Kaplamada kalkma olmamalıdır.

- Taşlama ve Testere İle Kesme Metodu

Kaplama numunesinin bir kenarı, kesme doğrultusu baz metalden kaplamaya doğru olacak şekilde taşlanır. Yapışkanlık kötü ise kaplama baz metalden ayrılır.

Kesme, metal testeresi ile baz metalden kaplamaya doğru yapılır. Kesilen bölgelerde kalkma olmamalıdır.

- Çizme ve Kareleme Metodu

Bileme açısı 30° olan bir çelik çizecek kullanılarak 2 mm aralıklı iki paralel çizgi çizilir. Çizgi çizerken kaplamayı baz metale kadar kesecek şekilde bastırılmalıdır. Çizgiler arasındaki kaplamadan herhangi bir parça baz metalden kırılıp ayrıldığında kaplama yapışkanlığının yetersiz olduğu kabul edilir.

Kareleme metodunda, kenarı 1mm olan bir kare çizilir ve bu kare alanındaki kaplamanın baz metalden ayrılıp ayrılmadığına bakılır.

- Eğme Metodu

Bu metodda kaplanmış metal eğilir veya bükülür. Kaplamada oluşan bozukluğun derecesi ve şekli baz metale, şekle, kaplamanın durumuna ve kaplama kalınlıklarına göre değişir. Burada numune el veya pense ile önce bir tarafa, daha sonra diğer tarafa keskin şekilde eğilir. Eğme yarıçapı ve derecesinin kontrolü uygun bir cihazla yapılır. Eğme sonucu baz metalle kaplama arasında bir kesme gerilmesi oluşur. Kaplama sünek olduğunda, kaplamanın akması nedeniyle kesme kuvveti çok azalır ve kaplama ayrılmaksızın baz metalde kırılabilir. Gevrek olan kaplamanın çatlaması halinde deney, yapışkanlık hakkında bilgi verir. Kaplamanın soyulup soyulmadığını belirlemek için çatlak incelenmelidir.

Herhangi bir soyulma, pullanma veya küçük parçalar halinde kopma yapışkanlığın yetersiz olduğunu gösterir. Kaplanmış numune ile kaplama arasında içten dışa veya dıştan içe çarpılma olabilir. Bu durumda kaplamanın normal dış tabakası incelenir. Ancak, bazı durumlarda daha ayrıntılı bilgi numunenin iç kısmı incelenerek elde edilir.

- Çekme Metodu

Bu metod belirli bazı tipteki kaplanmış parçalara uygulanır. Parça kırılıncaya kadar gerilir. Normalde kırılma yerine yakın kısımlarda kaplama çatlakları görülür. Ancak, kaplama yapışkanlığının yeterli olduğu durumlarda baz metalden kaplamanın ayrıldığı görülmez.

1.7.2.1.7. Termal Şok Metodu

Birçok kaplamanın yapışkanlığı kaplanmış numunenin ısıtılıp sonra aniden soğutulması suretiyle belirlenebilir. Bu metodun dayandığı ilke, kaplama ile baz metal arasındaki genleşme katsayısı farkıdır.

Bundan dolayı, bu metod kaplamanın genleşme katsayısının baz metalinkinden önemli derecede farklı olduğunda uygulanır.

Bu metodda numune Çizelge 3'de verilen sıcaklıklarda yeterli bir süre fırında ısıtılır. Daha sonra numune oda sıcaklığındaki suda soğutulur. Yapışkanlık yeterli olduğunda kaplamada kabarcıklanma, pullanma ve soyulma görülmez.

Çizelge 3. Termal şok metodunda baz ve kaplama malzemesine göre uygulanacak sıcaklık değerleri

Kaplanan Malzeme	Krom, Nikel, Nikel+Krom, Bakır °C	Kalay °C	Kurşun Kurşun+Kalay °C	Çinko °C	Altın ve Gümüş °C
Çelik	250	150	150	150	250
Çinko Alaşımları	150	150	150	150	150
Bakır ve alaşımları	250	150	150	150	250
Alüminyum ve alaşımları	220	150	150	150	220

1.7.2.1.8. Çökertme Metodu

Erichsen ve Romanoff metodları kaplanmış metal için en genel kullanılan çökertme metodlarıdır. Bu metodlarda bir zımba vasıtasıyla kaplama ve baz metalde yarı küresel çukur veya flanşlı çukur şeklinde çökertme yapılır.

Erichsen metodunda 20 mm çapında küresel şekilli bir zımba 0.2 ila 6 mm/sn lik bir hızla uygun bir hidrolik cihaz kullanılarak istenilen derinliğe kadar numuneye bastırılır. Yapışkanlık yetersiz olduğunda kaplamalar bir kaç milimetrelik çökertmeden sonra baz metalden soyulur veya pul pul ayrılır. Yapışkanlık yeterli olduğunda zımba baz metali delip geçtiğinde bile kaplamada soyulma görülmez.

1.7.3. Korozyon Direnci

Kaplamaların, özellikle korozif ortamda bulunan ve aktif malzemelerin yüzey kaplamalarının korozyon direnci önemli bir özelliktir. Kaplamaların korozyon direnci "bakırla hızlandırılmış asetik asit tuz deneyi" (11) gibi metodlarla test edilebilir.

1.7.4. Gözeneklilik

Kaplamaların gözenekliliği, korozyon dirençlerine direk olarak etki ederler. Kaplamaların gözeneklilikleri alt metalin durumuna göre ayarlanabilir. Örneğin bakır+nikel+krom kaplamalarda kromun uzun süre dayanması için gözenekli olması bu sayede nikelin seçimli olarak korozyona uğraması sağlanır. Gözeneklilik banyo bileşimine, yüzey temizliğine bağlı olarak değişebilir.

1.7.5. Görünüş

Özellikle dekoratif amaçlı kaplamalarda görünüş önemlidir. Kaplamalar mat parlak veya yarı parlak olarak görünüşlerine göre sınıflandırılır. Parlaklık banyo bileşimine, sıcaklığına, PH'ına ve uygulanan akım yoğunluğuna göre değişebilir.

1.7.6. Mekanik Özellikler

Birçok uygulamada kaplamanın mekanik özellikleri öncelikli önem taşımazlar. Ancak uygulamalarda mekanik özelliklerden bir kısmı önem taşır. Örneğin sert krom kaplamalarda sertlik veya aşınmaya zorlanan yerlerde aşınma mukavemeti gibi. Kaplamanın mekanik özelliklerinin başlıcaları şunlardır.

a. Sertlik
b. Kalıcı gerilimler
c. Çekme mukavemeti
d. Süneklik
e. Eğilme mukavemeti
f. Elastikiyet modülü
g. Yorulma davranışı
h. Aşınma direnci

Bu özellikler kaplama banyosunun bileşimine, PH'ına, sıcaklığına, temizliğine, uygulanan akım yoğunluğuna göre değişebilir.

1.7.7. Diğer Özellikler

Kaplamada aranan diğer bazı özellikler, lehimlenebilme, iletkenlik ve pürüzlülük gibi özelliklerdir. Bu özelliklerde, kaplanan parçanın bulunacağı ortama ve çalışma şartlarına göre aranan özelliklerdir.

1.8. Metallerin Bakırla Kaplanması

Korozyona karşı oldukça dayanıklı olmasına rağmen, atmosfere açık yerlerde kolaylıkla kararıp lekelenmeye yol açtığından,

bakır, bazı özel uygulamalar dışında dış kaplama olarak genellikle kullanılmaz. Ancak bakırı, parlak kırmızı rengini koruyacak şekilde, ince bir vernik tabakasıyla kaplayarak bazı dekoratif ve sınai amaçlı kaplamalar yapılmaktadır (12).

Bakır kaplamaların ençok kullanıldığı alan çok katlı kaplamalarda (Örneğin bakır-nikel-krom) birinci kat olarak kullanılmasıdır (6).

1.8.1. Bakır Kaplama Banyoları

Bakır kaplama banyoları bileşimlerine göre üç gruba ayrılabilir (12). Bunlar;

a) Siyanürlü bakır banyoları

b) Asitli bakır banyoları

c) Pirofosfat bakır banyoları

1.8.2. Siyanürlü Bakır Banyoları

Bakır kaplama işlemlerinde en çok kullanılan banyo tipidir. Çok katlı (Bakır+Nikel+Krom) kaplamalarda alt kaplama olarak bakırın kaplanmasında veya asitli bakır banyolarından önce ince bir tabaka elde etmek için bu banyolar kullanılır (6).

Banyo işlemine göre seyreltik, Roşel veya yüksek konsantrasyonlu olarak adlandırılabilir. Bu banyonun bileşiminde kullanılan tuzlar, bakır siyanür (CuCN), sodyumsiyanur (NaCN) veya potasyum siyanür (KCN), sodyumkarbonat (Na_2CO_3), sodyumhidroksit (NaOH) veya potasyumhidroksit (KOH) gibi tuzlardır. Banyo PH'ı 9-13 arasında değişir. Banyolar genellikle sıcak çalışır. Uygulanan akım şiddeti kaplanacak metale göre değişir.

1.8.3. Siyanürlü Bakır Banyosunda Kimyasal Reaksiyon

Siyanürlü bakır banyosunda CuCN, diğer tuza göre, NaCN veya KCN ile bileşerek $Na_2Cu\ (CN)_3$ sodyumbakırsiyanür veya $KCu\ (CN)_3$ potasyum bakır siyanür tuzunu meydana getirir. Sodyumbakır siyanürü ele alarak reaksiyonu incelersek,

$$CuCN + 2NaCN \quad Na_2Cu(CN)_3 \qquad (1)$$

$$Na_2Cu(CN)_3 \quad 2Na^+ + Cu(CN)_3^{-2} \qquad (2)$$

$$Cu(CN)_3^{--} \quad Cu^+ + 3(CN)^{-3} \qquad (3)$$

(1 numaralı) reaksiyonda CuCN ve NaCN, $Na_2Cu\ (CN)_3$ bileşik tuzunu meydana getirmektedir. Bu tuz reaksiyonun devamında sodyum ve bakırsiyan iyonlarına ayrışmaktadır (2 nolu reaksiyon). Bakır siyan iyonu ise (3 numaralı) reaksiyonda bakır ve siyanür iyonlarına ayrışmaktadır. Cu iyonları katoda gider ve bir elektron olarak bakır elementi olarak katod yüzeyinde toplanır.

1.8.4. Çinko ve Alaşımlarının Bakırla Kaplanması

Çinko ve alaşımlarının bakırla kaplanmasında siyanürlü bakır banyoları kullanılır. Çinko ve alaşımlarının kaplanmasında işlem basamakları şöyledir (6).

-Kaba taşlama (gerekliyse)

-İnce taşlama

-Parlatma

-Yağ alma

-Yıkama

-Elektrolitik yağ alma

-Yıkama

-Asite daldırma (%1.5-2.5 luk sülfirikasit)

-Yıkama

-Siyanürlü bakır kaplama

-Asite daldırma (Nötürleme) (%10'luk sülfirikasit)

-Nikel kaplama

1.8.5. Bakır Kaplama Banyolarında Anodlar

Anodlar genellikle elektrolitik bakırdan, katod alanının 1.5 veya 3 katı kadar yüzey alanına sahip olacak şekilde hazırlanır ve yüzeyi temizlendikten sonra banyolara asılır. Banyo çalışmadığı zaman banyolardan çıkarılmalıdır.

1.9. Metallerin Nikelle Kaplanması

Nikel kaplamaların tarihi 140 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. İlk kaplamalar soba ve bisiklet parçalarında kullanılmıştır Krom kaplamaların geliştirilmesiyle nikel kaplamalar daha da önem kazanmıştır. Bakırla birlikte veya tek olarak krom kaplamalarda alt katman olarak kullanılmıştır. Yalnız nikel kaplamalarda parlak ve düzgün bir yüzey elde edilebilmesine rağmen özellikle korozif ortamlarda önce sarı sonrada yeşilimsi bir renk olmaktadır Ancak kapalı alanlarda kullanılan metal parçalarının kaplanması halen nikelle yapılmaktadır (13).

1.9.1. Nikel Kaplama Banyoları

Nikel kaplama banyoları da bileşimlerine göre çok değişik isimler olmaktadır. Ençok kullanılanları Watts banyosu, sulfamat banyosu, fluborat banyosu veya parlak nikel banyosu, siyah nikel

banyosu gibi.

Nikel banyolarında kullanılan başlıca tuzlar, nikelsülfat ($NiSO_4$) nikelklorür ($NiCl_2$), amonyumklorür (NH_4Cl), Nikelsülfamat ($Ni(NH_2SO_3)$), nikelfluborat ($Ni(BF_4)_2$) gibi tuzlardır. Ayrıca PH ayarlamak için borikasit (H_3BO_3) ve sülfirikasit (H_2SO_4) gibi asitlerde kullanılır.

1.9.2. Nikel Kaplama Banyolarında Anodlar

Anodlar elektrolitik nikelden hadde veya döküm yoluyla istenilen boyutta elde edilir. Döküm anodlar çabuk ve kolay çözünmesine karşın hadde anodlar daha zor çözünürler. Anodlar kirlenmeyi önlemek için ipek veya keten bezden yapılmış anod gömlekleri içine konarak anod çubuklarına asılırlar.

1.9.3. Nikel Kaplama Banyolarında Reaksiyon

Nikel kaplama banyolarında nikelsülfat tuzu iyonlarına ayrışarak nikel iyonları katoda gider.

Katot reaksiyonu;

$$Ni^{++} + 2e \longrightarrow Ni$$

Katoda giden nikel iyonları iki elektron alarak katod yüzeyinde nikel olarak toplanırlar.

Nikel anot aşağıdaki reaksiyonla çözeltiye geçer.

$$Ni \longrightarrow Ni^{++} + 2e$$

Nikel kaplama banyolarına $NiCl_2$ nikel anadun pasifleşmesini önlemek üzere ilave edilir. H_3BO_3 PH'yı 4 civarında tutarak yüzeyde $Ni(OH)_2$ çökmesini önler.

BÖLÜM 2

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLAR

2.1. Çinko-Alüminyum Alaşımları

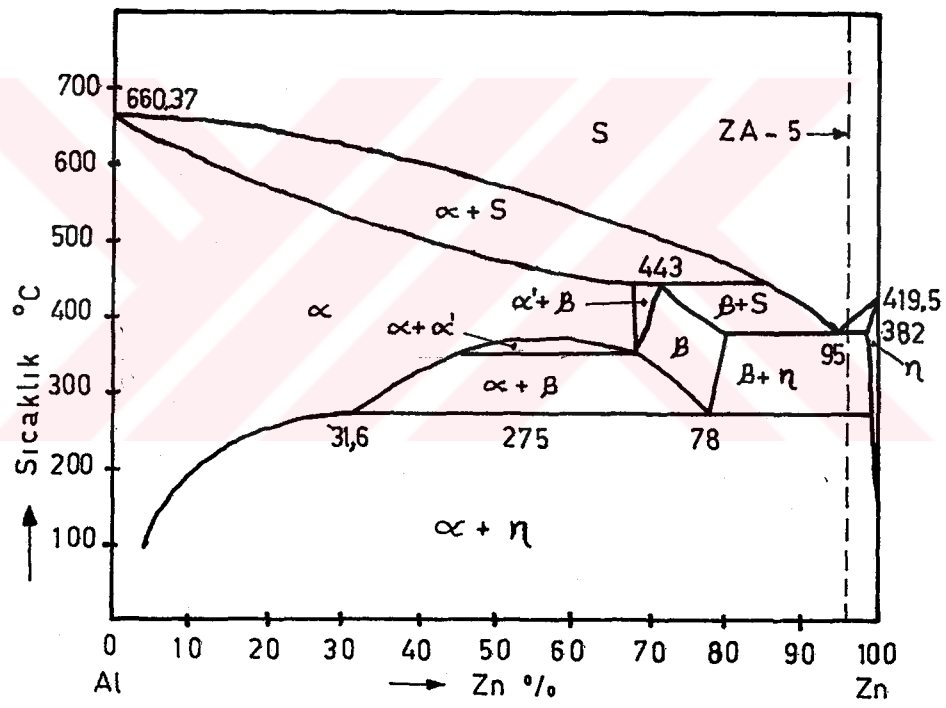
Çinkonun özelliklerinigeliştirmek için bu yüzyılın başından itibaren alüminyum, bakır ve diğer metallerle alaşımlar yapılmaya başlanmıştır. İlk yapılan alaşımlarda "tanelerarası korozyon" ve "yaşlanma" olayı görülmüştür. Katkı elementlerin tanelerarası korozyona ve bakırında yaşlanmaya sebep olduğu tespit edilmiştir. Daha arı çinkonun (%99.99) üretilebilmesi sayesinde ve alaşımlama tekniğinde kaydedilen ilerlemeler sonucu 1920'lerin sonlarında çinko pres döküm alaşımları geliştirilmiştir. Bu alaşımlar Zamak-3 ve Zamak-5 diye anılmaktadır. Ekonomik, iyi bitmiş yüzey elde edilebilen ve çok iyi dökülebilirliğe sahip oluşu nedeniyle bu alaşımlar pres döküm endüstrisinde bir köşe taşı niteliğindedir. Bu alaşımlarda alüminyum miktarı yaklaşık %4 civarındadır (14).

Ayrıca bu alaşımların dışında yüksek alüminyum ihtiva eden (%10-30) çinko alaşımları da vardır. Bunlar ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 ticari alaşımlarıdır.

2.2. Çinko-Alüminyum İkili Sistemi

Çinko-alüminyum ikili sistemi üzerinde bir çok araştırmacı çalışmıştır (15, 16). Faz denge diyagramı ilk defa Prensnyako ve arkadaşları (17) tarafından ortaya konulmuş ve daha sonra Gol-

dak ve Parr (18) bazı değişiklikler yapmıştır. Çinko-alüminyum faz denge diyagramı şekil 4'de verilmiştir. Alüminyumca zengin katı eriyik α ile gösterilmiştir. Monotektoidin çinko tarafında kalan kısmına α' denmiştir. Yüzey merkezli ve daha fazla çinko içeren ötektoid fazına B ve çinko bakımından zengin diğer uç katı eriyiği de η fazı ile gösterilmiştir. 443°C'de peritektik, 380°C'ta ötektik, 340°C'ta monotektik ve 275°C sıcaklıkta da ötektoid dönüşümler meydana gelir. Zamak-5 alaşımı diyagram üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. Çinko-alüminyum ikili faz denge diyagramı

2.3. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

2.3.1. Kimyasal Bileşimleri

Çinko-alüminyum alaşımlarının bileşimleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Çinko-alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimi

	ZA-3	ZA-5	ZA-8	ZA-12	ZA-27
Alüminyum (% Ağ)	3.9-4.3	3.9-4.3	8-8.8	10.5-11.5	25-28
Bakır	0.1	0.75	0.8-1.3	0.5-1.25	2-2.5
Mağnezyum	0.025-0.05	0.03-0.06	0.015-0.03	0.015-0.03	0.01-0.02
Demir	0.1	0.1	0.1	0.075	0.01
Kurşun	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Kadmiyum	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Kalay	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Çinko	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

2.3.2. Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların mekanik ve kimyasal özellikleri Çizelge 35'de verilmiştir.

Çizelge 5. Çinko-alüminyum esaslı alaşımların mekanik ve kimyasal özellikleri

Özellikler	ZA-3 Pres dökümü	ZA-5 Pres dökümü	ZA-8 Kokil dökümü	ZA-8 Kum dökümü	ZA-8 Kokil dökümü	ZA-27 Pres dökümü	ZA-27 Kum dökümü	ZA-27 Kum dökümü	ZA-27 Kokil dökümü	ZA-27 Pres dökümü
Çekme Dayanımı			221	275	310	392	400	310	424	407
MPa	282	328	255	317	345	414	440	324		441
Akma Dayancı			210	207	214		365	255	-	-
MPa	-	-	214	214	220		372			
% Uzama	10	7	1-2	1-2	4-7	3-6	8-11	1	1	12-20
Young Modülü ($MPax10^3$)	-	-	85	83	-	-	75	75	-	-
Sertlik (BHN)	82	91	85	90	85	95	110	90	110	116
500,10,30			90	110	95	100	120	100	120	122
Özgül Ağırlık gr/cm^3	6.6	6.7	6.3	6.3		6.3			5.0	
Katılaşma sıcaklık	390	393	404			308-430			380-490	
Aralığı °C	380	380	375							

2.4. Kullanıldığı Yerler

Çinko-alüminyum pres döküm alaşımları aşağıdaki alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Otomotiv Endüstrisinde

Çinko-alüminyum pres döküm alaşımlarının en geniş kullanım alanı otomativ endüstrisidir (19).

Otomotiv endüstrisinde, karbürator, yakıt pompası gövdesi, cam silecek parçaları, hız ölçer iskeleti, panjur, korna ve hidrolik fren parçaları gibi mekanik elemanlar, radyatör ve radyo panjurları, lamba ve alet muhafazaları, direksiyon göbekleri, korna bilezikleri iç ve dış madeni parçalar, alet panelleri ve gövde çerçeveleri gibi mekanik ve dekoratif elemanlar çinko-alüminyum esaslı presdöküm alaşımlarından yapılmaktadır.

- Elektrik Endüstrisinde

Elektrik endüstrisinde, çamaşır makinalarının pek çok parçaları, ateşleyiciler, motor gövdeleri, elektrik süpürgeleri, elektrik sayaçları ve mutfak aletleri yapımında çinko alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır.

- İş Makinaları ve Hafif Makinalarda

Pres döküm çinko alaşımlar bu makinaların bir çok parçalarının yapımında başarı ile kullanılmaktadır. Örneğin daktilolarda, kaydedicilerde, fotoğraf makinalarında, kameralarda, yazarkasalarda, kesme makinalarında, çöp öğütücülerde, benzin pompalarında, mikserler ve asansörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır

Ayrıca takım ve aletlerin bir çok parçası da pres döküm çinko alaşımlarından yapılmaktadır. Yine bir çok oyuncak ve süs eşyası üretiminde bu alaşımlar büyük boyutlarda kullanılmaktadır

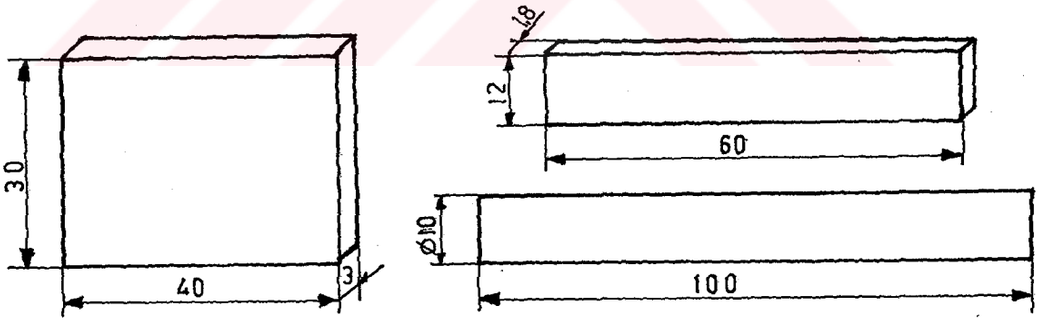
BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

"Zamak-5" alaşımı, önce 33x43x200 mm ölçülerinde külçeler halinde dökülmüş, bu külçelerin çevresi freze tezgahında düzeltildikten sonra hidrolik testere tezgahında 3 mm kalınlıkta eşit parçalara bölünmüştür (Şekil 5).

Ayrıca RU-TAŞ döküm şirketinden alınan pres döküm mektup açacakları parçalara ayrılarak numune olarak kullanılmıştır. Çekme numuneleri Ø 13x250 mm ölçülerinde dökülmüş, çapları 10 mm olacak şekilde tornalandıktan sonra parçalara ayrılmıştır. Bu şekilde hazırlanan numuneler tek tek kodlanmıştır.



Şekil 5. Deneylerde kullanılan numunelerin şekil ve boyutları

3.2. Mekanik Temizleme

Çapaklı ve düzgün olmayan numuneler kaba zımpara taşında düzeltildikten sonra bütün numuneler keçeye emdirilmiş ince zımparaya tutulmuştur. Bu şekilde düzeltilen numuneler polisaj

tezgahında tel fırçaya tutularak keçeyle parlatma işlemi yapılmıştır. Parçalar tekrar ölçülerek ölçülerinde değişme olanlar kaydedilmiştir.

3.3. Kir ve Yağdan Temizleme

Keçeyle parlatılan numuneler trikloretilene batırılmış bez ile iyice silinmiş ve ince talaşla kurutulmuştur. Kuruyan numuneler sıcak sabunlu su ile yıkanmış ve kurutulmuştur.

3.4. Tartma

Numuneler iyice yıkanıp kurutulduktan sonra 0.1 mg hassasiyetle tartılmış ve kaydedilmiştir.

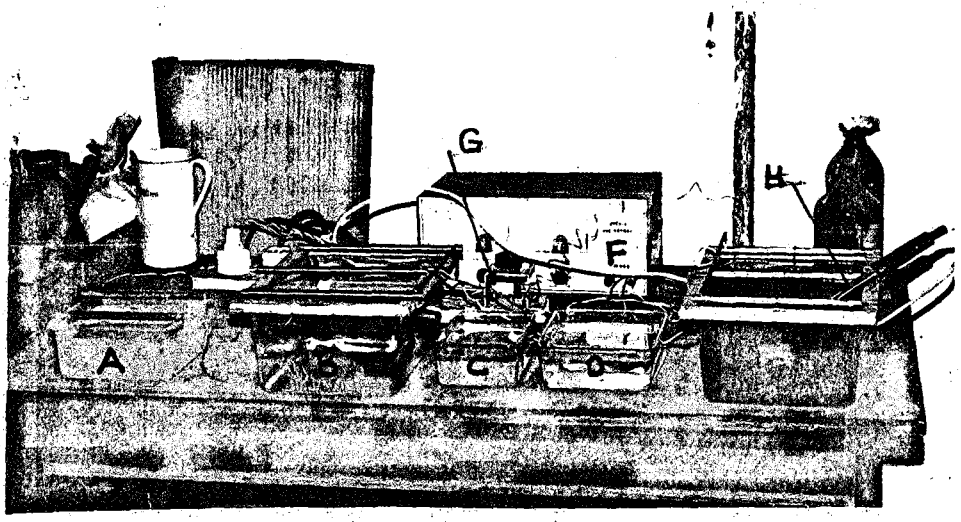
3.5. Elektrolitik Olarak Yağ Alım ve Kullanılan Banyo

Tartılan numuneler aşağıda bileşimi ve özellikleri verilen banyoda elektrolitik olarak yağ alım işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler katoda asılmış, anod olarak paslanmaz çelik bir parça kullanılmıştır.

Banyo bileşimi;

NaOH	60 gr/lt
$Na_2CO_3 10H_2O$	25 gr/lt
NaCN	20 gr/lt
Akım Yoğunluğu	8 A/dm^2
Sıcaklık	Oda
Zaman	30 sn

Yağ alım banyo kabı olarak 160x160x9 ölçülerinde plastik bir kab kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Kaplama Düzeneği

A. Elektrolitik yağ alım banyosu

B. Bakır kaplama banyosu

C. Asit banyosu (%2.5'luk)

D. Asit banyosu (%10'luk)

E. Nikel kaplama banyosu

F. Redresör

G. Termostat

H. Isıtıcı

3.6. Asite Daldırma ve Daldırma Kabı

Yağı alınan numuneler akar suda iyice yıkandıktan sonra %2'lik sülfirik asit banyosuna 5 sn daldırılmıştır. Çıkarılan numuneler yine iyice yıkandıktan sonra bakır banyosuna asılmıştır. Daldırma kabı olarak 100 x 150 x 9 ölçülerinde plastik bir kab kullanılmıştır (Şekil 6).

3.7. Ön Çalışma

Ön çalışmada numuneler bakır kaplanmadan doğrudan nikel kaplama işlemine tabii tutulmuştur. Numunelere tablo 1'deki paramet-

reler kullanılarak, üç değişik akım şiddetinde ve iki değişik sıcaklıkta direk nikel kaplama işlemi yapılmıştır. Kesme, çizme, eğeleme, çökertme termal şok deneyleri ve mikroskop altında inceleme yapılmıştır.

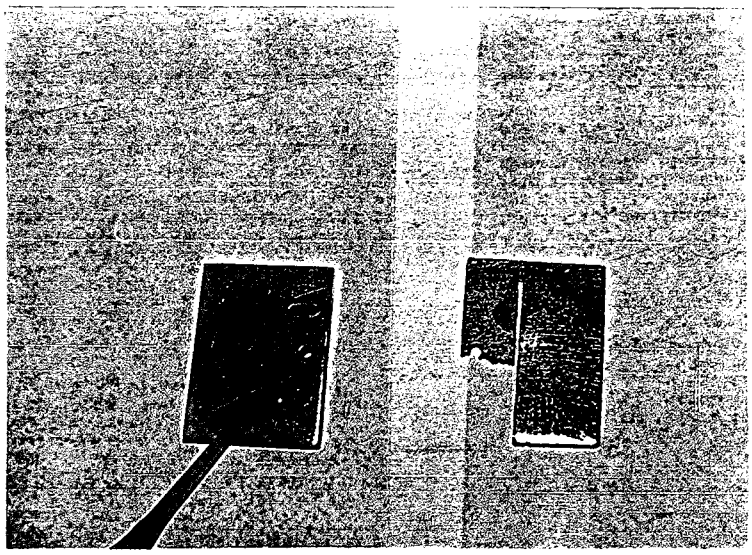
Tablo 1. Direk nikel kaplama parametreleri ve sonuçları

Parça Kodu	İlk Ağr. gr	Kop.Ağr. gr	Akım Y. A/dm^2	Sıcaklık °C	Zaman dk	Banyo PH'ı	Banyo Bileşimi	Ağırlık Farkı gr
AC	22.7345	23.2632	4	60	30	4	$NiSO_4$-200gr/lt $NiCl_2$-40 gr/lt H_3BO_3-20 gr/lt	0.5287
AF	23.4952	24.6023	8	60	30	4	"	1.1071
AO	23.1928	23.4479	2	60	30	4	"	0.2551
AR	22.0743	22.659	4	80	30	4	"	0.5847

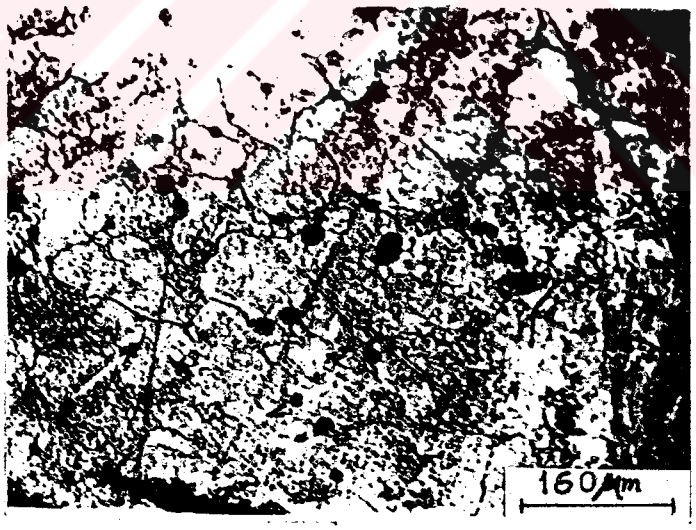
3.7.1. Ön Çalışma Sonucu

Direk nikel kaplanan numunelere uygulanan yapışkanlık deneyleri sonucunda kaplamalarda kabarma ve çok büyük boyutlu kalkmalar görülmüştür (Şekil 7). Mikroskop altında incelenen kaplamalarda çok miktarda çatlak tespit edilmiştir (Şekil 8).

Yukarıdaki bilgilerin ışığında "Zamak-5" alaşımın direk nikelle kaplanmasının iyi sonuç vermediği anlaşılmaktadır. Bu sonuç nikel banyosunun asitli olması ve çinko alaşımlarının asitli ortamda aktif bir metal olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 7. Direk nikel kaplanmış numunelerde kalkan kaplamalar

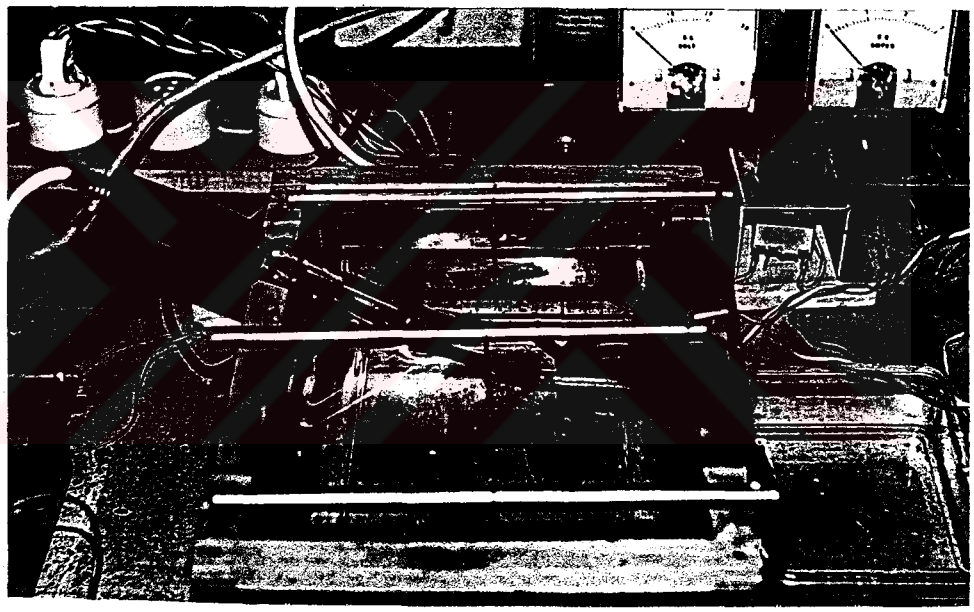


Şekil 8. Direk nikel kaplanmış numunelerin mikroskop altındaki görünüşü.

3.8. Bakır Kaplama

Bakır kaplama işlemi siyanürlü bakır banyolarında yapılmıştır. Değişken olarak, akım şiddeti, sıcaklık, süre, PH ve sodyumsiyanür (NaCN) konsantrasyonu kullanılmıştır.

Bakır kaplama banyosu kabı olarak önce 145x145x90 mm ölçülerinde, bir anod ve bir katodun tek taraflı asıldıkları sonra da 180x280x150 mm ölçülerinde, iki anod ve bir katodun asılabildiği plastik kaplar kullanılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Bakır kaplama banyosu

3.9. Nötürleme (Asite daldırma)

Bakır banyosunda alınan parçalar akarsuda yıkandıktan sonra %10'luk sülfirikasit banyosuna 10 sn süreyle daldırılmıştır. Çıkarılan numuneler tekrar yıkanmıştır.

Nötürleme kabı olarak 130x130x70 ölçülerinde plastik bir kab kullanılmıştır.

3.10. Kurutma ve Tartma

Yıkanan numuneler kurutularak tartılmıştır.

3.11. Bakır Kaplamada Kullanılan Parametreler

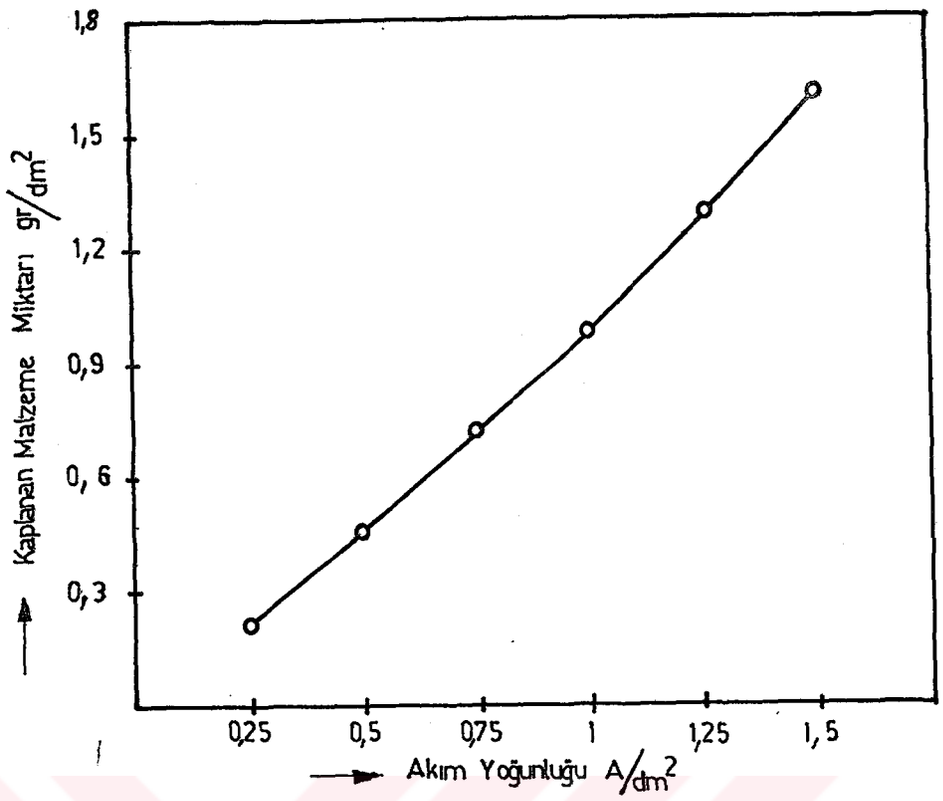
Kaplamada akım şiddeti, banyo sıcaklığı, süre, banyo PH'ı ve NaCN konsantrasyonu değişken olarak kullanıldı.

3.11.1. Akım Yoğunluğu

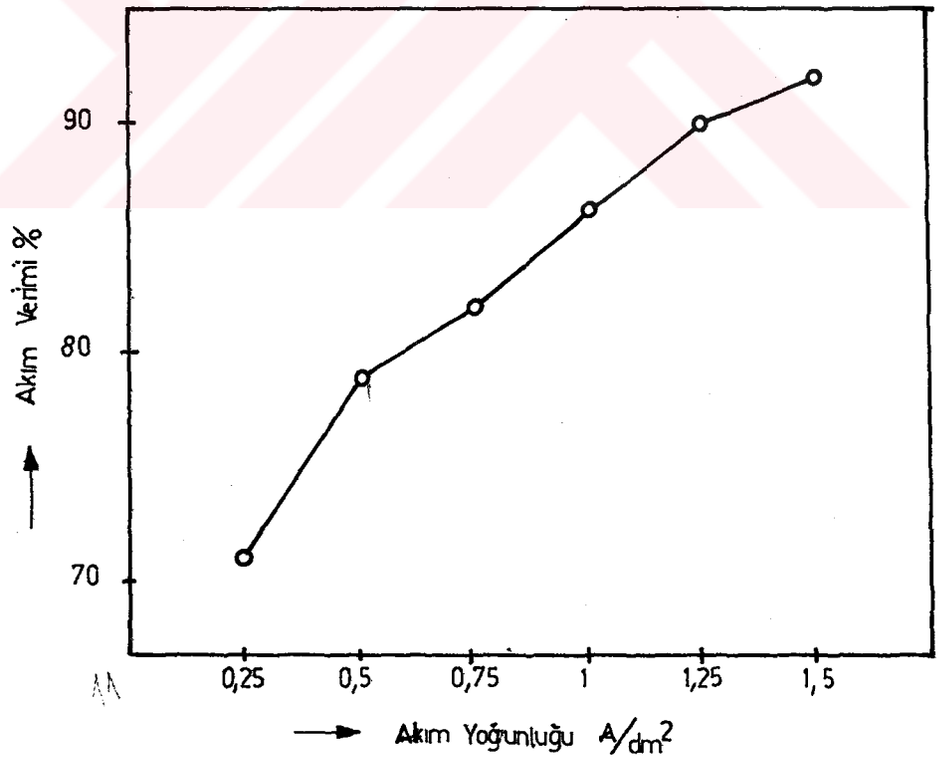
Diğer değişkenler sabit tutularak 6 değişik akım yoğunluğunda kaplama yapıldı. Kullanılan değerler Tablo 2'de verilmiştir. Akım yoğunluğunun, kaplanan malzeme miktarına etkisi Şekil 10'da, akım verimine etkisi Şekil 11'de verilmiştir.

Tablo 2. Değişik akım yoğunluklarında bakır kaplama parametreleri

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Son Ağr. gr	Ağr. farkı gr.	Teorik Ağr. gr	Akım verimi %
A	1.5	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20	23.8563	24.3119	0.4636	0.504	92
B	1.25	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20	23.3383	23.7088	0.3705	0.412	90
C	1.0	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20	24.5537	24.8371	0.2834	0.33	86
D	0.75	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20	23.9790	24.1859	0.2069	0.2523	82
E	0.5	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20	22.4073	22.5403	0.133	0.1684	79
F	0.25	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20	23.1915	23.2513	0.0598	0.0841	71



Şekil 10. Bakır kaplamada uygulanan akım yoğunluğunun kaplanan malzeme miktarına etkisi. Sıcaklık: 55°C, Süre: 30 dk, PH:10



Şekil 11. Bakır kaplamada, akım yoğunluğunun akım verimine etkisi. Sıcaklık: 55°C, Süre: 30 dk, PH: 10

- Uygulanan Akım Şiddetlerinde Teorik Olarak Kaplanması Gerekli Malzeme Miktarı

Madde 1.3.3.'de anlatılan teorik hesaplama kurallarına göre akım veriminin %100 olduğu farzedilerek kaplanması gereken malzeme miktarı

$$Wt = W.S.I.t$$

Wt= Kaplanması gerekli malzeme miktarı

W = 1 Ah deki ayrışan metal miktarı

S = Kaplanacak parçanın yüzey alanı

I = Akım Yoğunluğu

t = Kaplama süresi

Buna göre

A. 1.5 A/dm^2 akım altında 30 dk süreyle kaplanması gereken miktar.

W = 2.37 gr Çizelge 1'den

S = 28.4 cm^2, 0.284 dm^2

I = 1.5 A/dm^2

t = 30 dk = 0.5 saat

Wt= W.S.I.t

Wt= 2.37x0.284x1.5x0.5

Wt= 0.504 gr

- Akım Veriminin Tespiti

A. $$AV = \frac{Wg}{Wt} \times 100 =$$

AV = Akım verimi %

Wg= Deney sonucunda bulunan ağırlık farkı (Tablo 2'den)

Wt= Teorik olarak hesaplanan kaplanan malzeme miktarı

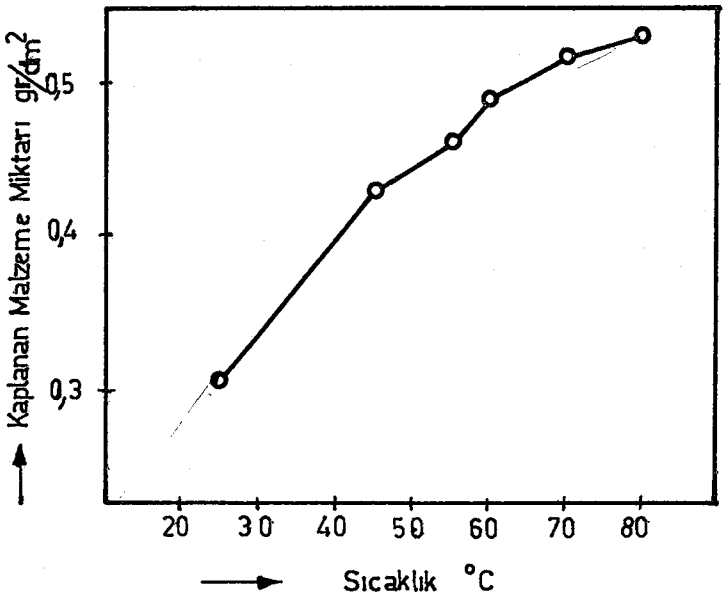
$$AV = \frac{0.4636}{0.504} \times 100 = 92$$

3.11.2. Sıcaklık

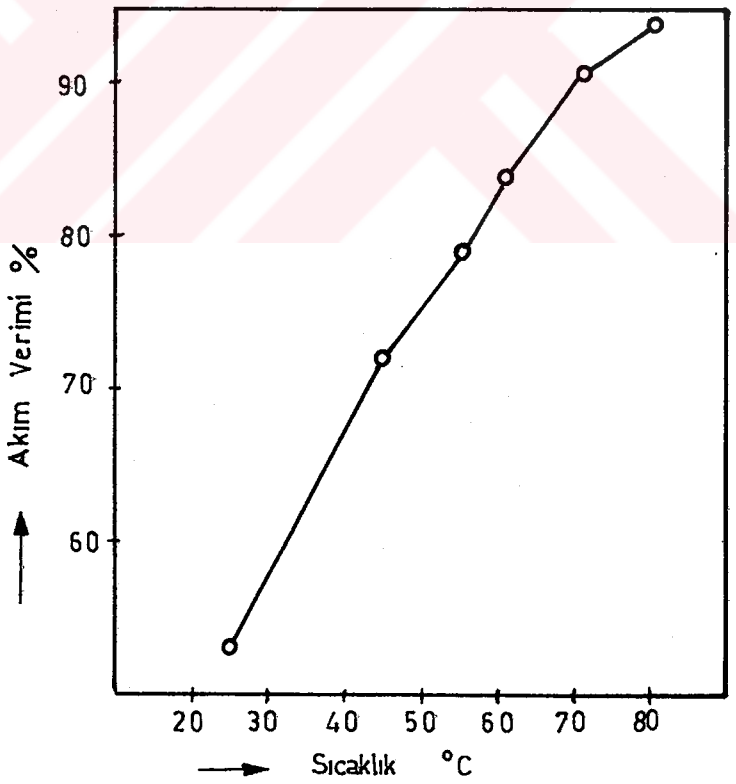
Diğer değişkenler sabit tutularak 6 değişik sıcaklıkta kaplama yapıldı. Kullanılan değerler Tablo 3'de verilmiştir. Sıcaklık değişiminin kaplanan malzeme miktarına etkisi Şekil 12, akım verimine etkisi de Şekil 13'de verilmiştir.

Tablo 3. Değişik sıcaklıklarda bakır kaplama parametreleri

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Son Ağr. gr	Ağr.farkı gr	Teorik Ağr. gr	Akım verimi %
G	0.5	80	30	10	NaCN-40 CuCN-20	9.5628	9.6559	0.0931	0.0989	94
H	0.5	70	30	10	NaCN-40 CuCN-20	10.7215	10.3618	0.0903	0.0989	91
I	0.5	60	30	10	NaCN-40 CuCN-20	9.6375	9.721	0.0835	0.0989	84
E	0.5	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20	22.4073	22.5403	0.133	0.1684	79
K	0.5	45	30	10	NaCN-40 CuCN-20	9.4228	9.4965	0.0717	0.0989	72
L	0.5	25	30	10	NaCN-40 CuCN-20	9.5422	9.5943	0.0521	0.0989	53



Şekil 12. Banyo sıcaklığının kaplanan malzeme miktarına etkisi
Akım: 0.5 A/dm^2, Süre: 30 dk, PH: 10



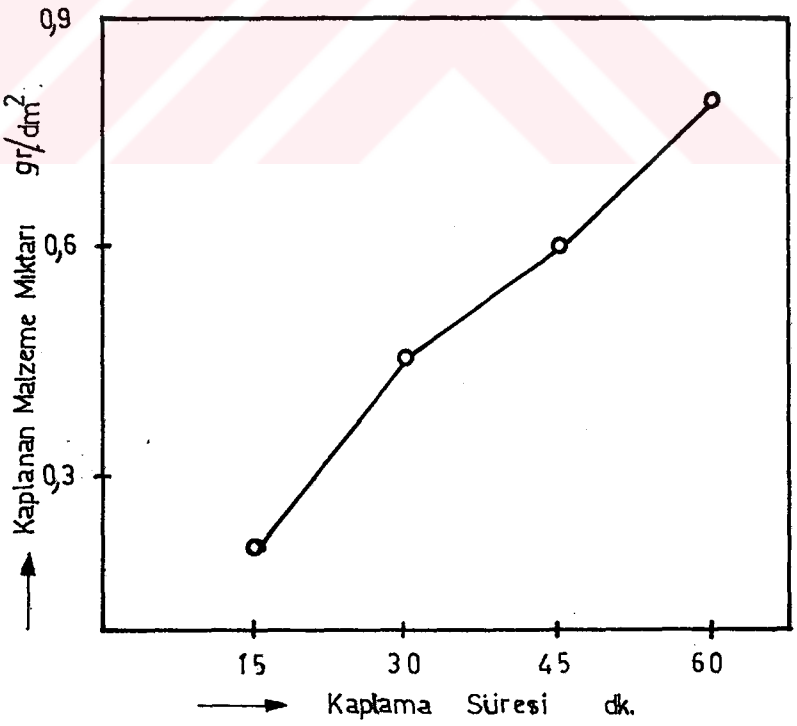
Şekil 13. Banyo sıcaklığının akım verimine etkisi
Akım: 0.5 A/dm^2, Süre: 30 dk, PH: 10

3.11.3. Kaplama Süresi

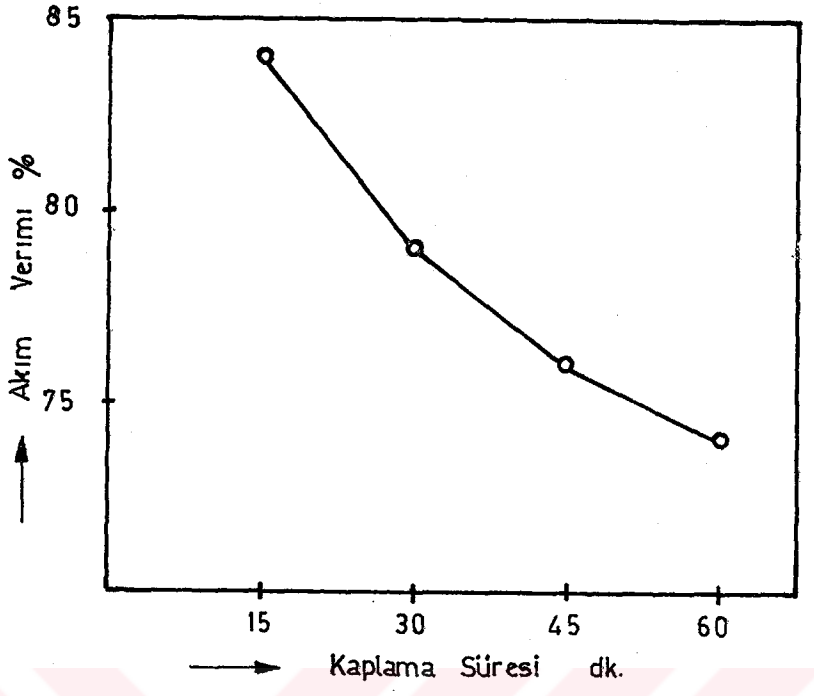
Diğer değişkenler sabit tutularak 4 değişik sürede kaplama yapıldı. Uygulanan değerler Tablo 4'de verilmiştir. Kaplama süresinin kaplanan malzeme miktarına etkisi Şekil 14, akım verimine etkisi ise Şekil 15'de verilmiştir.

Tablo 4. Değişik sürelerde bakır kaplama parametreleri

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Son Ağr. gr	Ağr. farkı gr	Teorik Ağr. gr	Akım verimi %
M	0.5	55	60	10	NaCN-40 CuCN-20	10.457	10.603	0.146	0.1978	74
N	0.5	55	45	10	"	9.2412	9.3545	0.1133	0.1484	76
E	0.5	55	30	10	"	22.4073	22.5403	0.133	0.1684	79
O	0.5	55	15	10	"	10.3081	10.3496	0.0415	0.0494	84



Şekil 14. Kaplama süresinin kaplanan malzeme miktarına etkisi
Akım: 0.5 A/dm^2, Sıcaklık: 55°C, PH:10



Şekil 15. Kaplama süresinin akım verimine etkisi

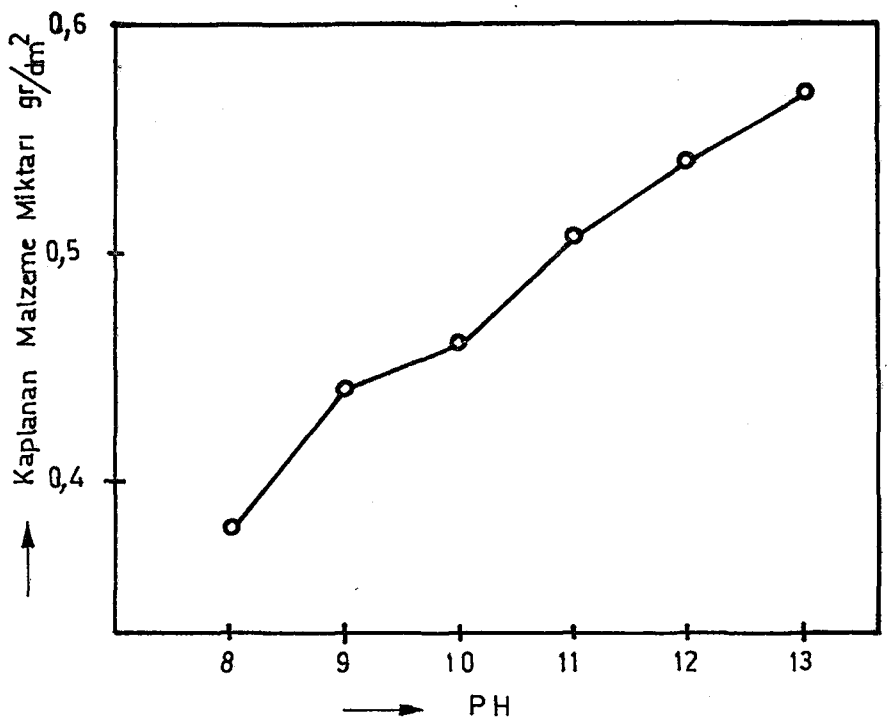
Akım: 0.5 A/dm^2, Sıcaklık: 55°C, PH: 10

3.11.4. Banyo PH'ı

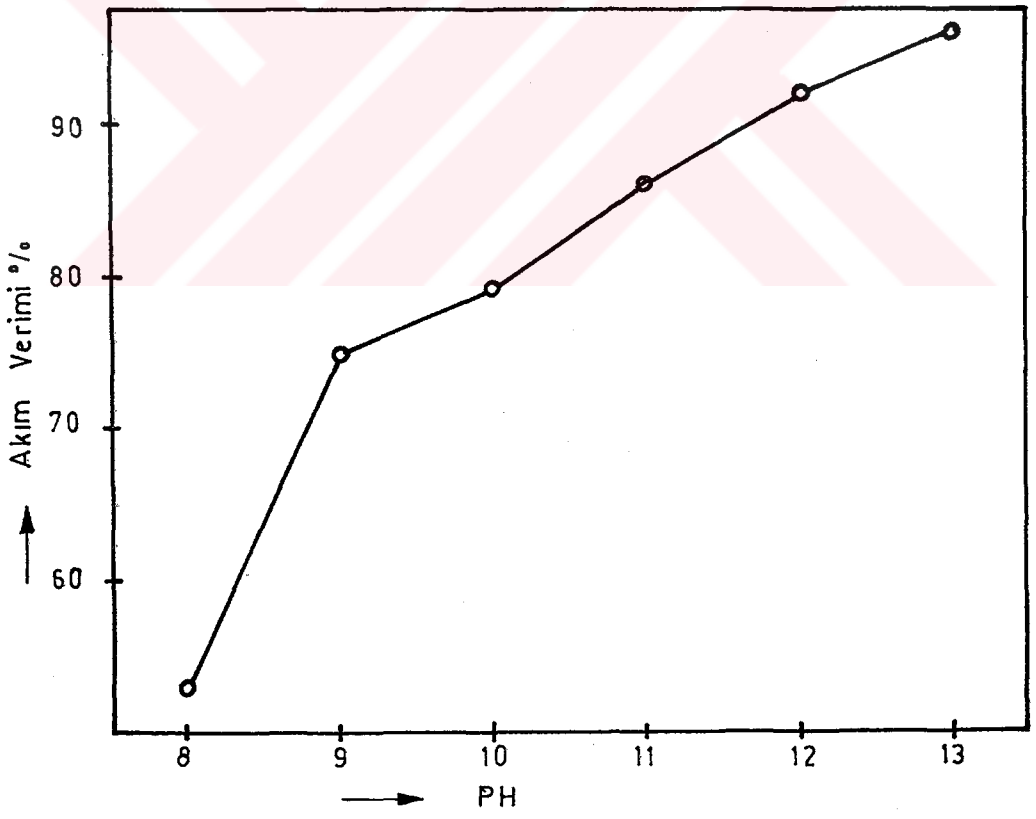
Diğer değişkenler sabit tutularak 6 değişik PH'da kaplama yapıldı. Uygulanan değerler tablo 5'de verilmiştir. Banyo PH'nın kaplanan malzeme miktarına etkisi Şekil 16, akım verimine etkisi şekil 17'de verilmiştir.

Tablo 5. Değişik PH'larda bakır kaplama parametreleri

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °c	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Son Ağr. gr	Ağr. farkı gr	Teorik Ağr. gr	Akım verimi %
P	0.5	55	30	13	NaCN-40 CuCN-20 NaOH-10 Na_2CO_3-5	9.6653	9.7600	0.0947	0.0989	96
R	0.5	55	30	12	NaCN-40 CuCN-20 NaOH-10	9.4382	9.5291	0.0909	0.0989	92
S	0.5	55	30	11	NaCN-40 CuCN-20 NaOH-5	8.8905	8.9756	0.0851	0.0989	86
T	0.5	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20	9.3758	9.4545	0.0787	0.0989	79
U	0.5	55	30	9	NaCN-40 CuCN-20 $NaHSO_4$-5	0.3291	9.4030	0.0739	0.0939	75
V	0.5	55	30	13	NaCN-40 CuCN-20 $NaHSO_4$-10	9.6035	9.6558	0.0523	0.0989	53



Şekil 16. Banyo PH'nın kaplanan malzeme miktarına etkisi
Akım: 0.5 A/dm^2, Sıcaklık: 55°C, Süre: 30 dk.



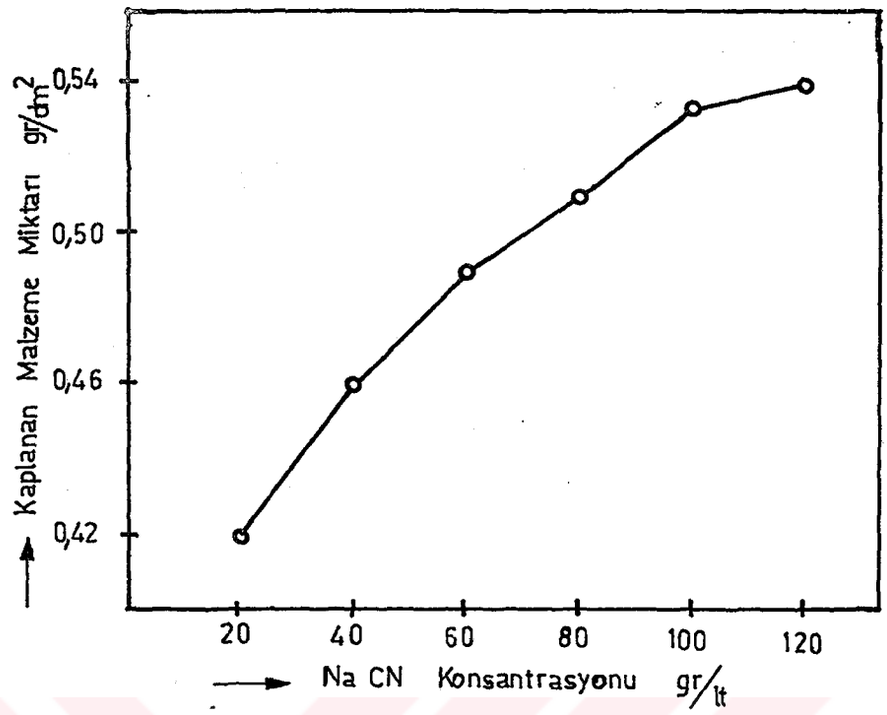
Şekil 17. Banyo PH'nın akım verimine etkisi.
Akım: 0.5 A/dm^2, Sıcaklık: 55 °C, Süre: 30 dk.

3.11.5. Banyo Bileşimi

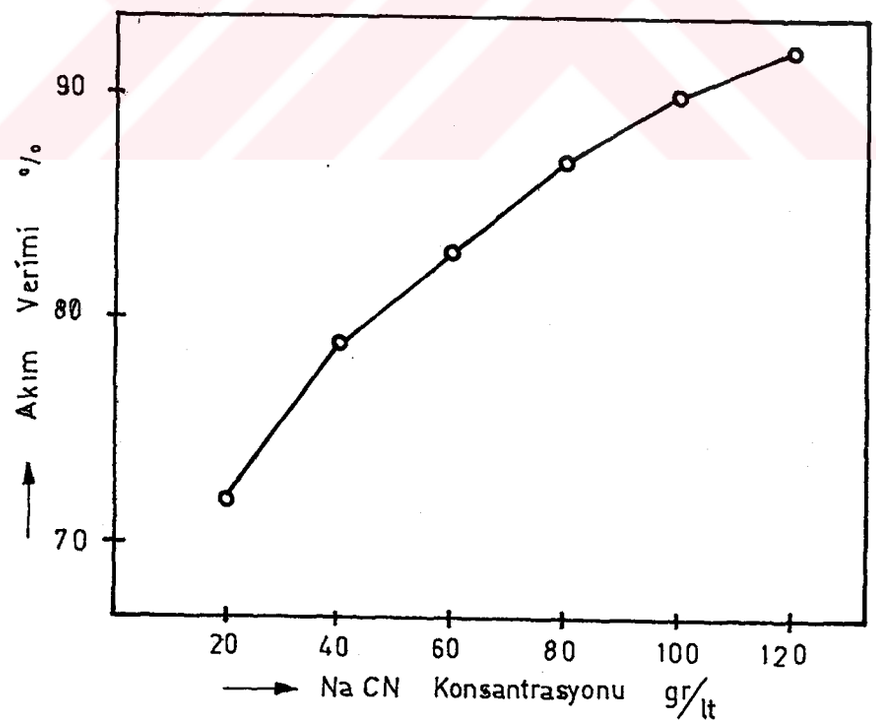
Bütün değişkenler sabit tutularak elektrolitdeki esas tuz olan sodyumsiyanür (NaCN) konsantrasyonu değiştirildi. 5 değişik konsantrasyonda kaplama yapıldı. Uygulanan değerler Tablo 6'da verilmiştir. NaCN konsantrasyonunun kaplanan malzeme miktarına etkisi Şekil 18, akım verimine etkisi Şekil 19'da verilmiştir.

Tablo 6. Değişik NaCN konsantrasyonlarında bakır kaplama Parametreleri

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Son Ağr gr	Ağr.farkı gr	Teorik Ağr gr	Akım Ver %
V	0.5	55	30	10	NaCN-120 CuCN-120	9.395	9.4858	0.0908	0.0889	92
Z	0.5	55	30	10	NaCN-100 CuCN-20	10.4123	10.5017	0.0894	0.0989	90
X	0.5	55	30	10	NaCN-80 CuCN-20	9.605	9.691	0.086	0.0989	87
W	0.5	55	30	10	NaCN-60 CuCN-20	9.2513	9.3335	0.0822	0.0989	83
E	0.5	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20	22.4073	22.5403	0.133	0.1684	79
Al	0.5	55	30	10	NaCN-20 CuCN-20	23.6215	23.74.25	0.1210	0.1684	72



Şekil 18. NaCN konsantrasyonunun kaplanan malzeme miktarına etkisi
Akım: 0.5 A/dm^2, Sıcaklık: 55°C, Süre: 30 dk. PH: 10



Şekil 19. NaCN konsantrasyonunu akım verimine etkisi
Akım: 0.5 A/dm^2, Sıcaklık: 55°C, Süre: 30 dk, PH: 10.

3.11.6. Çekme Numunelerinin Kaplanması

Çekme deneyi için numuneler, diğer değerler sabit tutularak 3 değişik akım, 3 değişik sıcaklık, 4 değişik süre ve 4 değişik PH'da kaplama yapılmıştır. Uygulanan değerler Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Çekme numunelerine uygulanan değerler (bakır)

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt
A	0.5	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20
B	1	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20
C	1.5	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20
D	0.5	70	30	10	NaCN-40 CuCN-20
E	0.5	40	30	10	NaCN-40 CuCN-20
F	0.5	55	15	10	NaCN-40 CuCN-20
G	0.5	55	45	10	NaCN-40 CuCN-20
H	0.5	55	60	10	NaCN-40 CuCN-20
I	0.5	55	60	9	NaCN-40 CuCN-20 $NaHSO_4$-5
J	0.5	55	60	11	NaCN-40 CuCN-20 NaOH-5
K	0.5	55	60	12	NaCN-40 CuCN-20 NaOH-10

3.11.7. Hareketli Banyoda Bakır Kaplama

Bakır banyoları plastik bir parça ile karıştırılarak kaplama yapılmıştır. Uygulanan değerler Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Hareketli banyoda bakır kaplama değerleri

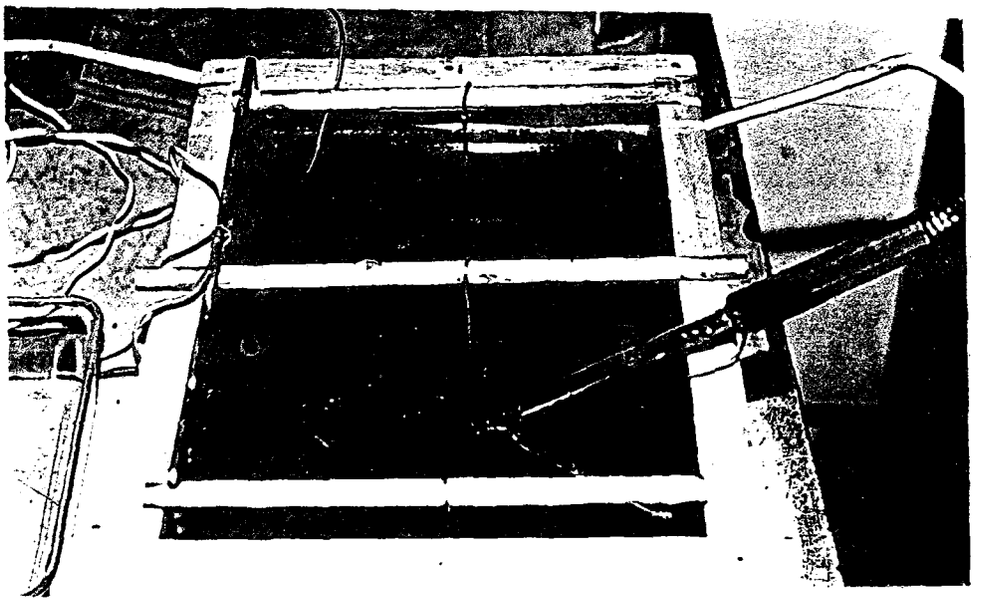
Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Son Ağr. gr	Ağr. farkı gr	Teorik Ağr. gr	Akım verimi gr
AT	0.5	55	30	10	NaCN-40 CuCN-20	23.4208	23.5535	0.1327	0.1684	79
AU	1.0	55	30	10	"	22.8119	23.1202	0.3083	0.3365	92
AV	0.5	70	30	10	"	23.3945	23.5552	0.1507	0.1684	95

3.12. Nikel Kaplama

Nikel kaplama işlemi, numuneler bakırla kaplanıp madde 3.9'da anlatılan nötürleme işlemi uygulandıktan sonra yapılmıştır. Değişken olarak, akım şiddeti, sıcaklık, süre, PH ve nikelsülfat ($NiSO_4$) konsantrasyonu kullanılmıştır.

Nikel kaplama banyosu kabı olarak 180x280x150 mm ölçülerinde plastik bir kab kullanılmıştır (Şekil 20).

Anod olarak döküm nikel parçalar kullanılmış Anod/Katod yüzey alan oranı 2/1, anod-katod arası mesafe 120 mm olarak alınmıştır.



Şekil 20. Nikel kaplama banyosu

3.12.1. Nikel Öncesi Bakır Ağırlığının Tespiti

Nikel kaplanacak parçalar, nötürleme işleminden geçip yıkandıktan sonra oksitlenmelerini önlemek için hemen nikel banyosuna alınmaları gerekmektedir. Bu yüzden tartma işlemi yapılamamıştır. Ancak, nikel kaplama öncesi ağırlık olarak, numunenin ilk ağırlığına, 15 dk bakır kaplama işlemi sonunda kaplanan bakır miktarı ilave edilerek tespit edilmiştir. Kaplanan bakır ağırlığı olarak dört ayrı numuneye aynı şartlarda bakır kaplanarak ortalama ağırlıkları alınmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Nikel kaplama öncesi bakır kaplama ağırlığının tespiti için kaplanan numuneler

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Son Ağr. gr	Ağr.farkı gr
AA	0.5	55	15	10	NaCN-40 CuCN-20	23.9128	23.984	0.0712
AB	0.5	55	15	10	"	23.1243	23.1949	0.0706
AC	0.5	55	15	10	"	24.0172	24.087	0.0698
AD	0.5	55	15	10	"	23.5235	23.5944	0.0709

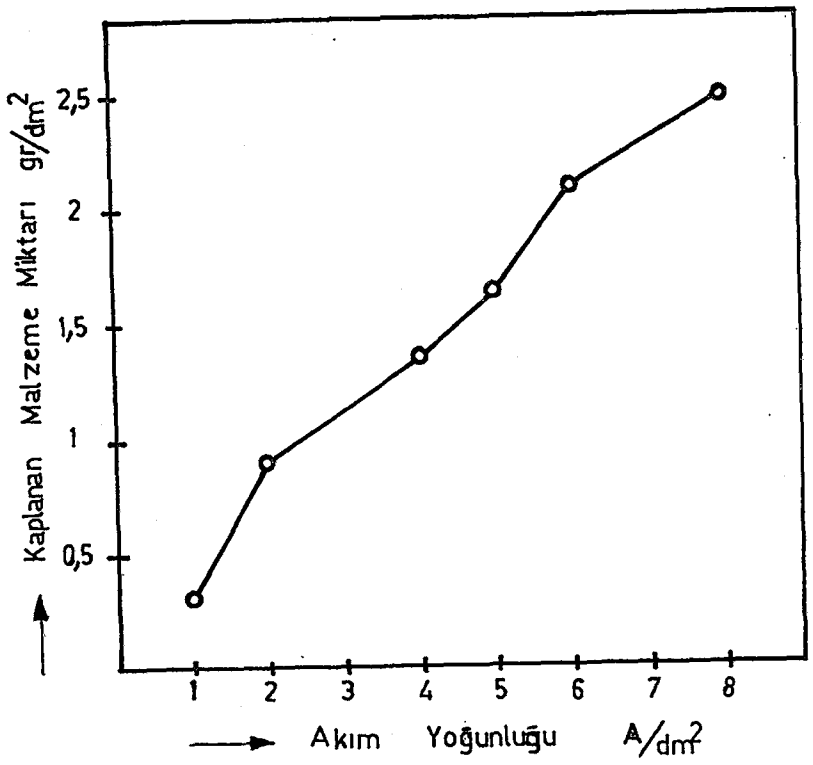
3.13. Nikel Kaplama Parametreleri

3.13.1. Akım Yoğunluğu

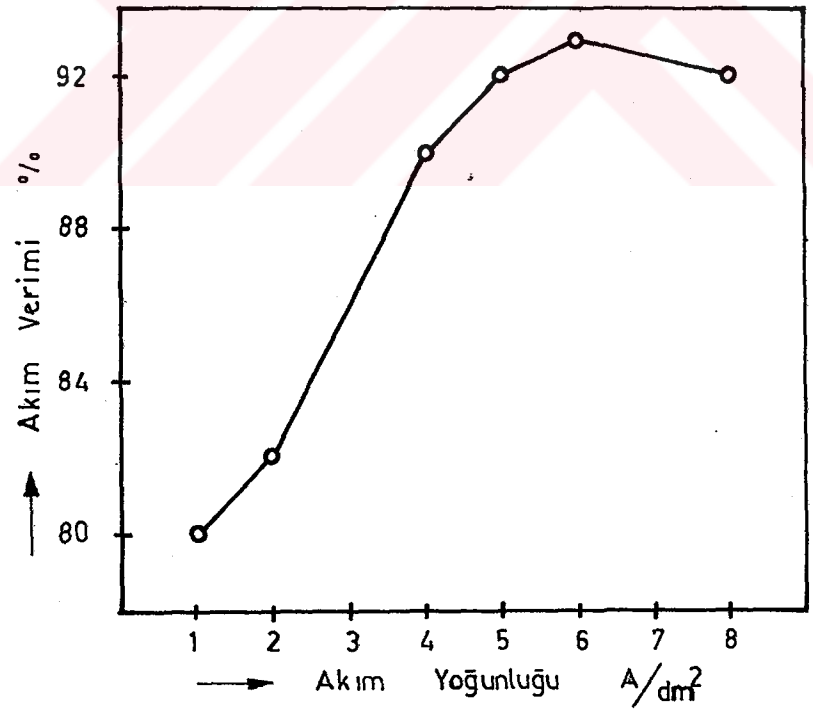
Diğer değişkenler sabit tutularak 6 değişik akım yoğunluğunda kaplama yapıldı. Uygulanan değerler Tablo 10'da verilmiştir. Nikel kaplamada akım yoğunluğunun kaplanan malzeme miktarına etkisi Şekil 21, akım verimine etkisi Şekil 22'de verilmiştir.

Tablo 10. Değişik akım yoğunluklarında nikel kaplama parametreleri

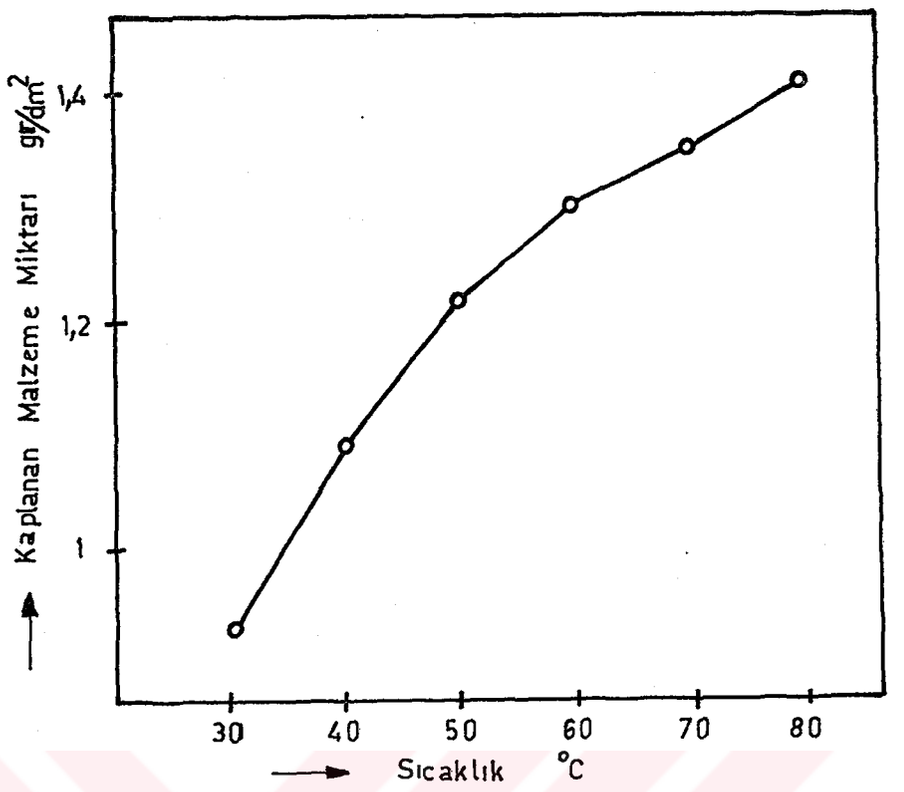
Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk.Ağr. gr	Bakır.Kap.Ağr. gr	Son.Ağr. gr	Ağr.farkı gr	teorik.Ağr. gr	Akım Verimi %
J	8	60	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20	24.8276	24.8982	25.6534	0,7552	0,8209	92
G	6	60	20	4	"	22.5777	22..6483	23,2211	0,5728	0,6157	93
H	5	60	20	4	"	24.2832	24.3538	24.8269	0.4731	0.5131	92
I	4	60	20	4	"	23.6739	23.7415	24.1118	0.3703	0.4104	90
K	2	60	20	4	"	22,9476	23.0182	23.1865	0.1683	0.2052	82
L	1	60	20	4	"	22.2457	22.3163	22.3987	0.0824	0.1026	80



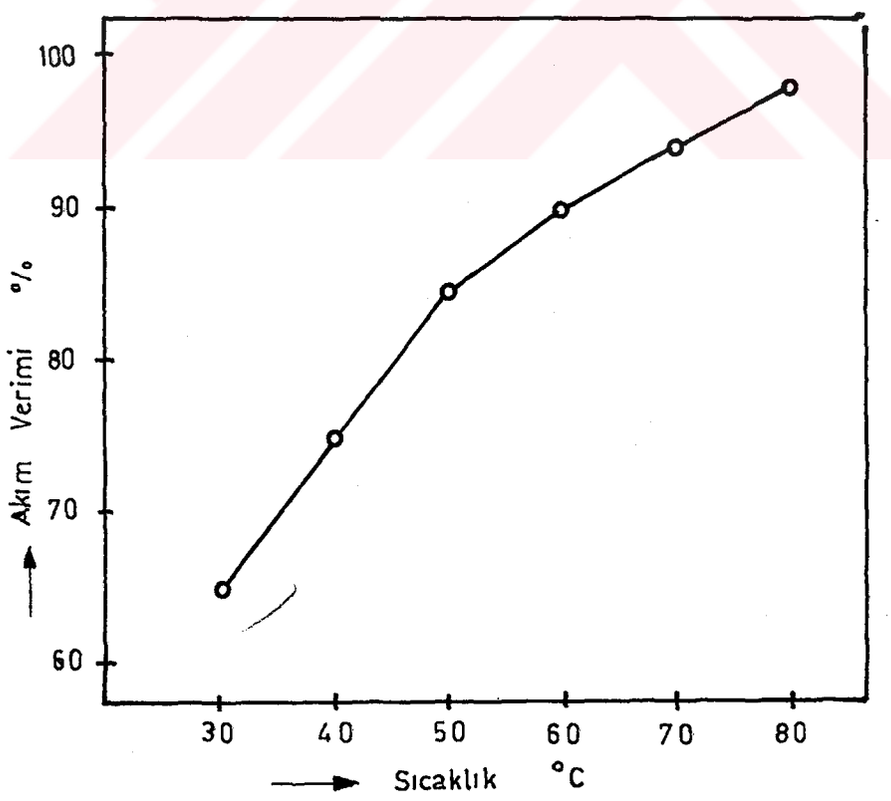
Şekil 21. Akım yoğunluğunun kaplanan malzeme miktarına etkisi
Sıcaklık: 60°C, Süre: 20 dk, PH: 4



Şekil 22. Akım yoğunluğunun akım verimine etkisi
Sıcaklık: 60°C, Süre: 20 dk, PH: 4



Şekil 23. Banyo sıcaklığının kaplanan malzeme miktarına etkisi
Akım : 4 A/dm^2, Süre : 20 dk, PH : 4



Şekil 24. Banyo sıcaklığının akım verimine etkisi
Akım : 4 A/dm^2, Süre : 20 dk, PH : 4

- Uygulanan Akım Yoğunluklarında Teorik Olarak Kaplanması Gereken Malzeme Miktarının Hesabı

Madde 1.3.3.'deki formülden

$Wt = W.S.I.t$ $\quad W = 1.095$ gr Çizelge 1'den

$S = 0.284\ dm^2$

$I = 8\ A/dm^2$

$t = 20$ dk $= 0.33$ h

$Wt = 1.095 x 0.284 x 8 x 0.33 = 0.8209$ gr

- Akım Verminin (Av) Tespiti

$$Av = \frac{Wg}{Wt} \times 100 = \frac{0.7552}{0.8209} \times 100 = 91.9 = 92$$

3.13.2. Sıcaklık

Diğer değişkenler sabit tutularak 6 değişik sıcaklıkta kaplama yapıldı. Uygulanan değerler Tablo 11'de verilmiştir. Nikel kaplamada sıcaklığın kaplanan malzeme miktarına etkisi Şekil 23, akım verimine etkisi Şekil 24'de verilmiştir.

Tablo 11. Değişik sıcaklıklarda nikel kaplama parametreleri

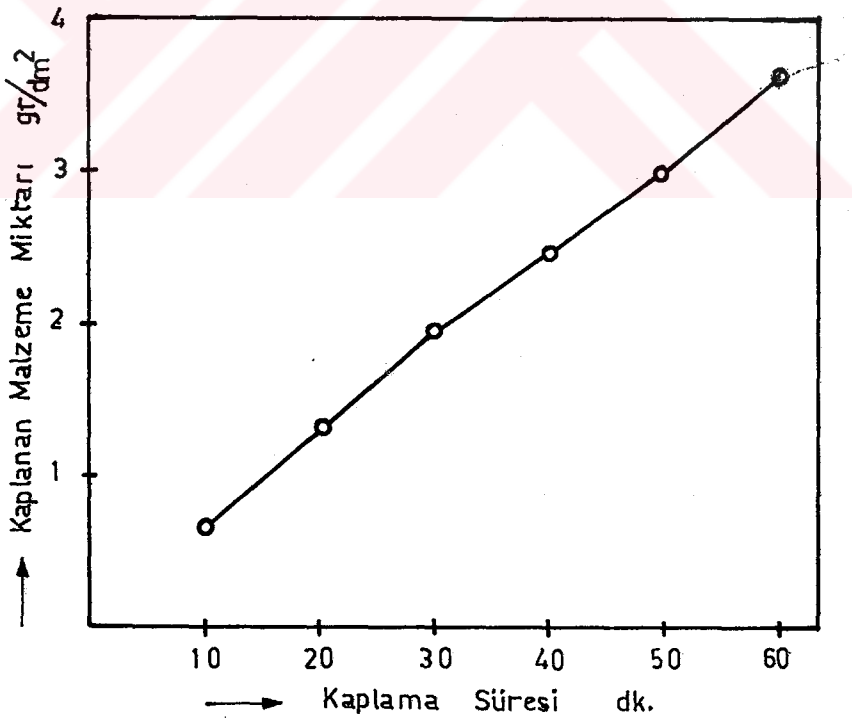
Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Bakır kap Ağr. gr	Son Ağr. gr	Ağr.farkı gr	Teorik Ağr. gr	Akım verimi %
M	4	80	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20	24.3509	24.4215	24.8247	0.4032	0.4104	98
N	4	70	20	4	"	23.9041	23.9747	24.359	0.3843	0.4104	94
I	4	60	20	4	"	23.6739	23.7415	24.1118	0.3703	0.4104	90
O	4	50	20	4	"	23.6727	23.7433	24.090	0.3467	0.4104	84
P	4	40	20	4	"	24.1225	24.1931	24.5029	0.3098	0.4104	75
R	4	30	20	4	"	24.4596	24.5302	24.7970	0.2668	0.4104	65

3.13.3. Kaplama Süresi

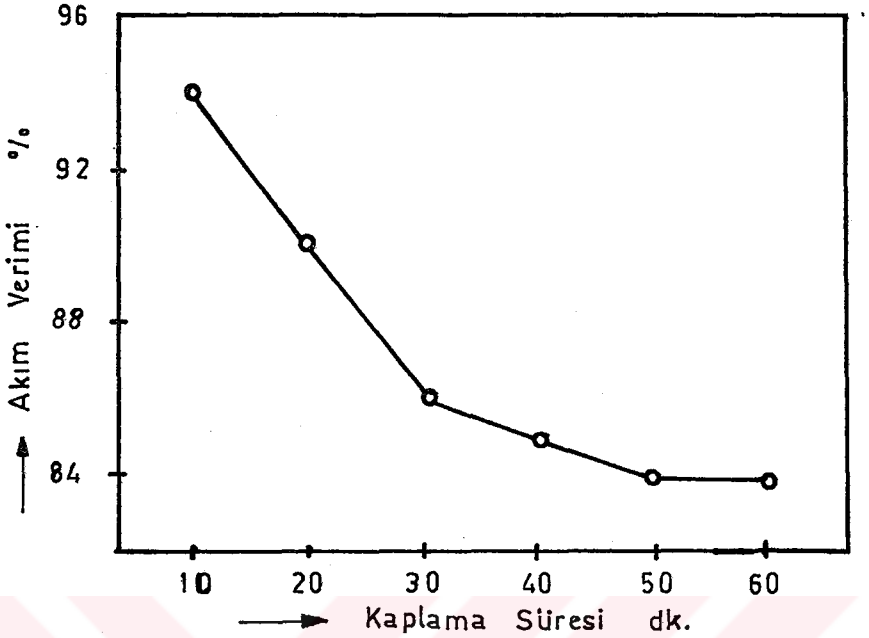
Diğer değişkenler sabit tutularak 6 değişik sürede kaplama yapıldı. Uygulanan değerler Tablo 12'de verilmiştir. Nikel kaplamada kaplama süresinin kaplanan malzeme miktarına etkisi Şekil 25, akım verimine etkisi Şekil 26'da verilmiştir.

Tablo 12. Değişik sürelerde nikel kaplama parametreleri

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Cu Kap Ağr. gr	Son Ağr. gr	Ağr.farkı gr	Teorik Ağr. gr	Akım verimi %
S	4	60	60	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20	23.5049	23.5755	24.6204	1.0449	1.2439	84
T	4	60	50	4	"	24.2832	24.3538	25.22	0.8662	1.0324	84
U	4	60	40	4	"	23.1747	23.2453	23.9432	0.6979	0.8209	85
V	4	60	30	4	"	23.6602	23.7308	24.2641	0.5473	0.6219	86
I	4	60	20	4	"	23.6739	23.7415	24.1118	0.3703	0.4104	90
Y	4	60	10	4	"	24.4772	24.5478	24.742	0.1942	0.2064	94



Şekil 25. Kaplama süresinin kaplanan malzeme miktarına etkisi
Akım : 4A, Sıcaklık : 50 °C, PH : 4



Şekil 26. Kaplama süresinin akım verimine etkisi

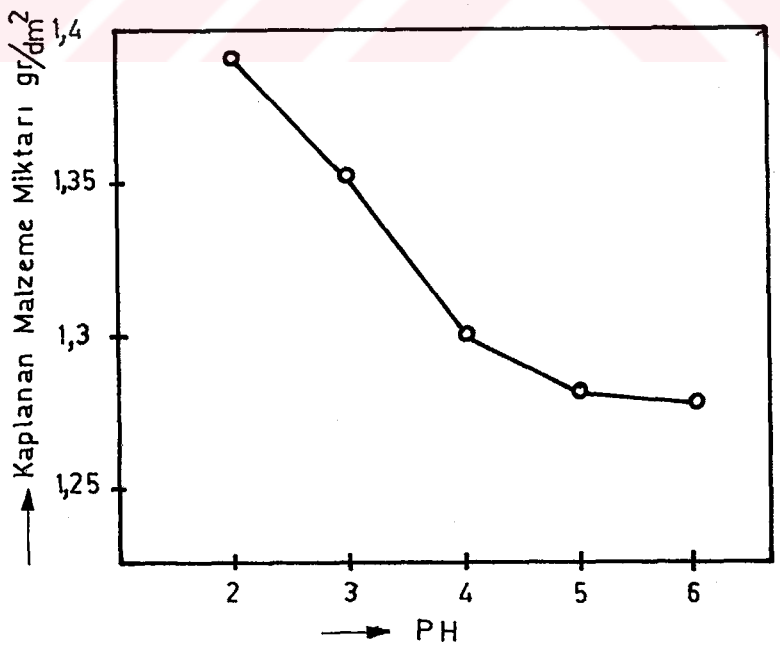
Akım : 4 A/dm^2, Sıcaklık : 60 °C, PH : 4

3.13.4. Banyo PH'ı

Diğer değişkenler sabit tutularak 5 değişik PH'da kaplama yapıldı. Uygulanan değerler Tablo 13'de verilmiştir. Banyo PH'-nın kaplanan malzeme miktarına etkisi Şekil 27, akım verimine etkisi Şekil 28'de verilmişitr.

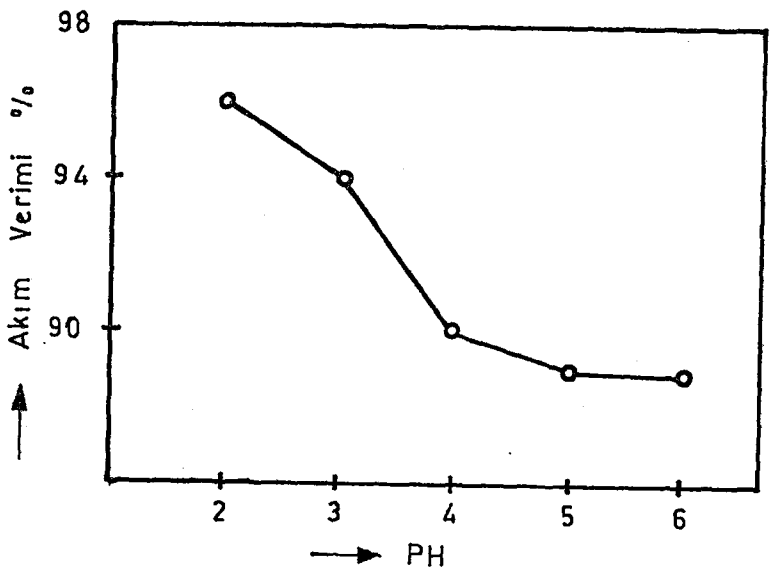
Tablo 13. Değişik PH'larda nikel kaplama parametreleri

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Cu Kap Ağr. gr	Son Ağr. gr	Ağır farkı gr	Teo.Ağr. gr	Akım verimi %
Z	4	60	20	6	$NiSO_4$-200 $NiCl_3$-30 H_3BO_3-20 Na_2SO_4-20	22.5069	22.5775	22.9427	0.3652	0.4104	89
X	4	60	20	5	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-30 Na_2SO_4-10	23.6805	23.7511	24.1172	0.3658	0.4104	89
I	4	60	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20	23.6739	23.7415	24.1118	0.3703	0.4104	90
W	4	60	20	3	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20 H_2SO_4-1	22.9307	23.0013	23.3871	0.3858	0.4104	94
AE	4	60	20	2	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20 H_2SO_4-2	24.1165	24.1871	24.5823	0.3952	0.4104	96



Şekil 27. Banyo PH'nın kaplanan malzeme miktarına etkisi

Akım : 4 A/dm2, Sıcaklık : 60 °C, Süre : 20 dk



Şekil 28. Banyo PH'nın akım verimine etkisi

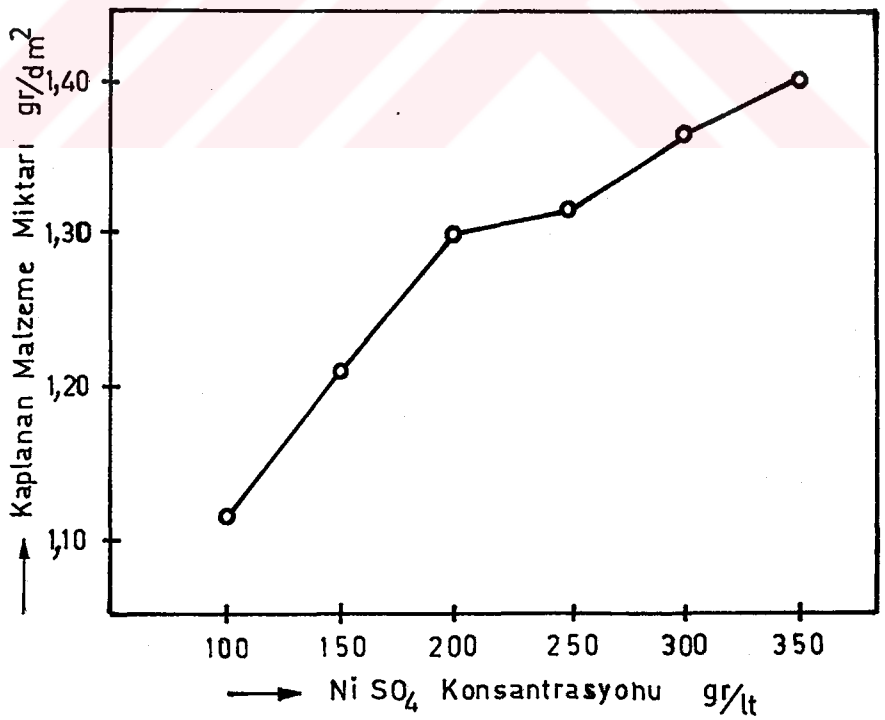
Akım : 4 A/dm^2, Sıcaklık : 60 °C, Süre : 20 dk

3.13.5. Bileşim

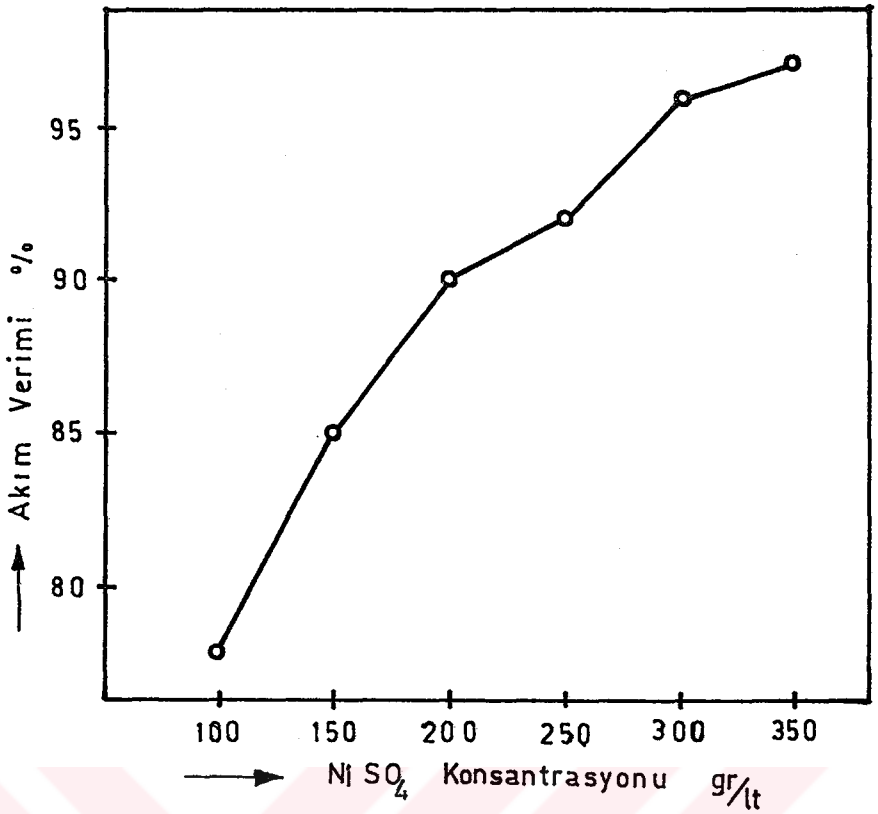
Diğer değişkenler sabit tutularak nikel kaplamada asıl tuz olan nikelsülfatın ($NiSO_4$) 6 değişik konsantrasyonunda kaplama yapıldı. Uygulanan değerler Tablo 14'de verilmiştir. Nikelsülfat konsantrasyonun kaplanan malzeme miktarına etkisi Şekil 29, akım verimine etkisi Şekil 30'da gösterilmişitr.

Tablo 14. Değişik $NiSO_4$ konsantrasyonlarında nikel kaplama parametreleri

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt	İlk Ağr. gr	Cu Kap Ağr. gr	Son Ağr. gr	Ağr.farkı gr	T.Ağr. gr	Akım verimi %
AF	4	60	20	4	$NiSO_4$-350 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20	23.1435	23.2141	23.6127	23.6127	0.3986	97
AG	4	60	20	4	$NiSO_4$-300 $NiCl_2$-20 H_3BO_3-20	23.1913	23.2619	23.6549	0.393	0.4104	96
AH	4	60	20	4	$NiSO_4$-250 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20	23.8375	23.9081	24.2867	0.3786	0.4104	92
I	4	60	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20	23.6739	23.7415	24.1118	0.3703	0.4104	90
AI	4	60	20	4	$NiSO_4$- 150 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20	23.0549	23.1255	23.4736	0.3481	0.4104	85
AK	4	60	20	4	$NiSO_4$-100 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20	24.0942	24.1648	24.4858	0.321	0.4104	78



Şekil 29. $NiSO_4$ konsantrasyonun kaplanan malzeme miktarına etkisi
Akım : 4 A/dm^2, Sıcaklık 60 °C, Süre : 20 dk, PH: 4



Şekil 30. $NiSO_4$ konsantrasyonun akım verimine etkisi
Akım : 4 A/dm^2, Sıcaklık : 60 °C, Süre: 20 dk, PH: 4

3.13.6. Çekme Numunelerini Kaplama

Çekme deneyi için numuneler önce 15 dk. bakırla kaplandıktan sonra diğer değişkenler sabit tutularak, 4 değişik akım, 3 değişik sıcaklık, 3 değişik süre ve 4 değişik PH'da kaplandı. Uygulanan değerler Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15. Çekme numunelerine uygulanan değerler

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim gr/lt
N	8	60	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20
O	6	60	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20
P	4	60	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20
R	2	60	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20
S	4	80	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20
T	4	40	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20
U	4	60	40	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20
V	4	60	60	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20
Y	4	60	20	6	$NiSO_4$-200 NiCl-30 H_3BO_3-20 $NaSO_4$-20
Z	4	60	20	5	$NiSO_4$-200 NiCl-30 H_3BO_3-20 $NaSO_4$-10
X	4	60	20	2	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20 H_2SO_4-2

3.13.7. Hareketli Banyoda Nikel Kaplama

Nikel banyoları plastik bir parça ile karıştırılarak kaplama yapıldı. Uygulanan değerler Tablo 16 'da verilmiştir.

Tablo 16. Hareketli banyoda nikel kaplama değerleri

Parça Kodu	Akım A/dm^2	Sıcaklık °C	Süre dk	PH	Bileşim	İlk.Ağr. gr	Bak.Kop.Ağr. gr	Son.Ağr. gr	Ağr.farkı gr	Teorik gr	Akım Verimi %
AY	4	60	20	4	$NiSO_4$-200 $NiCl_2$-30 H_3BO_3-20	23.6874	23.7580	24.1455	0.3875	0.4104	94
AJ	4	40	20	4	"	23.1237	23.1943	23.5251	0.3308	0.4104	81
AX	2	60	20	4	"	24.0533	24.1239	24.3054	0.1815	0,2052	88

3.14. Yapışkanlık Deneyi

Yapışkanlık deneyleri her değişik değerde bakır ve nikel kaplanmış numuneye uygulanmıştır.

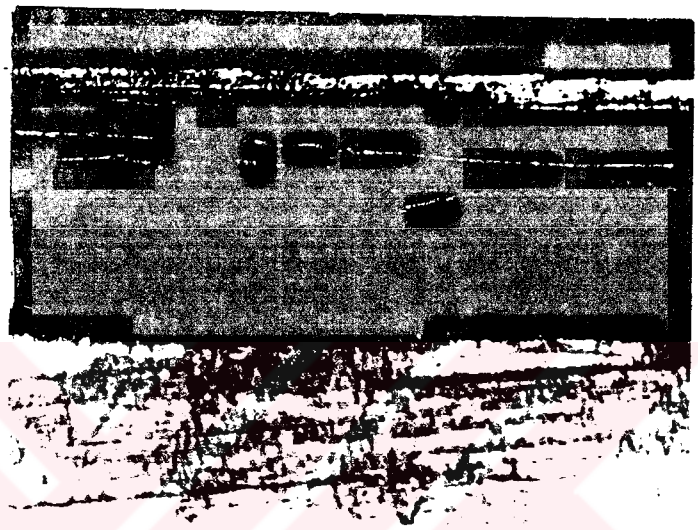
3.14.1. Parlatma Metodu

Numuneler, madde 1.7.2.1. 'de anlatıldığı gibi, bir ucu düzgün, yarım küre, 6 mm çapında çelik bir çubukla 15 sn parlatılmış, parlatılan bölgeler gözle ve büyüteçle incelenmiştir. Numunelerde herhangi bir kabarma ve kalkma görülmemiştir.

3.14.2. Eğe Metodu

Numuneler madde 1.7.2.1. 'de anlatıldığı gibi, kaba dişli bir eğe ile eğelenmiş. Bu bölgeler gözle ve büyüteçle incelenmiştir

Bakır kaplanmış numunelerden B, G, V de, Nikel kaplanmış numunelerden J, M, ve N'de değişik büyüklüklerde kabarma ve kalkmalar görülmüştür. Kalkan kaplamanın mikroskop altındaki görünüşü Şekil 31'de verilmiştir.



Şekil 31. Eğeleme sonucunda kalkan kaplama

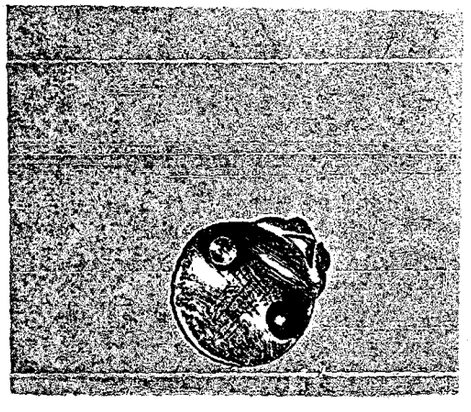
3.14.3. Kesme Metodu

Numuneler madde 1.7.2.1. de anlatıldığı gibi testere ile kesilmiş kesilen kısımlar gözle ve büyüteçle incelenmiştir. Bakır kaplanmış numunelerden G, L, O ve V'de nikel kaplanmış numunelerden G, L, R, S ve T'de çeşitli büyüklüklerde kabarma ve kalkmalar görülmüştür. Testere ile kesme sonucunda kalkan kaplamanın mikroskop altında görünüşü Şekil 32'de verilmiştir.

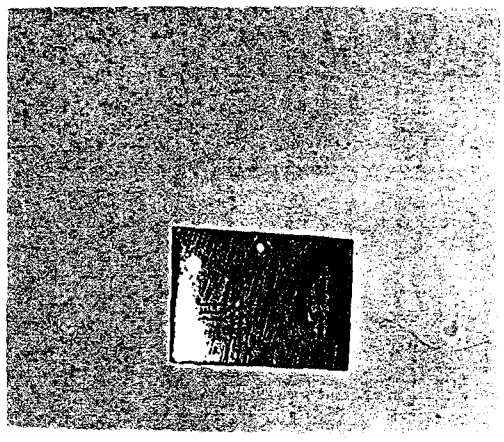
Şekil 32. Kesme sonucunda kalkan kaplama

3.14.4. Çizme ve Kareleme Metodu

Numuneler, madde 1.7.2.1.4'de anlatıldığı gibi çelik bir çizecekle alt metale ulaşacak şekilde çizilde. Çizilen kısımlar gözle ve büyüteçle incelenmiştir. Bakır kaplanmış numunelerden A, K ve L'de nikel kaplanmış numunelerden L, R, S ve AK de değişik büyüklüklerde kalkma ve kabarmalar görülmüştür (Şekil 33, 34).



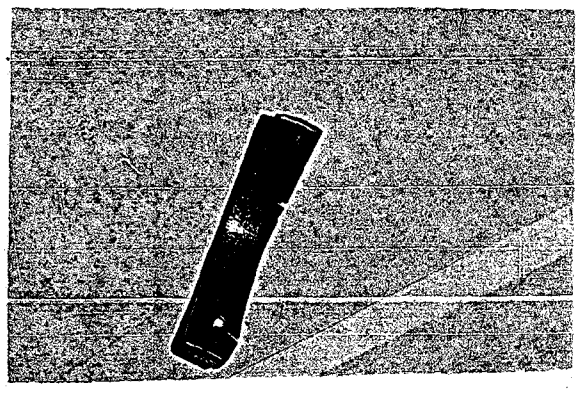
Şekil 33. Çizme ve kareleme deneyi sonucu kabarmış ve kalkmış bakır kaplama.



Şekil 34. Çizme ve kareleme deneyi sonucu kabarmış ve kalkmış nikel kaplama.

3.14.5. Eğme Metodu

Numuneler, madde 1.7.2.1.5'de anlatıldığı gibi eğilmiştir. Ancak "Zamak-5" alaşım fazla sünek olmadığı için, özellikle serbest döküm parçalar 20°-25°'lik eğilmelerde kırılmaktadır. Bu yüzden numunelerin bazıları eğme sırasında kırılmış ve bu bölgelerde göz ve büyüteçle incelenmiştir. İnceleme sonucunda bakır kaplanmış numunelerden B, L ve V'de, nikel kaplanmış numunelerden K, M, S ve T'de değişik büyüklüklerde kabarma ve kalkma görülmüştür (Şekil 35, 36).

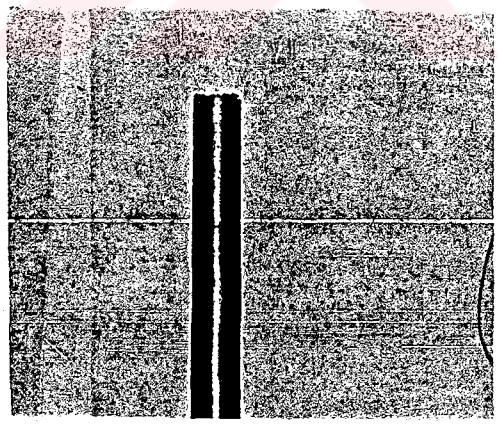


Şekil 35. Eğme deneyi sonucu kabarmış bakır kaplama.

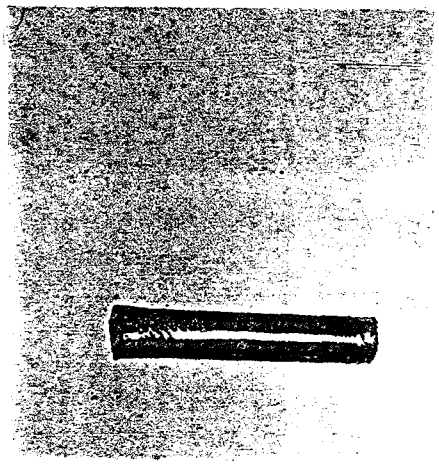
Şekil 36. Eğme deneyi sonucu kalkmış nikel kaplama

3.14.6. Çekme Metodu

Çekme numuneleri madde 1.7.2.1. 'da anlatıldığı gib çekme cihazında kopuncaya kadar çekilmiştir. Kopan kısımlar gözle ve büyüteçle incelenmiştir. Bakır kaplanmış numunelerden C de, nikel kaplanmış numunelerden N, U ve V de değişik büyüklüklerde kabarma ve kalkmalar görüldü(Şekil 37, 38).



Şekil 37. Çekme deneyi sonucu kabarmış bakır kaplama



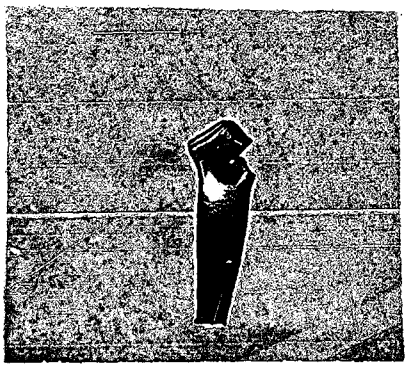
Şekil 38. Çekme deneyi sonucu kalkmış nikel kaplama

3.14.7. Termal Şok Metodu

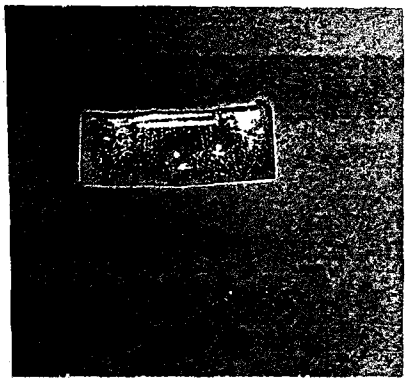
Numuneler Madde 1.7.2.1. 'de anlatıldığı gibi tav fırınında 150°C (Çizelge 3'den) ısıtıldıktan sonra su içerisine atılarak soğutulmuştur. Numunelerde gözle ve büyüteçle inceleme sonucunda herhangibir kaplama kabarması ve kalkması görülmemiştir.

3.14.8. Çökertme Metodu

Madde 1.7.2.1. 'de anlatıldığı gibi numuneler çökertilerek bu kısımlar gözle ve büyüteçle incelenmiştir. Bakır kaplanmış numunelerden F, K ve AL'de, nikel kaplanmış numunelerden S ve T de değişik büyüklüklerde kabarmalar görülmüştür (Şekil 37, 38).



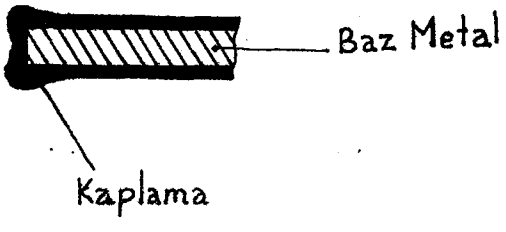
Şekil 39. Çökertme deneyi sonucu kabarmış bakır kaplama



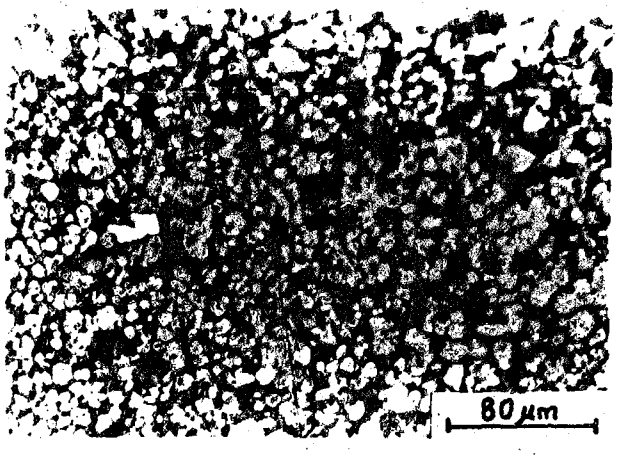
Şekil 40. Çökertme deneyi sonucu kabarmış nikel kaplama

3.14.9. Mikroskopla Kesit ve Yüzey İncelemesi

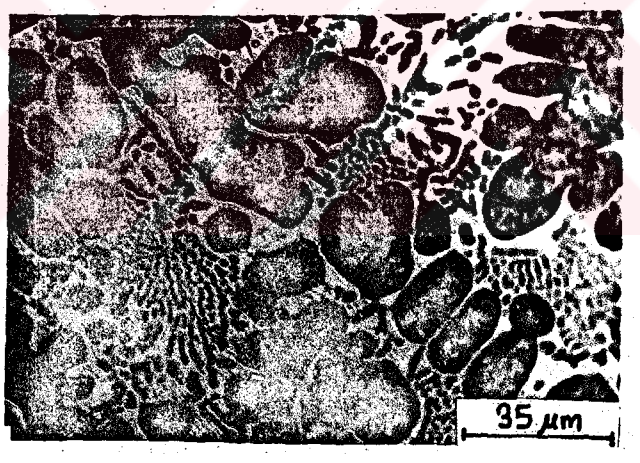
Numuneler çeşitli yerlerinde kesildikten sonra zımparalama ve parlatma yapılarak mikroskop altında incelenmiştir. Özellikle durgun banyolarda, köşelerde kaplama yığılması olduğu görülmüştür (Şekil 41). Ayrıca, pres döküm ve serbest döküm numunelerin mikroyapıları incelenmiştir (Şekil 42, 43).



Şekil 41. Hareketsiz kaplamada kaplamanın köşelerde yığılışı.



Şekil 42. Pres dökÜm "Zamak 5"in mikroyapısı

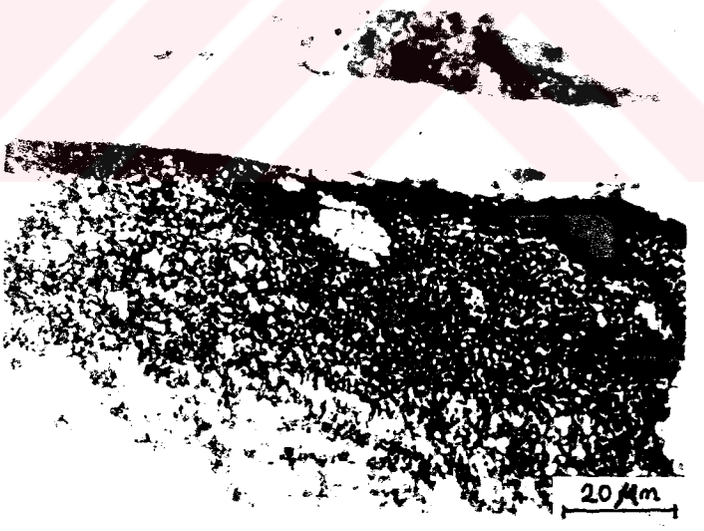


Şekil 43. Serbest DökÜm "Zamak 3"in mikroyapısı

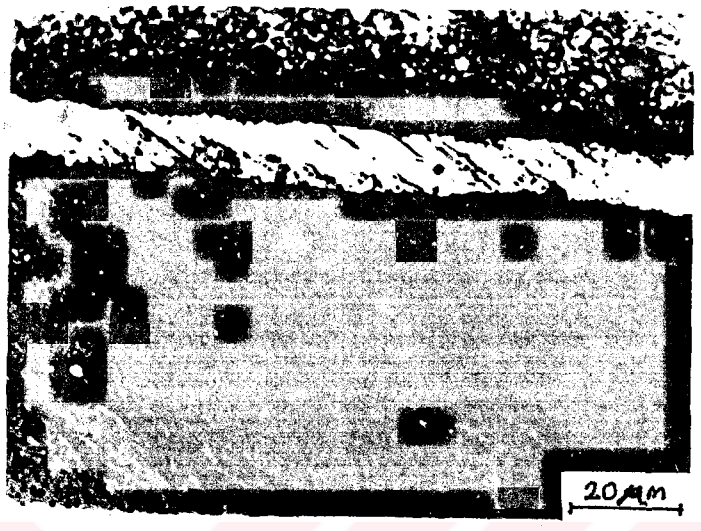
Mikro yapıda siyah bölgelerde primer dentritler (η fazı) beyaz bölgelerde ise lamelli ötektik ($\alpha + \beta$) yapı görÜlmektedir).

Numunelerin kesiti ve yüzeylerinin mikro fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

Şekil 44. 1.5 A/dm^2 akım altında 30 dk. süreyle bakır kaplama sıcaklık 55°C, PH:10

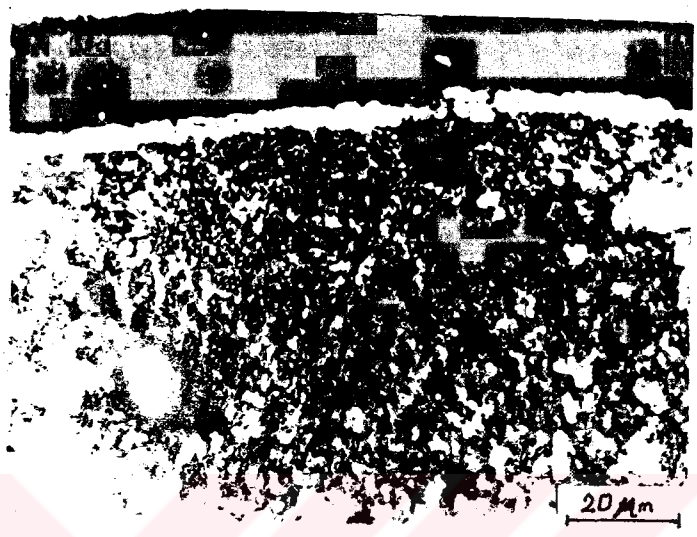


Şekil 45. 0.5 A/dm^2 akım altında 60 dk süreyle bakır kaplama sıcaklık 55°C, PH:10

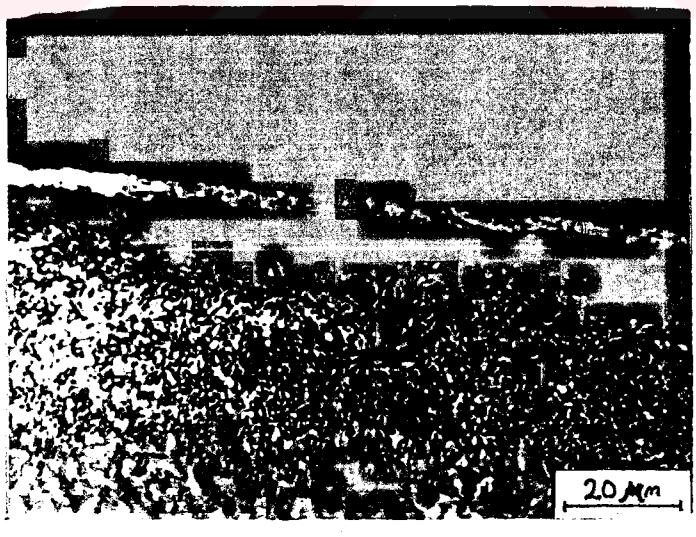


Şekil 46. 0.5 A/dm^2 akım altında 30 dk süreyle bakır kaplama sıcaklık 80 °C PH: 10

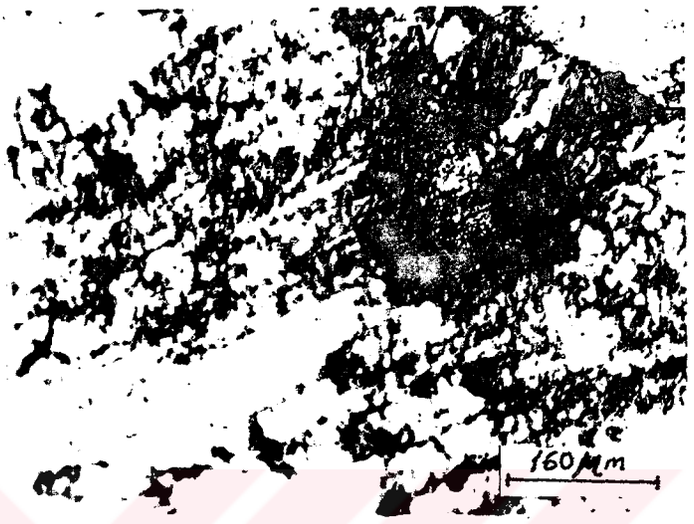
Şekil 47. 0.5 A/dm^2 akım altında 30 dk süreyle bakır kaplama sıcaklık 55°C, PH:13



Şekil 48. 0.5 A/dm^2 akım altında 15 dk süreyle bakır kaplama sıcaklık 55 °C, PH: 10

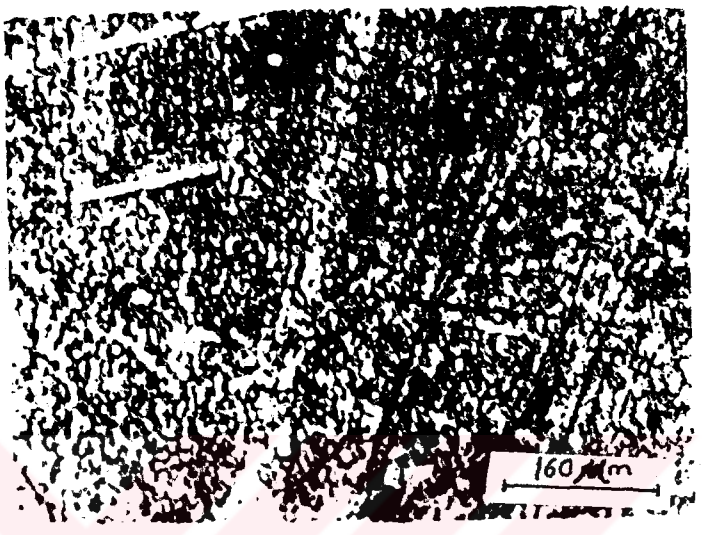


Şekil 49. 0.25 A/dm^2 akım altında 30 dk süreyle bakır kaplama sıcaklık 55 °C PH: 10



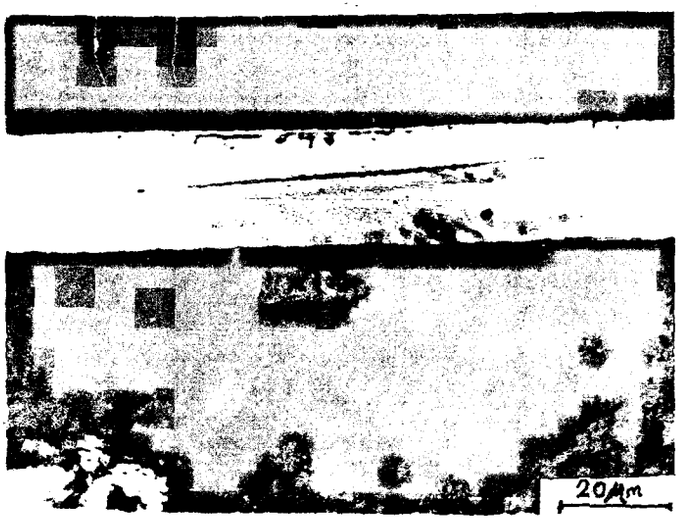
Şekil 50. 0.5 A/dm^2 akım altında 30 dk süreyle bakır kaplama sıcaklık 55 °C PH: 8

Şekil 51. 0.5 A/dm^2 akım altında 30 dk süreyle bakır kaplama sıcaklık 25 °C, PH: 10



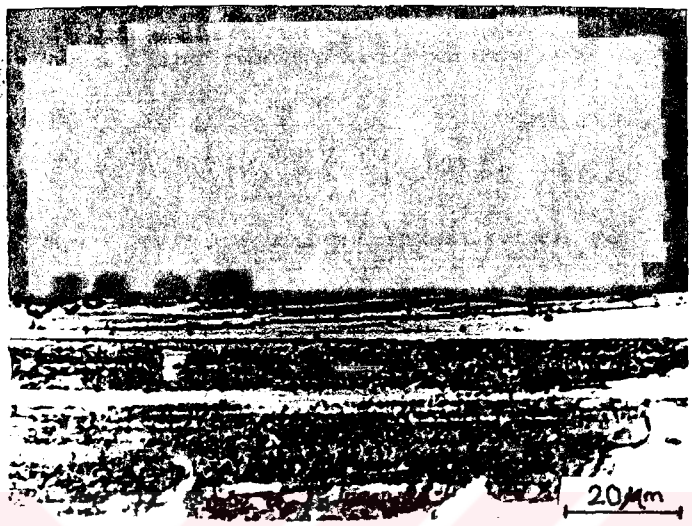
Şekil 52. 0.5 A/dm^2 akım altında 30 dk süreyle bakır kaplama sıcaklık 55 °C PH: 10

Şekil 53. 0.25 A/dm^2 akım altında 30 dk süreyle bakır kaplama Sıcaklık : 55 °C PH : 10



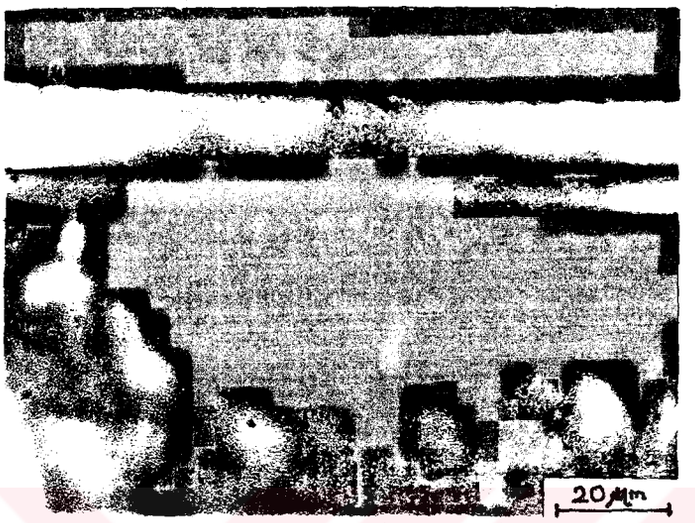
Şekil 54. 6 A/dm^2 akım altında 20 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık 60 °C PH: 4

Şekil 55. A/dm^2 akımaltında 20 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık 60 °C, PH: 4



Şekil 56. 4 A/dm^2 akım altında 20 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık : 80 °C, PH : 4

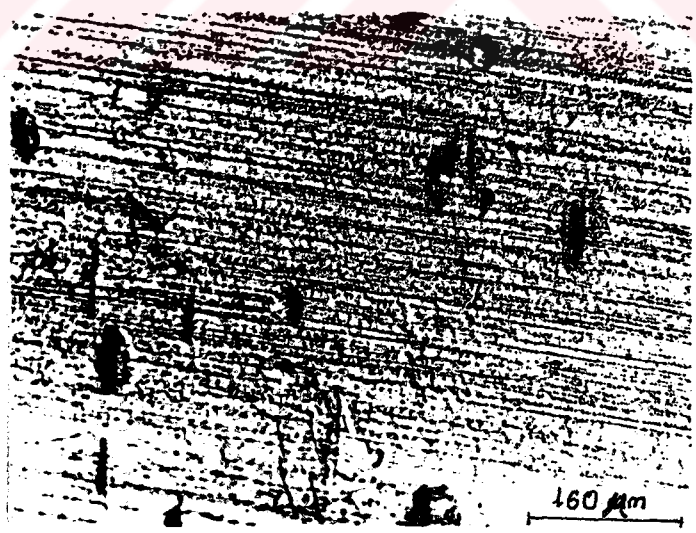
Şekil 57. 4 A/dm^2 akım altında 60 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık : 80 °C, PH : 4



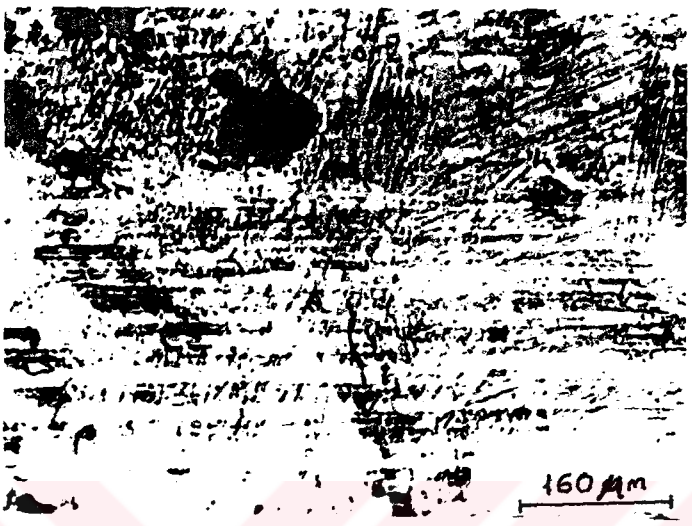
Şekil 58. 8 A/dm^2 akım altında 20 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık : 60 °C, PH : 4

Şekil 59. 6 A/dm^2 akım altında 20 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık : 60 °C, PH : 4

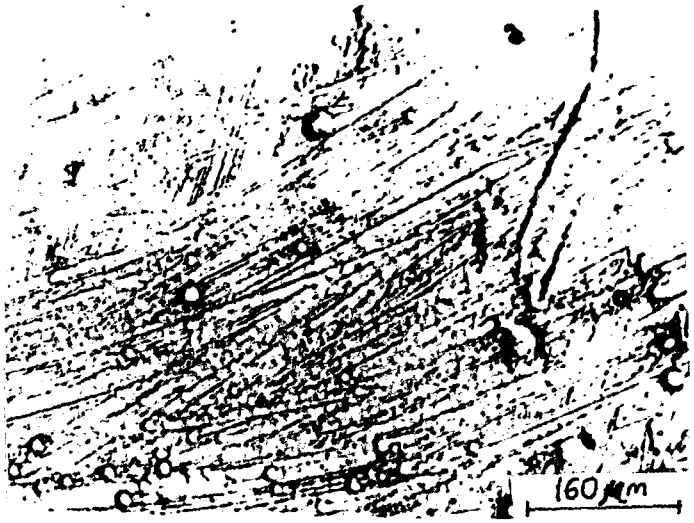
Şekil 60: 4 A/dm^2 akım altında 20 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık : 60 °C PH : 4



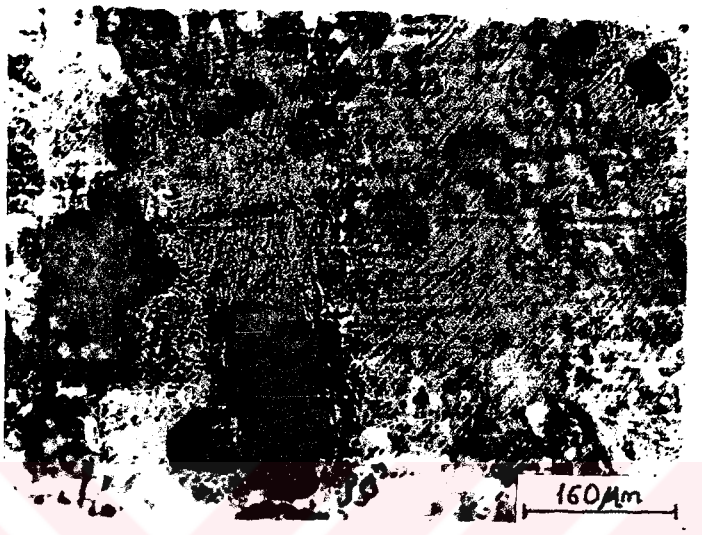
Şekil 61. 4 A/dm^2 akım alıtnda 20 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık : 60 °C, PH : 6



Şekil 62. 4/dm^2 akım altında 20 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık : 30 °C, PH : 4



Şekil 63. 4 A/dm^2 akım altında 20 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık 80 °C, PH : 4



Şekil 64. 1 A/dm^2 akım altında 20 dk süreyle Ni kaplama
Sıcaklık : 60 °C, PH : 4

3.15. Kaplama İşlemi ve Deneylerde Kullanılan Alet ve Teçhizatlar

3.15.1. Doğru Akım Kaynağı (Redresör)

Doğru akım kaynağı olarak 30 V, 3 A çıkışlı, ayarlanabilir, Teknik Eğitim Fakültesi yapımı bir redresör kullanılmıştır. Akım, üzerinde ayarlanmış ayrıca devre bir ampermetre ile kontrol edilmiştir. Akım, anahtarlar yardımıyla, istenen banyoya verilmiştir.

3.15.2. Isıtıcı

Banyoların ısıtılmasında elektrik dirençli metal ısıtıcılar kullanılmıştır.

3.15.3. Termostat ve Termometre

Isıtıcı devresi, istenen banyo sıcaklığına göre ayarlanabilen bir termostata bağlanmıştır. Bunun için ± 3 °C hassasiyetle çalışan, 0-90 °C aralıklı bir termostat kullanılmıştır.

Ayrıca banyo sıcaklıkları, pirinç muhafazalı, 0-130 °C aralıklı bir termometre ile kontrol edilmiştir.

3.15.4. PH Kağıdı

PH'ların ölçümünde PH kağıtları kullanılmıştır.

3.15.5. Elektronik Terazi

Numunelerin tartılmasında 0.1 mg hassasiyetle çalışabilen, "Sartorius 2442" marka elektronik bir terazi kullanılmıştır.

3.15.6. Çekme ve Basma Cihazı

Numunelerin çekilmesinde ve çökertilmesinde hızı ayarlanabilir Universal marka çekme cihazı kullanılmıştır.

BÖLÜM 4

TARTIŞMA ve SONUÇ

4.1. Genel

Genel olarak kaplama işleminde akım yoğunluğu, banyo sıcaklığı, kaplama süresi, banyo PH'ı ve bileşimi gibi faktörler etkili olmaktadır. Bu çalışmada, "Zamak-5" alaşımının kaplanmasında, yukarıdaki faktörlerin kaplanan malzeme miktarı ve akım verimi üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Ayrıca görünüş ve yapışkanlık açısından en uygun kaplama şartları belirlenmiştir.

Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Önce bakır kaplama yapılarak uygun şartlar belirlenmiş sonra nikel kaplamaya geçilmiştir. İki durumda kaplanan numunelere yapışkanlık deneyleri uygulanmıştır.

4.2. Bakır Kaplama

4.2.1. Akım Yoğunluğu

Bakır kaplamada akım yoğunluğunun kaplanan malzeme miktarına ve akım verimine etkisi Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir. Buna göre akım yoğunluğu yükseldikçe kaplanan malzeme miktarında ve akım veriminde bir artış görülmektedir. Ancak 1.25 ve 1.5 A/dm^2 akım yoğunluğunda kaplama yüzeyinde siyahlaşmalar görülmekte, 0.25 A/dm^2 de ise kaplama fazla gözenekli olmaktadır (Şekil 53). Uygun akım yoğunluğu 0.5-1 A/dm^2 arası olarak tespit edilmiştir.

4.2.2. Sıcaklık

Banyo sıcaklığı arttıkça Şekil 12 ve 13'de görüldüğü gibi kaplanan malzeme miktarı ve akım verimi artmaktadır. Ancak, bu artış hızı gittikçe düşmektedir. Banyo sıcaklığı 70 °C'nin üzerine çıktığında kaplama renginde hafif bir bozulma görülmüştür. 50 °C'nin altındaki sıcaklıklarda kaplamada hatalar artmakta yapışkanlık düşmektedir (Şekil 51).

Uygun sıcaklık aralığı 50-65 °C olarak tespit edilmiştir.

4.2.3. Süre

Kaplanan malzeme miktarı, Şekil 14'de görüldüğü gibi kaplama süresi ile artmakta ancak akım verimi düşmektedir (Şekil 15). Yine kaplama artış hızı zamanla düşerek devam etmektedir.

4.2.4. Banyo PH'ı

Banyo PH'nın yükseltilmesi Şekil 16 ve 17'de görüldüğü gibi kaplanan malzeme miktarını ve akım verimini artırmaktadır. Fakat 12 ve 13 PH değerlerinde kaplama görünüşünde bozulmalar olmakta yapışkanlık kalitesi düşmektedir. Düşük PH değerlerinde ise kaplama iyi sonuç vermemektedir. (Şekil 50). Ayrıca kaplamada matlık olmaktadır. 9-11 PH değerleri uygun sonuç vermiştir.

4.2.5. Banyo Bileşimi

Siyanürlü bakır banyolarında asıl tuz olan NaCN tuzunun banyo bileşimindeki konsantrasyonunun artırılması Şekil 18 ve

19'da gösterildiği gibi kaplanan malzeme miktarını ve akım verimini artırmaktadır. NaCN konsantrasyonun yükselmesi kaplama parlaklığını artırmaktadır. 120 gr NaCN konsantrasyonunda son derece parlak bir kaplama elde edilmektedir. 40-50 gr NaCN konsantrasyonunda orta parlak kaplama, daha düşük değerlerde ise mat kaplama elde edilmektedir. Buna göre parlak kaplamalar için 60 gr'ın üzerinde NaCN önerilebilir. Alt kat kaplamalar için 20-40 gr NaCN konsantrasyonu yeterli olmaktadır.

4.2.6. Banyo Hareketinin Sonucu

Hareketli banyoda aynı şartlara göre kaplanan malzeme miktarı ve akım verimi artmaktadır. Durgun banyolarda görülen köşelerde kaplama birikmesi hareketli banyolarda çok az olmaktadır.

4.2.7. Uygun Kaplama Parametreleri

Zamak-5 alaşımının orta parlaklıkta bakırla kaplanmasında aşağıda verilen aralıklarda değerlerin seçilmesi en iyi sonucu vermektedir.

NaCN	50-60 gr/lt
CuCN	20 gr/lt
Akım	0.5-1 A/dm^2
Sıcaklık	50-65 °C
PH	9-11

4.3. Nikel Kaplama

4.3.1. Akım Yoğunluğu

Nikel kaplamada akım yoğunluğunun arttırılması kaplanan malzeme miktarını ve akım verimini artırmaktadır Şekil 21, 22'-de görüldüğü gibi 6 A/dm^2 akım yoğunluğunun üzerinde akım veriminde ve kaplama yapışkanlığında bir düşme tespit edilmiştir. Yüksek akımla kaplamada yapışkanlıkda bozulma olduğu, görülmüştür. Yüksek akımda parlaklık artmaktadır. Düşük akımlarda kaplamada, büyük ölçüde süreksizlikler tespit edilmiştir (Şekil 64). Ayrıca, alt kaplamadaki bozukluklar Zamak-5'in nikelle kaplanmasında olumsuz etki yapmaktadır. Buna göre, uygun akım 3-5 A/dm^2 olarak tespit edilmiştir.

4.3.2. Sıcaklık

Banyo sıcaklığının artışı kaplanan malzeme miktarı ve akım verimini yükseltmektedir (Şekil 23, 24). Yüksek sıcaklıkta, kaplama yapışkanlığında bozulma olduğu tespit edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda kaplama özellikle orta kısımlarda gözenekli olmaktadır. Uygun banyo sıcaklığı 50-70 °C arasındadır.

4.3.3. Süre

Kaplama süresi, bakır kaplamada olduğu gibi, kaplanan malzeme miktarını artırmaktadır (Şekil 25). Ancak, akım veriminde bir azalma söz konusudur (Şekil 26). Ayrıca 30 dk'nın üzerindeki bütün kaplamalarda yapışkanlık açısından bozukluk tespit edilmiştir.

4.3.4. Banyo PH'ı

Banyo PH'ına bağlı olarak kaplanan malzeme miktarında ve akım veriminde artma veya azalma görülmektedir (Şekil 27 ve 28). PH'ın 5'i geçmesi halinde kaplamadaki süreksizlikler artmakta, parlaklık azalmaktadır (Şekil 61). PH'ın 2 ve daha düşük değerlerinde kaplama yapışkanlığı bozulmakta, kaplama kenarlarında küçük çaplı (ø 0.1-0.3 mm) parçacıklar toplanmaktadır. Zamak-5 alaşımının ikinci kat olarak nikel kaplanmasında uygun PH değeri 4-5 arasındadır.

4.3.5. Banyo Bileşimi

Nikel banyolarında asıl tuz olan $NiSO_4$ tuzunun banyo bilişemindeki konsantrasyonunun artırılması şekil 24 ve 25'de görüldüğü gibi kaplanan malzeme miktarını ve akım verimini artırmaktadır. Yüksek değerler parlaklığa yardımcı olmaktadır. Düşük değerli konsantrasyonlarda özellikle köşelerde yığılma görülmektedir. $NiSO_4$ konsantrasyonu 150 gr/lt'nin altında olmamalıdır. Bunun üzerindeki değerler istenen kaplama kalınlığına göre tercih edilmelidir. Düşük akım yoğunluğunda (2-3 A/dm^2) yüksek $NiSO_4$ konsantrasyonu düşük akımın zararlı etkilerini gidermektedir.

4.3.6. Banyo Hareketinin Etkisi

Aynı şartlarda yapılan kaplamalarda kaplanan malzeme miktarı ve akım verimi hareketli banyolarda daha yüksek olmaktadır. Kaplama kalınlık farklılıkları azalmaktadır ve yapışkanlık açısından daha iyi sonuçlar alınmaktadır.

4.3.7. Uygun Kaplama Parametreleri

Zamak--5 alaşımının nikelle kaplanmasında aşağıda verilen değerler arasında iyi sonuç alınmıştır.

$NiSO_4$	150-250 gr/lt
NiCl	30-40 gr/lt
H_3BO_3	20-30 gr/lt
Akım	3-5 A/dm^2
Sıcaklık	50-70 °C
PH	4 -5

Ayrıca, nikel kaplamalardan önceki bakır kaplamaların dikkatli yapılması, gözenekli olmaması, nikel kaplamanın başarısını artırmaktadır. Her iki kaplamada da hareketli banyo tercih edilmelidir. Hareketli banyoların hidrojen çıkışını kolaylaştırması kaplamanın yapışkanlığını artırdığı söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. BENNETT, L.H. et al., Economic Effects of Metalic Corrosion in the United States, NBS Special Pub. 511-1, 1978.

2. ÇAKIR, A.F., AKGÜN, V., ÜRGEN, M., Korozyonun Türk Ekonomisine Maliyeti, TÜBİTAK VIII Metalurji Sempozyumu, İstanbul, 1984.

3. YONAR, İ.K., GALVONO TEKNİK, M.E.B., İstanbul, 1979.

4. ÇAKIR, A.F., Korozyonda Korunmada Metalik Kaplamalar, ODTÜ 1. Korozyon Simpozyumu Bildirileri, Ankara, 1988.

5. SEYHAN, H., ARKUN, E., Metallerin Elektrolitik yöntemlerle Kaplanması - Yüzey Temizleme, TÜBİTAK Bilgi Profili, 19.

6. W. CANNING END CO.LTD., CANNING HAWDBOOK ON ELECTROPLATING, 21. ed., London, 1970.

7. LOWENHEIM, F.A., ELOCTROPLATING, McGraw-Hill book Campany New Yok, 1978.

8. T.S.E., Metalik Kaplamalar. Kaplama Kalınlığının Ölçülmesi Anodik Çözünmeli Kalorimetrik Yöntem, TS 3179, 1978.

9. TSE, Metalik ve Diğer İnorganik Kaplamalar-Kaplama Kalınlığının Ölçülmesi, Fizeav Çok Işın Demetli Girişim Yöntemi, TS 3290, 1979.

10. TSE, Metalik Kaplamalar-Elektro ve Kimyasal Birikimli Metalik Kaplamaların Alt Tabakaya Yapışkanlık Deneyi Metodları, TS 3982, 1983.

11. TSE, Bakırla Hızlandırılmış Asetikasit Tuz Deneyi, TS 3318, 1979.

12. SEYHAN, H., ARKUN, E., Metallerin Elektrolitik Yöntemlerle Kaplanması-Bakır Kaplama, TÜBİTAK, Bilgi Profili, 20. 1976.

13. SEYHAN, H., ARKUNG, E., Metallerin Elektrolitik Yöntemlerle Kaplanması-Nikel Kaplama, TÜBİTAK, Bilgi Profili 21. 1976.

14. ARIKAN, R., Mo52 İlaveli Za25 Alaşımının Aşınma Özellikleri., 5. Met.Kong. ve Sergisi, TMMOB Met.Müh.Odası, Ankara, 1988

15. VOEST-Alpine, Alzen 305, Alzen 501 White Bronse, 1976.

16. MURPHY, S., Solid Phose Reactions In Low-Cooper Part of the Al-Cu-Zn System, Zatschrift, Metalkunde, Vol 71, pp.96-102, 1982.

17. PRENSYAKOV, A.A., GORBON, Y.A., and Cheryakov VV., Zhur-Fiz. Khim, Vol 35, pp.163-168, 1975.

18. GOLDAK, G.R., and PARR, J.G., J.Inst. Metals, Vol:92, pp.230, 1964.

19. A.S.M., METALS HANDBOOK, Vol:2, Ohio 1978.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi