

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKIMSIZ Ni – B KAPLAMALARIN 7075 Al ALAŞIMININ YORULMA
DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Raşid Ahmed YILDIZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKIMSIZ Ni – B KAPLAMALARIN 7075 Al ALAŞIMININ YORULMA
DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Raşid Ahmed YILDIZ
(503091340)**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Malzeme ve İmalat Programı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503091340 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Raşid Ahmed YILDIZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**AKIMSIZ Ni – B KAPLAMALARIN 7075 Al ALAŞIMININ YORULMA DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kenan GENEL**

Sakarya Üniversitesi

Doç. Dr. Celaletdin ERGÜN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **19 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **27 Ocak 2012**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca, engin bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ'e, tez çalışmam esnasında karşılaştığım güçlüklerde kıymetli zamanını benimle paylaşan değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Vahdet UÇAR ve Prof. Dr. Kenan GENEL 'e teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Ayrıca, bu günlere ulaşmamı sağlayan, benden desteklerini hiç esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Aralık 2011

R. Ahmed YILDIZ
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı	1
2. ALÜMİNYUM	3
2.1 Giriş	3
2.2 Alüminyumun Genel Özellikleri	4
2.3 Alüminyum Alaşımları	6
2.4 Alüminyum Alaşım Sistemlerinde Alaşım Elementinin Etkisi.....	7
2.4.1 Alüminyum – Bakır İkili Alaşım Sistemi	8
2.4.2 Alüminyum – Magnezyum İkili Alaşım Sistemi	8
2.4.3 Alüminyum – Çinko İkili Alaşım Sistemi	8
2.5 Çökelme Sertleşmesi	9
2.6 7075 Alüminyum Alaşımı	12
3. YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİ	15
3.1 Giriş	15
3.2 Karbürleme (Sementasyon).....	15
3.2.1 Katı Karbürleme	16
3.2.2 Gaz Karbürleme	16
3.2.3 Vakum Karbürleme	16
3.2.4 Sıvı Karbürleme	17
3.3 Karbonitrüleme	17
3.3.1 Sıvı Karbonitrüleme	18
3.3.2 Gaz Karbonitrüleme	18
3.4 Nitrüleme	18
3.5 Borürleme	19
3.6 Yüzey Isıtmayla Sertleştirme	19
3.6.1 İndüksiyonla Sertleştirme	19
3.6.2 Alevle Sertleştirme	20
3.6.3 Lazer ve Elektron Işımlarıyla Sertleştirme	20
3.7 Mekanik Yüzey Sertleştirme Yöntemleri	21
3.7.1 Bilya Püskürtme	21
3.7.2 Yüzey Haddelme	21
3.7.3 Patlama ile Sertleştirme	21
3.8 Yüzey Kaplamaları	21
3.8.1 Elektrolitik Kaplama	22

3.8.2 Akımsız Kaplama.....	23
3.8.3 Sıcak Daldırma.....	23
3.8.4 Isıl Püskürtme.....	24
3.8.5 Yayınma Kaplaması	24
3.8.6 Giydirme.....	24
3.8.7 Buhar Yoğuşturma Kaplaması	24
3.8.7.1 Kimyasal Buhar Yoğuşturma Kaplaması	25
3.8.7.2 Fiziksel Buhar Yoğuşturma Kaplaması.....	25
3.8.8 Dönüşüm Kaplamaları.....	25
3.8.8.1 Fosfatlama	25
3.8.8.2 Kromatlama.....	26
3.8.8.3 Oksitleme	26
3.8.8.4 Emay Kaplama	27
3.8.8.5 Boyama.....	27
4. AKIMSIZ NİKEL KAPLAMA.....	29
4.1 Akımsız Nikel Kaplama Banyosu Bileşenleri	32
4.2 Nikel İyonları Kaynağı	32
4.3 İndirgen Maddeler	33
4.3.1 Sodyum Hipofosfit ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).....	34
4.3.2 Dimetilaminboron	34
4.3.3 Sodyum Borohidrür.....	35
4.3.4 Hidrazin.....	36
4.4 Kompleks Oluşturucular	36
4.5 Dengeleyiciler.....	37
4.6 Enerji	38
4.7 Akımsız Nikel Kaplanacak Numune	39
5. AKIMSIZ NİKEL KAPLAMANIN ÖZELLİKLERİ	41
5.1 Akımsız Nikel Fosfor Kaplama.....	41
5.2 Akımsız Nikel Bor Kaplama	43
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
6.1 Kaplama ile İlgili Çalışmalar.....	47
6.1.1 Numune Malzemesi.....	47
6.1.2 Kaplama Öncesi Yapılan Ön İşlemler.....	47
6.1.2.1 Çelik Numunelere Uygulanan Ön İşlemler	48
6.1.2.2 Alüminyum Numunelere Uygulanan Ön İşlemler	49
6.1.3 Akımsız Nikel – Bor Banyolarının Hazırlanması	51
6.1.3.1 Dengeleyici Olarak Talyum Nitrat Kullanılan Akımsız Ni – B Banyo Kurulumu	52
6.1.3.2 Dengeleyici Olarak Kurşun Nitrat Kullanılan Akımsız Ni – B Banyo Kurulumu	53
6.1.3.3 Dengeleyici Olarak Kurşun Tungstat Kullanılan Akımsız Ni – B Banyo Kurulumu	54
6.1.3.4 Akımsız Ni – W – B Banyosunun Kurulumu	55
6.1.4 Kaplama Sonrası Tavlama Sıcaklığının Belirlenmesi.....	56
6.1.5 Kalınlık Ölçümleri.....	56
6.1.6 Sertlik Ölçümleri	57
6.1.7 X – Işınları Difraksiyon Analizi (XRD).....	58
6.1.8 Optik Mikroskop, Stereo Mikroskop ve SEM İncelemeleri	58
6.1.9 Korozyon Deneyleri	59
6.2 Yorulma Deneyi ile İlgili Çalışmalar	59

6.2.1 Yorulma Deneyinde Kullanılan Numuneler	59
6.2.2 Çekme Deneyi	60
6.2.3 Yorulma Deney Düzenegi	61
6.2.4 Gerilme Hesabı	61
7. SONUÇLAR	65
7.1 Akımsız Ni – B Kaplama Banyosu Seçimi	65
7.2 Kaplama Banyosu için En Uygun Sıcaklığın Belirlenmesi	66
7.3 Ni – W – B Banyosu için $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ İlavesinin Belirlenmesi	67
7.4 Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	68
7.5 Kaplama Sonrası Tavlama Sıcaklığının Belirlenmesi	68
7.6 Kaplamaların Faz Analizlerinin İncelenmesi	74
7.7 SEM ve EDS Analizlerinin İncelenmesi	76
7.8 Korozyon Deneyleri Sonuçları	81
7.8.1 Daldırma Deneyi Sonuçları	81
7.8.2 Polarizasyon Eğrilerinin Oluşturulması	81
7.9 Yorulma Deneyi Sonuçları	83
7.9.1 Havada Gerçekleştirilen Yorulma Deneyi Sonuçları	83
7.9.2 Korozyonlu Yorulma Deneyi Sonuçları	84
8. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	89
9. KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	97

KISALTMALAR

AN	: Akımsız Nikel
CVD	: Kimyasal Buhar Çökeltmesi
DEAB	: Dietilamin Bor
DMAB	: Dimetilamin Bor
EDA	: Etilen daimin
GP	: Guinier – Preston
HRC	: C skalasında Rockwell Sertlik Değeri
HVN	: Vickers Sertlik Değeri
PVD	: Fiziksel Buhar Çökeltmesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Alüminyumun Fiziksel ve Mekanik Özelleri	5
Çizelge 2.2 : Dökme alüminyum alaşımları	6
Çizelge 2.3 : Dövme alüminyum alaşımları	7
Çizelge 2.4 : 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi	12
Çizelge 4.1 : Nikel İndirgeyiciler	33
Çizelge 5.1 : Ni-B ve Ni-P Kaplama Özelliklerinin Karşılaştırılması	46
Çizelge 6.1 : Çalışmada Kullanılan 7075 Al Alaşımının Kimyasal Bileşimi.....	60
Çizelge 7.1 : Bekletme Süresine Bağlı Olarak Kaplama Kalınlığının Değişimi	65
Çizelge 7.2 : Akımsız Ni – B Kaplama Hızına Sıcaklığın Etkisi	67
Çizelge 7.3 : Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri.	68
Çizelge 7.4 : 125 °C' de Gerçekleştirilen Isıl İşlemin Sertliğe Etkisi.	69
Çizelge 7.5 : 150 °C' de Gerçekleştirilen Isıl İşlemin Sertliğe Etkisi.	70
Çizelge 7.6 : 175 °C' de Gerçekleştirilen Isıl İşlemin Sertliğe Etkisi.	71
Çizelge 7.7 : Akımsız Ni – B Kaplamanın Isıl İşlem Sonrası SEM İncelemesi.....	76
Çizelge 7.8 : Ni – B Kaplamanın EDS Analizi Sonucu.	77
Çizelge 7.9 : Ni – B Kaplamada Gerçekleştirilen EDS Analizi Sonucu.	78
Çizelge 7.10 : Akımsız Ni-W-B Kaplamanın Isıl İşlem Sonrası SEM İncelemesi..	79
Çizelge 7.11 : Ni – W – B Kaplamanın EDS Analizi Sonucu.....	80
Çizelge 7.12 : Ni – B Kaplama İçin EDS Analizi Sonucu.	81
Çizelge 7.13 : Daldırma Deneyi Sonuçları	82
Çizelge 7.14 : Tafel Eğimlerine Göre Hesaplanan Korozyon Değerleri.	83
Çizelge 7.15 : Havada Yorulma Deney Numunelerinin Kırık Yüzeyleri.....	85
Çizelge 7.16 : Korozyonlu Yorulma Deney Numunelerinin Kırık Yüzeyleri.....	88

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Üretilen alüminyumun kullanıma göre dağılımı .	5
Şekil 2.2 : Al - Mg Faz Diyagramı .	9
Şekil 2.3 : Çökelme sertleşmesi işlemi faz diyagramı .	10
Şekil 2.4: Yaşlandırma süresine bağlı olarak bağdaşıklık .	11
Şekil 2.5: Sıcaklık ve süreye bağlı olarak yaşlandırma işlemi .	11
Şekil 2.6: Katı saf metalin çeşitli durumlardaki çekme diyagramları .	12
Şekil 2.7 : Uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımları .	13
Şekil 3.1: İndüksiyonla Isıtmanın Şeması .	20
Şekil 3.2: Alevle Sertleştirilmenin Şematik Görünüşü .	20
Şekil 3.3: Kaplama Şekilleri .	21
Şekil 3.5: Elektrolitik Kaplama Şeması .	22
Şekil 3.5: Akımsız Kaplamada İyon Hareketleri .	23
Şekil 3.6 : İyon Kaplama .	26
Şekil 3.7: Eloksal (Alüminyumun Anodik Oksitlenmesi) .	26
Şekil 4.1 : Akımlı (a) ve Akımsız (b) Kaplamalarda Kalınlık Dağılımı .	32
Şekil 4.2 : Sodyum hipofosfitin kimyasal yapısı .	34
Şekil 4.3: Dimetilaminboron (DMAB) kimyasal yapısı .	35
Şekil 4.4: Sodyum Borohidrür kimyasal yapısı .	35
Şekil 4.5: Dengeleyici derişimine bağlı olarak kaplama hızının değişimi .	38
Şekil 4.6 : Sıcaklığın kaplama hızına etkisi .	38
Şekil 5.1 : Akımsız Nikel Kaplamalarda Fosfor İçeriğinin Etkisi .	42
Şekil 5.2 : Ni – P kaplamanın 1 saat tavlama sonrası sertlik değerleri .	43
Şekil 5.3 : Nikel – Bor Faz Diyagramı .	44
Şekil 5.4 : Isıl işlemin Ni – B Kaplamanın Sertliğine Etkisi .	45
Şekil 6.1 : BONDAL DIP İşlemi Öncesi Alüminyum Yorulma Numuneleri .	50
Şekil 6.2 : BONDAL DIP İşlemi Sonrası Alüminyum Yorulma Numuneleri .	50
Şekil 6.3 : Akımsız Nikel Kaplama Yapılan Deneş Düzenegi .	52
Şekil 6.4 : Bakalite Alma Cihazı .	57
Şekil 6.5 : Bakalite Alınmış ve İncelemeye Hazır Alüminyum Numune .	57
Şekil 6.6 : MicroVickers Sertlik Ölçümlerinde Kullanılan Sertlik Cihazı .	58
Şekil 6.7 : Polarizasyon Eğrilerini Oluşturmak için Kullanılan Sistem .	60
Şekil 6.8: Yorulma Deneş Numunesi İmalat Resmi [8] .	61
Şekil 6.9: Havada Gerçekleştirilen Yorulma Deneşleri için Deneş Düzenegi .	62
Şekil 6.10: Korozyonlu Yorulma Deneşleri için Deneş Düzenegi .	62
Şekil 6.11: Korozyonlu Yorulma Deneşleri için Deneş Düzenegi .	63
Şekil 6.12: Karşı Çenenin Ağırlık Merkezinin Tespiti .	64
Şekil 7.1 : Kaplama Kalınlığının Banyoya Bağlı Olarak Zamanla Değişimi .	66
Şekil 7.2 : Alüminyum Numune Üzerindeki Kaplama Kalınlığı .	66
Şekil 7.3: Banyo Çalışma Sıcaklığının Kaplama Hızına Etkisi .	67

Şekil 7.4 : Eklenen Sodyum Tungstat Miktarının Kaplama Hızına Etkisi.	68
Şekil 7.5 : 7075 Al Alaşımı Sertlik Değişimi.	71
Şekil 7.6 : Ni – B Kaplanmış Numune Yüzeyindeki Sertlik Değişimi.....	72
Şekil 7.7 : Ni – W – B Kaplanmış Numune Yüzeyindeki Sertlik Değişimi.....	72
Şekil 7.8 : Isıl Çevrim Uygulanmış Numunenin Çekme Eğrisi.....	74
Şekil 7.9 : 150 ⁰ C’de 10 Saat Tavlanmış Ni – B Kaplamanın XRD Grafiği.....	75
Şekil 7.10 : 150 ⁰ C’de 10 Saat Tavlanmış Ni – W – B Kaplamanın XRD grafiği. ...	75
Şekil 7.11 : Ni – B Kaplama Üzerinden Gerçekleştirilen EDS Analizi Sonucu	77
Şekil 7.12 : Ni – B Kaplamanın EDS Analizinde Kullanılan SEM Fotoğrafı.....	78
Şekil 7.13 : Ni – W – B Kaplama Üzerinden Gerçekleştirilen EDS Analizi Sonucu.	80
Şekil 7.14 : Ni – W – B Kaplamanın EDS Analizinde Kullanılan SEM Fotoğrafı. ..	80
Şekil 7.15 : Oluşturulan Anodik Polarizasyon Eğrileri.	82
Şekil 7.16 : Havada Gerçekleştirilen Yorulma Deney Sonuçları	84
Şekil 7.17 : Korozyonlu Yorulma Deney Sonuçları	87
Şekil 7.18 : Kaplanmamış Numunede Oyuk Oluşumu (x200 Büyütme)	87
Şekil 7.19 : Kaplanmamış Numunede Oyuk Oluşumu (x1500 Büyütme)	88

AKIMSIZ Ni – B KAPLAMALARIN 7075 Al ALAŞIMININ YORULMA DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde alüminyum alaşımları yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip olmalarından dolayı otomotiv ve uçak/uzay sanayinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Alüminyum alaşımları için kullanım alanları geniş olmasına rağmen en önemli dezavantajları düşük aşınma direncine sahip olmasıdır. İlk olarak 1946 yılında Brinell ve Riddel tarafından ortaya konulan akımsız nikel kaplamanın alüminyum alaşımlarına uygulanması ile yüzeyde sert ve aşınmaya dirençli bir tabaka oluşturulmaktadır. Akımsız nikel kaplama işlemi elektrolitik banyolardan farklı olarak yüzeyde metal biriktirmek için elektrik kaynağına ihtiyaç duymaz. Ayrıca oluşturulan banyoda kaplama geometrisinden bağımsız olarak daldırılan tüm yüzeylerde numune geometrisinden bağımsız olarak eş kalınlıkta kaplamalar elde edilir. Akımsız nikel kaplamalar kullanılan banyoya bağlı olarak akımsız nikel fosfor (Ni – P) ve akımsız nikel bor (Ni – B) şeklindedir ve farklı mekanik özelliklere sahiptirler. Akımsız Ni – P kaplamalar ticari olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ni – B kaplamalar ise; yüksek sertlik ve aşınma dirençlerinden dolayı günümüzde sert krom kaplamaya alternatif olarak gösterilmektedir. Akımsız nikel kaplamalara üçüncü bir element ilave edilmesiyle de akımsız nikel alaşım kaplamalar elde edilmiş olur. Bu kaplamalar belirli özelliklerin elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada öncelikle alüminyum alaşımları üzerine yüksek hızda akımsız Ni – B ve Ni – W – B kaplama yapabilmek için ticari bir akımsız nikel kaplama banyosu kullanılmadan, her bir banyo literatürdeki başarılı banyolardaki çözeltiyi oluşturan bileşenlerin oranları göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu banyolara ile elde edilen kaplamaların kalınlıkları incelenmiştir ve 20 µm kalınlıktaki bir kaplamayı en hızlı ve en ekonomik şekilde elde etmek için en uygun banyo tercih edilmiştir. Bu banyoya belirli özelliklerin elde edilmesini sağlamak amacıyla sodyum tungstat eklenerek kaplama özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Akımsız Ni – B banyosuna sodyum tungstat ilavesi ile alüminyum numune üzerinde akımsız Ni – W – B kaplamanın gerçekleştiği görülmüştür. Kaplamanın en yüksek hızda gerçekleşmesi için çözeltiye ilave edilmesi gereken sodyum tungstat miktarı belirlenmiştir.

Çalışmanın amacına uygun olarak; kaplama sonrası kaplanmış numunelere uygulanacak ısıl işlem ile çökme sertleşmesiyle sertleştirilen 7075 Al alaşımının ısıl işlem şartları (Sıcaklık - süre) ortak olarak belirlenmiştir. Kaplanmış numunelere uygulanan ısıl işlem ile kaplamanın sertlik değerinde bir artış olduğu tespit edilmiştir. Alüminyum numune üzerine gerçekleştirilen akımsız Ni – B ve akımsız Ni – W – B kaplamaların karakterizasyonunun yapılabilmesi amacıyla XRD faz analizleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre ısıl işlem sonrası elde edilen fazlar

literatürdeki Ni – B ve Ni – W – B kaplamalar neticesinde elde edilen fazlarla uyum göstermektedir.

Kaplama sonrası yüzeyler taramalı elektro mikroskopunda incelenmiş ve oluşan mikroyapılar hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Akımsız Ni – B ve Ni – W – B kaplamalar üzerinden gerçekleştirilen EDS analizi ile kaplama üzerindeki kimyasal bileşim belirlenmiştir.

Akımsız Ni – B ve Ni – W – B kaplanmış numunelerin yorulma ve korozyonlu davranışları incelenmeden önce kaplamanın 7075 Al alaşımı numuneye göre korozyon direncinin belirlenmesi amacıyla öncelikle daldırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde ağırlıkça % 3.5 NaCl çözeltisi içerisinde 120 saat bekletilen numunelerin yüzey görüntüsü ile daldırma öncesi yüzey görüntüleri karşılaştırılmıştır. İlaveten, kaplamaların ana malzemeye göre korozyon direncinde meydana getirdiği olumlu etkiyi belirlemek için polarizasyon eğrilerinin oluşturulması deneyi gerçekleştirilmiştir.

Havada gerçekleştirilen yorulma deneyleri sonucunda oluşturulan wöhler eğrileri incelendiğinde Ni – B kaplama sonrası 7075 Al alaşımının yorulma ömrünün azaldığı tespit edilmiştir. Kaplamaya W ilavesi ile de yapı daha gevrek hale geldiği için yorulma ömrü bir miktar daha azalmıştır. % 3.5 NaCl çözeltisinde gerçekleştirilen korozyonlu yorulma deneyleri sonucunda elde edilen wöhler eğrileri incelendiğinde ise Ni – B kaplama sonrası 7075 Al alaşımının ömrü yüksek gerilme değerlerinde azalmış, uzun ömürlü yorulma bölgesinde ise artmıştır. Ni – B banyosuna W ilavesi ile elde edilen Ni – W – B ile kaplanmış sistem korozyonlu yorulmada ömür açısından Ni – B kaplanmış sistem ile paralellik göstermektedir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ELECTROLESS Ni – B DEPOSITIONS ON FATIGUE LIFE OF 7075 Al ALLOY

SUMMARY

Aluminum alloys have a wide range of use in both automotive and aerospace/aircraft industry due to their high strength/density ratio. However, one of the major drawbacks to using aluminum alloys is their poor wear resistance. Moreover, 7075 aluminum alloy constitutes a very important engineering material widely employed in the aircraft and aerospace industry for the manufacturing of different parts and components due to its high strength-to-density ratio. In the aircraft industry, replacement and repair costs represent very significant issues and therefore it is of utmost importance to attempt an extension of the aircraft vessels on a safely basis in order to avoid catastrophic failures. For this purpose, knowledge about the nucleation and propagation of fatigue cracks is a fundamental matter, which would contribute and allow the inspection and repair of the aircraft structures prior to failure.

After the beginning of electroless coating by Brenner and Riddel in 1946, electroless nickel was coated on aluminum alloys to obtain hard and resistant to wear surfaces. Unlike electrolytic nickel coatings electroless nickel does not need the source of electricity. Electroless plating is an autocatalytic process where the substrate develops a potential when it is dipped in electroless solution bath that contains a source of metallic ions, reducing agent, stabilizers and other components. Each process parameter has its specific role on the process and influence the deposit properties such as hardness, wear, corrosion and electrical resistance. The hardness values can be also increased with an appropriate heat treatment. Furthermore, by using electroless plating not only electrically conductive materials but also ceramics, insulators, plastics etc. can be plated. For the last few years, considerable attention is being given towards metal deposition process using electroless plating. By using electroless plating high degree of deposit uniformity can be obtained regardless of part geometry. Electroless nickel coatings differ from the composition of the bath which is used for deposition: electroless nickel – phosphorus (Ni – P) and electroless nickel – boron (Ni – B) and have discrete mechanical properties. Electroless Ni – P coatings are widely employed industrially. On the other hand; Ni – B coatings are addressed as an alternative to hard chrome plating. The co – deposition of other third element within growing film has led to electroless alloy deposition. These coatings are used to gain specific properties. Aluminum alloys, after steel and other ferrous alloys, constitute the largest group of substrates suitable for electroless nickel (EN) plating, due to the improvement in hardness, wear, abrasion resistance, solderability and corrosion resistance that such a coating imparts to these materials. Particularly in the aerospace industry, EN plating has been used extensively for coating aluminum alloys components in order to improve its inherent characteristics. A good example of a successful combination of aluminum and EN in this kind of applications is that

of piston heads, since the light weight of aluminum allows the piston to work more efficiently, while the EN provides wear resistance to extend the useful life of such a component. An interesting feature of EN coatings deposited on aluminum substrates is that residual stresses could be of a compressive nature depending on the P content of the deposit, which would have a beneficial effect on the fatigue performance of the coated system.

In this study, to obtain high deposition rate of electroless Ni – B and Ni – W – B plating three different electroless nickel plating baths were used and none of them are commercially used. The bath which provides highest deposition rate was used to coat electroless Ni – B plating. The three different baths are compared by their deposition rate and the bath which provides 20 μm deposit in most economical and has the highest deposition rate was selected to accomplish electroless Ni – B coating. Sodium tungstate was added to this bath to deposition of electroless Ni – W – B coating. By adding sodium tungstate to the electroless Ni – B bath, electroless Ni – W – B coating was attained. Moreover, the highest deposition rate of coating by adding different amount of sodium tungstate was defined.

It is aimed in this study to obtain both highest strength of 7075 Al alloy and highest hardness of electroless Ni – B and Ni – W – B coatings. Therefore, the heat treatments are designed to optimize the strength of substrate and coating by modifying the time and temperature.

It is determined that after the heat treatments the hardness values of the coatings increased. To define the phases after the heat treatment XRD analyses of electroless Ni – B and Ni – W – B platings were compared to the phases which were defined in the literature after the heat treatments of electroless Ni – B and Ni – W – B coatings. It can be remarked that the results of XRD analyses adjust to those in the literatures. After the electroless deposition of Ni – B and Ni – W – B, the surface of the coating were investigated by using scanning electron microscopy. Thus, SEM provides information about microstructures of coatings. The EDS analyses were performed to define chemical composition of electroless Ni – B and Ni – W – B coatings. However, the percentage of B in the coatings can not be defined.

Before defining the effect of electroless Ni – B and Ni – W – B coatings to fatigue behaviour and corrosion fatigue behaviour of 7075 aluminum alloy, corrosion resistance of coatings and substrate was determined. By exploring polarization curves of electroless Ni – B, Ni – W – B and substrate corrosion behaviours of those are appointed. The corrosion experiments are carried out in % 3.5 wt. NaCl solution which will be used in the corrosion fatigue experiments.

It is known that corrosion significantly reduces the fatigue strength of aluminum alloys. Corrosion pits are the primary source of fatigue crack initiation in the high strength precipitation hardened aluminum alloys such as 7075. These alloys contain numerous constituent particles, which may have electrochemical potentials that differ from those of the surrounding matrices. The heterogenous microstructure of this alloys renders it susceptible to pitting corrosion. Pitting corrosion leading to fatigue crack initiation and crack growth is considered to be one of the most significant damage mechanisms in aging structures. Even low-levels of pitting corrosion on aluminum structures resulting from saltwater spray and/or salt fog is the precursor to corrosion fatigue degradation. A number of studies have investigated fatigue performance of aluminum alloys that are susceptible to pitting corrosion. It is reported that pre-existing corrosion pits have an important adverse effect on fatigue

crack initiation life. They claimed that corrosion pits were formed by electrochemical reactions between the constituent particles and the surrounding matrix.

The survey of fatigue tests provides that electroless coating of Ni – B decreases the fatigue life of 7075 aluminum alloy and by adding W to the deposit the fatigue life decreases due to increased brittleness of the coating. On the other hand, the results of corrosion fatigue tests shows that Ni – B coating increases the corrosion fatigue life in the high cycle fatigue area. In the low cycle fatigue area, due to brittleness of coating the coated system has shorter corrosion fatigue life compared to uncoated 7075 aluminum alloy. Furthermore, addition of W to the coating does not change the corrosion fatigue life of the system which is coated electroless Ni – B.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı; çökelme sertleşmesi ile sertleştirilen 7075 Al alaşımı üzerine akımsız Ni – B ve Ni – W – B kaplama yapabilmek için en uygun banyonun belirlenmesi ve bu kaplamaların karakterizasyonun yapılmasıdır. Isıl işlemler ile kaplanmamış 7075 Al alaşımının dayanımı ile kaplamanın sertliğinin en yüksek seviyeye ulaştığı sıcaklık – sürenin belirlenmesi ile hem aşınmaya dirençli hem de dayanım açısından 7075 - T6 dayanımına yakın bir yapı elde edilmesi hedeflenmektedir. Daha sonra kaplamaların yorulma ve korozyonlu ömrü üzerindeki etkisi incelenecektir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Çelik ve diğer demir alaşımlarından sonra alüminyum alaşımları akımsız nikel kaplama için en geniş substrat grubunu oluşturmaktadır. Ayrıca kaplama ile sertlik, aşınma, aşınma direnci, lehimlenebilirlik ve korozyon direnci özelliklerini geliştirerek yapıya katkı sağladığı söylenebilir. Otomotiv ve uçak/uzay sanayinde, akımsız nikel kaplama, alüminyum alaşımlarından üretilen parçaların karakteristik özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Alüminyum ve akımsız nikelin bileşimine başarılı bir örnek olarak piston kafaları verilebilir. Akımsız nikel kaplama iyi bir aşınma direnci sağlarken, alüminyumun hafif olması pistonun daha verimli çalışmasına imkân vermektedir. Al alaşımları içerisinde 7075 Al alaşımı sağladığı yüksek dayanım/yoğunluk oranından dolayı yaygın olarak uçak/uzay sanayinde kullanılmaktadır. Ayrıca 7075 Al alaşımı çökelme sertleşmesi ile sertleştirilmektedir.

Akımsız Ni – B kaplamalar ise yapısı itibarıyla kaplama sonrası amorf yapıdadır. Amorf yapı ise gevrek ve ısıl işlem sonrası yapı hem kristalize olur hem de kaplamanın sertliğinde ve dolayısıyla aşınma direncinde ciddi bir artış görülür.

Bu çalışmada 7075 Al alaşımı üzerine yapılan kaplamanın hem kristalize olmasını sağlamak hem de aşınma direncini artırmak için kaplamalı sistem ısıl işleme tabi

tutulacaktır. 7075 Al alaşımının dayanımındaki değişim ve kaplamanın sertliğindeki değişim göz önünde bulundurularak sistem için en uygun süre – sıcaklık belirlenecektir. Ayrıca geręekleřtirilen akımsız Ni – B kaplamaya W ilave ile Ni – W – B kaplamanın karakterizasyonu geręekleřtirilecektir. Ni – B ve Ni – W – B kaplamaları için kaplanmış sistemle ve kaplanmamış ana malzeme ile yorulma ömrü ve korozyonlu yorulma ömrü açısından karşılaştırma yapılacaktır. Bunun için öncelikle kaplamaların korozyon davranışları polarizasyon eğrileri çıkarılarak belirlenecektir. Havada ve ağırlıkça %3.5 NaCl çözeltisinde elde edilen grafiklerde akımsız nikel kaplamanın yorulma ömrü üzerindeki etkisi incelenecektir. Havada yapılan deney sırasında kaplanmamış ve kaplanmış substrat arasındaki ayırım değişken zorlanmanın değerine bağlı olarak değişmesi beklenmektedir. NaCl çözeltisinde yapılan deneyler için oluşturulacak eğriler arasındaki ayırma göre kaplanmış sistemin korozyonlu yorulma dayanımının daha iyi bir performansa sahip olması beklenmektedir. Korozif ortamın zararlı etkisi farklı eğriler incelenerek değişken zorlanmanın değerine bağlı olarak hasara kadar olan çevrim sayısının da değişmesi beklenmektedir.

Ayrıca, havada ve NaCl çözeltisinde test edilmiş bazı numunelerde akımsız nikel kaplamanın yorulma çatlağı çekirdeklenmesine etkisi ve değişik koşullarda bu çatlağın davranışı fraktografik analiz yapılarak incelenecektir.

2. ALÜMİNYUM

2.1 Giriş

Alüminyum, çok farklı kullanım özelliklerine sahip olduğu için sanayide geniş bir uygulama alanına sahiptir. Alüminyumun başlıca avantajlarından birisi hafif olmasıdır. Özgül ağırlığı çeliğin üçte biri seviyelerinde olup, 2.7 g/cm^3 'tür.

Alüminyumun diğer bir üstün özelliği de korozyona olan dayanıklılığıdır. Yüzeyinde oluşan oksit tabakası alüminyumu korozyona karşı dirençli hale getirir. Bu koruyucu tabakanın kalınlığı anodizasyon veya eloksal işlemleri ile artırılabilir. Öte yandan alkali eriyikler bu oksit tabakasını bozduğu için tabakanın koruyucu etkisi kaybolabilir. Bu sebeple yapılarda kullanılan harç, sıva gibi kireç içeren malzemelerin alüminyum elemanlar ile temas halinde olmaması gerekir.

Saf alüminyumun elektrik iletkenliği birçok metale göre yüksek olup, bakırın elektrik iletkenliği ile karşılaştırıldığında bakırınkinin % 60' ı seviyesindedir. Öte yandan bakırın özgül ağırlığı alüminyumun özgül ağırlığının üç katından fazla olduğundan alüminyumun birim ağırlık başına düşen elektrik iletme kabiliyetinin bakırdan fazla olduğu görülmektedir. Bundan dolayı, geniş açıklıklı yüksek gerilim hatlarında çelik taşıyıcılarla birlikte en uygun iletken alüminyumdur.

Alüminyum yüzey merkezli kübik kafese sahip olduğu için büyük ölçüde plastik şekil değiştirebilir. Haddeme neticesinde % 99 oranında plastik şekil değiştirerek folyo haline getirilebilir. Alüminyum alaşımları zehirli olmadığı için gıda endüstrisinde de yaygın olarak kullanılır.

Alüminyuma katılan en önemli alaşım elemanları bakır, magnezyum, silisyum ve berilyumdur. Bu elemanlar katı eriyik oluştururlar. Endüstride alüminyum alaşımları dövme alaşımlar (hadde ürünü) ve dökme alaşımları olarak iki gruba ayrılırlar. Alüminyum alaşımlarında katı eriyik sertleşmesinden başka soğuk şekil verme ve çökeltme sertleşmesi işlemleri ile de mukavemet artışı sağlanır. Özellikle bakır içeren dövme alaşımlara uygulanan çökeltme sertleşmesi veya yaşlanma sertleşmesi

uygulamada önemli bir yer tutar. Bakırın alüminyumda erime oranı sıcaklığa bağlıdır.

Yüksek sıcaklıkta tek fazlı katı eriyik halinde olan bir alaşım dengeli soğuma sırasında doyma sıcaklığına gelince ikinci faz tane sınırı boyunca çökelir. Eğer soğuma çok hızlı olursa ikinci faz ayrışamaz, sonuçta bakırca aşırı doymuş tek faz elde edilir. Bu durumdaki alaşım kontrollü ısıtılıp mikroskopaltı düzeyde çökelme sağlanırsa sert ve mukavemeti yüksek bir metal elde edilir. Bu işleme *çökelme* veya *yaşlanma sertleşmesi* denir. Bakırın yanında magnezyum ve mangan içeren alüminyum alaşımları duralümin adı ile uçak endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılır.

Alüminyum – magnezyum alaşımları deniz suyuna dayanıklıdır, kolay işlenir, pekleşme ile mukavemeti artırılır. Denizde kullanılan teknelerin ve araçların üretimine elverişlidir.

Alüminyum – silisyum alaşımları döküme elverişlidir, ayrıca magnezyum katarak mukavemet arttırılabilir. Silisyum bakır ve magnezyum içeren alüminyum alaşımları kokil denen metal kalıpta dökülür. Özellikle yüksek sıcaklıkta mukavemetini koruduğu için otomotiv endüstrisinde piston üretiminde kullanılır [1].

2.2 Alüminyumun Genel Özellikleri

Bazı temel özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiş olan alüminyumun, diğer metallere göre bazı üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

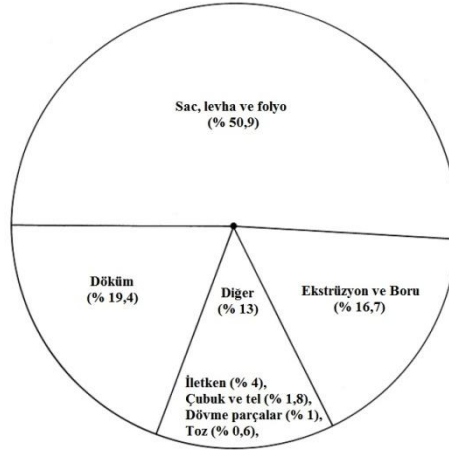
1. Alüminyum, havada ve diğer birçok ortamda korozyona dayanıklı olduğu için, alüminyuma dekoratif görünüm kazandırılarak mimari uygulamalarda tercih edilmektedir [2].
2. Alüminyum alaşımları yüksek dayanım/yoğunluk oranına sahip olduğu için hafifletilmelerine öncelik verilen konstrüksiyonlar için uygun bir malzeme olarak görülmektedir [2].
3. Ekstrüzyon yöntemi ile her türlü profil üretilebildiğinden; pencere, kapı ve otomobil gövdeleri için değişik profil serileri geliştirilmiştir. Böylece tasarımcının öngördüğü yapılar basit montajlarla üretilebilir [3].

Yüksek saflıktaki erimiş haldeki alüminyum, katılaşmada çubuksu ve iri taneli bir iç yapı oluşturma eğilimi gösterir. Bu sebeple genellikle sürekli döküm yoluyla üretilen kütüklerde tekstür olarak adlandırılan belirgin bir döküm dokusu gözlenir.

Çizelge 2.1 : Alüminyumun Fiziksel ve Mekanik Özelleri [4].

Yoğunluk	2.7 [g/cm ³]
Erime sıcaklığı	660 °C
Elastiklik Modülü	65 GPa
Genleşme Katsayısı	23.8 [10 ⁻⁶ / K]
Elektrik İletkenliği	36 [m / Ωmm ²]
Çekme Dayanımı	40-180 [N/mm ²]
Kopma Uzaması	4-50 [%]

Tekstür haddelemenin ilk kademesinde giderilebilir ancak haddelemenin devam etmesi halinde bu kez de haddeleme dokusu ortaya çıkar. Uygun bir paso program ile bu soruna engel olunabilir. Ayrıca, istenilmeyen bir diğer durum da sıvı alüminyumda hidrojen çözünürlüğünün yüksek olması ile katılaşma sonrasında elde edilen yarı mamülde veya bitmiş parçada gözenekler bulunabilir [3]. Şekil 2.1 'de üretilen alüminyumun kullanıma göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.1 : Üretilen alüminyumun kullanıma göre dağılımı [4].

Elektrokimyasal gerilim serisindeki konumu nedeniyle asal bir metal olmayan alüminyumun korozyona dayanıklılığı, havada ve sulu çözeltilerde yüzeyi kaplayan oksit tabakasından kaynaklanmaktadır. Bu koruyucu tabaka bozulsa bile oksitlenme ile yeniden oluşur. Ayrıca ortamda bulunan asit ve tuzlar ne kadar okistleyici ise

koruyucu tabaka o kadar kararlı davranır. Alaşımli levhaların korozyona maruz kalan yüzeylerine çok ince bir tabaka saf alüminyum giydirilerek levhanın korozyondan korunmasında alüminyumun bu özelliğinden faydalanılmaktadır. Yüzeyde oluşan bu doğal oksit tabakası 0,01 µm kalınlığında olup çok sayıda gözenek içermektedir. Dolayısıyla alüminyumda öncelikle bakır, demir gibi katışkılar yerel bileşim farklılıkları ve dolayısıyla korozyon pilleri oluşturabilir [3].

2.3 Alüminyum Alaşımaları

Alüminyumun çeşitli makina konstrüksiyonlarında kullanılması esas olarak alüminyumun alaşımlandırılmasından sonra gerçekleşmiştir. WILM 1906 yılında alüminyumun dayanımının çökme sertleşmesi ile artırılabilceğini bulması ile birlikte alüminyumun yüksek yoğunluk/dayanım oranı daha üst seviyelere ulaşmıştır. Yüksek korozyon direnci de buna ilave edilince alüminyum yaygın bir kullanım alanına sahip olmaya başlamıştır [3].

Alüminyum alaşımları dövme ve dökme olarak iki ana grupta incelenebilirler. Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’de sırayla başlıca dövme ve dökme alüminyum alaşım serileri tablo halinde gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : Dökme alüminyum alaşımları [4].

Alaşım Serisi	Temel Alaşım Grubu
1xxx	Alüminyum > % 99
2xxx	Bakır
3xxx	Mangan
4xxx	Silisyum
5xxx	Magnezyum
6xxx	Magnezyum ve Silisyum
7xxx	Çinko
8xxx	Diğer alaşım elementleri
9xxx	Kullanılmayan seri

Çizelge 2.2 ve 2.3’ de görüldüğü üzere dövme alüminyumun en önemli alaşım elementleri bakır, magnezyum, çinko ve silisyumdur. Bunundan dolayı alüminyum – bakır, alüminyum – magnezyum, alüminyum – çinko ve alüminyum silisyum ikili

sistemlerinin özellikleri serilerdeki alaşımların genel fiziksel özelliklerini belirlemektedir.

Çizelge 2.3 : Dövme alüminyum alaşımları [4].

Alaşım Serisi	Temel Alaşım Grubu
1xx.x	Alüminyum > % 99
2xx.x	Bakır veya Magnezyum eklenmiş Silisyum
3xx.x	Bakır veya Magnezyum eklenmiş Silisyum
4xx.x	Silisyum
5xx.x	Magnezyum
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğer alaşım elementleri
6xx.x	Kullanılmayan seri

Alüminyum alaşımları ısı ile değil de genellikle çökelme sertleşmesi ile sertleştirilirler. Uygulanan çökelme sertleşmesi işlemine göre malzemenin sertlik, akma dayanımı gibi fiziksel özelliklerini değiştirme imkânı ortaya çıkmaktadır.

2.4 Alüminyum Alaşım Sistemlerinde Alaşım Elementinin Etkisi

Alüminyumun düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci gibi üstünlüklerinden makine, taşıt ve yapı endüstrisinde geniş oranda yararlanılması ancak dayanım özelliklerinin alaşımlama yoluyla iyileştirilmesinden sonra gerçekleşebilmiştir. Dayanımın çökelme sertleşmesi ile artırılabilmesinin bulunması da alüminyum alaşımlarının geliştirilmesinde çok büyük rol oynamıştır [3].

Metalik karakteristiklere sahip kimyasal elementlerin çoğu, alüminyumla kolayca alaşım yapabilirler. Ancak bunlardan sadece birkaçı ticari alüminyum esaslı alaşımlarda temel alaşım elementi olarak yer alırlar. Ayrıca çok sayıda başka elementler de alaşımın özelliklerini iyileştirmek için destekleyici alaşım katkıları olarak kullanılır [5].

Alüminyum alaşım sistemleri ile ilgili detaylı bilgiler hakkında el kitapları yazılmış olup alüminyumun en önemli alaşım elementleri bakır, magnezyum, çinko ve silisyum olduğundan, alaşımların özelliklerini açıklayabilmek için önce Al-Cu, Al-

Mg, Al-Zn ve Al-Si ikili sistemleri ve Al-Mg-Si üçlü sistemi hakkında aşağıda bilgi verilmeye çalışılmıştır.

2.4.1 Alüminyum – bakır ikili alaşım sistemi

Alüminyum-Bakır faz diyagramında eriyikten ayrılan ve en azından ötektik yapı bileşeni niteliğinde olan Al_2Cu ara fazı, malzemenin gevrekleşmesine yol açtığı için, döküm tekniği bakımından ötektik bileşime yakın olması gereken Al – Cu alaşımlarının pratikte kullanılmasını engeller [5].

Bakır, yüksek çözünme kabiliyeti ve dayanımı artırıcı yönde etkiye sahip olması nedeniyle alüminyum için önemli bir alaşım elementidir. Ticari alüminyum alaşımlarının çoğu temel alaşım elemanı veya ikincil alaşım grubu elemanı olarak % 1 ile % 10 arasında bakır içermektedir. Bakır bu alüminyum alaşımlarının çoğunun çökeltme sertleşmesi kabiliyetini iyileştirici etki gösterir [6] .

Ötektik sıcaklığın altında bakırın alüminyum kafes içindeki çözünürlüğü azalacağından, çökeltme sertleşmesi için gerekli ön koşullardan biri sağlanmış olur.

2.4.2 Alüminyum – magnezyum ikili alaşım sistemi

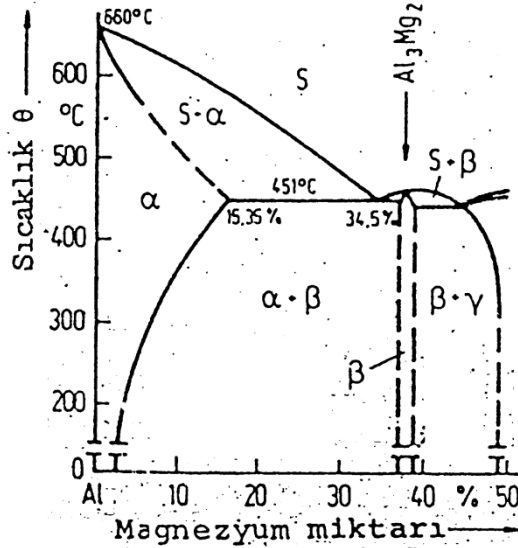
Alüminyum ile magnezyum alaşım sisteminin kullanılabilirliği çok sert ve gevrek olan ayrıca korozyona olan direnci de azaltan Al_3Mg_2 ara fazından ötürü Mg oranının teorik olarak %15 sınırından düşük tutulmasına yol açmaktadır. İkili Al-Mg alaşımlarında dayanım artışı sadece katı çözümlü oluşümüne bağlıdır. Solvüs eğrisinin uygun olmasına karşın %7 Mg oranının altında ciddi bir çökeltme sertleşmesi görülmez. Şekil 2.2’ de faz diyagramında hangi aralıklar oluştuğu görülen β fazı öncelikle tane sınırları boyunca iri parçacıklar halinde çöktüğünden, % 7 ‘den fazla Mg içeren alaşımlar tanelerarası korozyona uğrayabilir. Tane sınırlarındaki bu Al_3Mg_2 ağı çökeltme sertleşmesine benzeyen homojenleştirme işlemi ile dağıtılarak malzemenin taneler arası korozyona olan eğilimi de ortadan kaldırılır [3].

2.4.3 Alüminyum – çinko ikili alaşım sistemi

Çinko bir alaşım elementi olarak dövme alaşımlarında çoğunlukla magnezyumla beraber kullanılır. Bu ikili alaşımın temel kullanımı amacı korozyona karşı elektrolitik koruma sağlamaktır [2].

2.5 Çökeltme Sertleşmesi

Bu yöntemde ikinci faz, küçük tanecikler halinde matris fazının içinde çökelti olarak oluşturulur. Çökeltme sertleşmesine yaşlandırma sertleşmesi adı da verilir. Çökeltme sertleşmesinin uygulanabileceği alaşımların, sıcaklık yardımıyla aşırı doymuş katı çözelti oluşturabilen alaşımlar olması gerekir.



Şekil 2.2 : Al - Mg Faz Diyagramı [3].

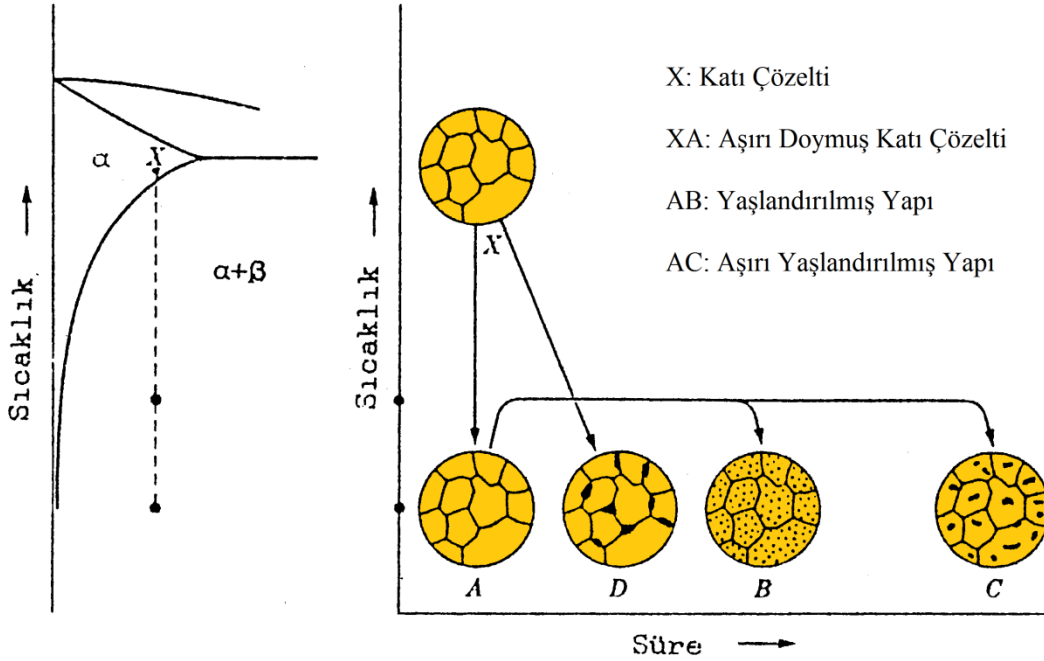
Oda sıcaklığında aşırı doymuş fazdan, zaman ve sıcaklığın etkisiyle yeni bir fazın çökeltmesi sağlanır. Bu işlemde çökeltelerin boyutu, aralarındaki mesafe ve kafesle olan bağdaşıklığı kontrol edilerek alaşımın sertlik seviyesi değiştirilmeye çalışılmaktadır.

Alaşımlarda çökeltme sertleşmesi üç kademe yapılr:

1. Katı çözeltiye alma,
2. Hızlı soğutma ile aşırı doymuş katı çözelti elde etme,
3. Yaşlandırarak istenen özelliklerde ikinci faz parçacıklarını elde etme,

Aşağıdaki şekilde çökeltme sertleşmesi işlemleri faz diyagramı ile açıklanmaktadır. X noktasına kadar ısıtılan ve burada yeterli süreyle tutulan alaşımda β fazı tamamen çözünmekte ve α fazından oluşan tek fazlı bir yapı elde edilmektedir. Bu işlem katı çözeltiye alma olarak da adlandırılır. Alaşım böyle tek fazlı haldeyken, hızla soğutulursa (Hiçbir atomsal yayınma mekanizmasının çalışmasına olanak sağlamayacak şekilde ki su verme olarak da nitelendirilir) β fazı tekrar oluşmaya

fırsat bulamaz ve alaşım elementine ait atomlar α fazı içinde aşırı doymuş bir durumda kalırlar. Bu durumu yansıtan mikroyapı aşağıdaki şekilde A ile gösterilmektedir. Şekil 2.3’de çökeltme sertleşmesi işlemi sırasında oluşan faz diyagramları gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Çökeltme sertleşmesi işlemi faz diyagramı [7].

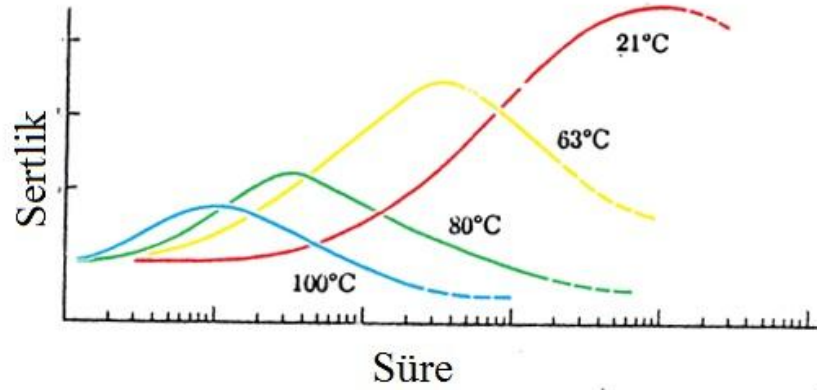
Alaşım bu işlem sonrasında uzun süre oda sıcaklığında tutularak Doğal Yaşlandırma gerçekleştirilir. Eğer bu işlem oda sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda, nispeten daha kısa sürelerde tutularak yapılırsa Yapay Yaşlandırma olarak adlandırılır. Yapay yaşlandırmayı gösteren yapı B’de verilmiştir. Yapay yaşlandırma sırasında ısı aktivasyonu etkisiyle alaşım elementi atomları öncelikle kenar dislokasyonlarının altında toplanmaya başlar. Bu atom kümeleri GP Bölgeleri olarak tanımlanırlar. GP Bölgeleri kafeste bölgesel iç gerilmeler oluşturduğundan çarpılmaya neden olurlar ve dolayısıyla yapı az da olsa sertleşir. Şekil 2.4’ de yaşlandırma süresine bağlı olarak bağdaşıklığın değişimi görülmektedir. Yaşlandırma işlemine devam edilmesiyle bu kümeler α matris fazına yapışık β çökeltileri oluşturmaya başlar. Bu bağdaşık çökeltiler ile yapının sertliğinde bir artış gözlenir. Yaşlandırma işlemine devam edilmesi halinde bağdaşık çökeltiler büyür. Bağdaşık çökeltiler kritik bir boyuta ulaştıktan sonra yaşlandırma işleminin sürdürülmesi halinde çökeltilerin kafesle olan bağdaşıklığı yavaş yavaş kaybolur.



Şekil 2.4: Yaşlandırma süresine bağlı olarak bağdaşıklık [7].

İlaveten bazı çökeltiller birbirleriyle birleşerek sayılarını azaltmışlardır. Bu iki faktörün ortak etkisiyle yapı yumuşamaya başlar ve Aşırı Yaşlanma oluşur. Aşırı yaşlandırma korozyona karşı direncin arandığı bazı uygulamalar dışında istenmemektedir.

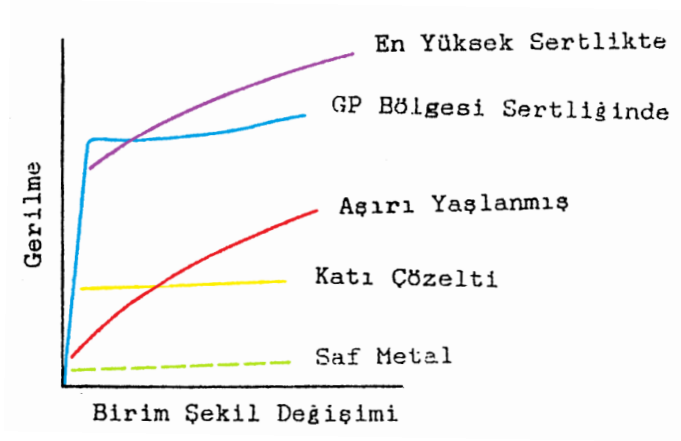
Yaşlandırma işlemi sıcaklık ve süreye bağlı olarak kontrol edilmektedir. Şekil 2.5’de bu iki unsurun değişiminin etkileri gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Sıcaklık ve süreye bağlı olarak yaşlandırma işlemi [7].

Şekil 2.5’de gösterilen grafiğe göre sıcaklık artırıldığında en büyük sertlik değerine ulaşma süresi azalmaktadır. Öte yandan daha düşük sıcaklıklarda yapılan yaşlandırmalarda daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmaktadır. Süneklik de yaşlanma süresi artırıldıkça düşüş göstermektedir.

Uygulamalarda ekonomik faktörler de göz önünde bulundurularak en uygun sıcaklık – süre değişkenleri belirlenmelidir. Şekil 2.6’de katı saf metalin; katı çözelti hali, GP Bölgeleri ile sertleştirilmiş yapı, en büyük sertliğe ulaşmış yapının ve aşırı yaşlandırılmış yapının çekme diyagramları görülmektedir.



Şekil 2.6: Katı saf metalin çeşitli durumlardaki çekme diyagramları [7]

Çökelme sertleştirme işlemi en yaygın olarak Amerikan Normlarında 2000, 6000 ve 7000 serisi olarak gösterilen alüminyum alaşımlarına uygulanmakta olup, bunlara eklenen T4 takısı (2024 – T4) o malzemenin doğal yaşlandırıldığını, T6 takısı ise (6061- T6) o malzemenin yapay yaşlandırıldığını ve T7 takısı ise (7075 – T7) o malzemenin aşırı yaşlandırıldığını belirtmektedir [7].

2.6 7075 Alüminyum Alaşımı

7075 alüminyum alaşımı hafifliği ve T6 ısıl işlem şartlarında eriştiği yüksek dayanım özellikleri nedeniyle uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. 7075 ilk kez 1943 'te geliştirilmiştir. Diğer 7000 serisi alaşımları gibi çökelme ile sertleştirilir. Genel olarak levha formunda üretilir. Artan kullanım sonucu dövme ve ekstrüzyon mamulleri ve kalın levha üretimi de yaygınlaşmıştır. Çizelge 2.4 'de 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi görülmektedir [8].

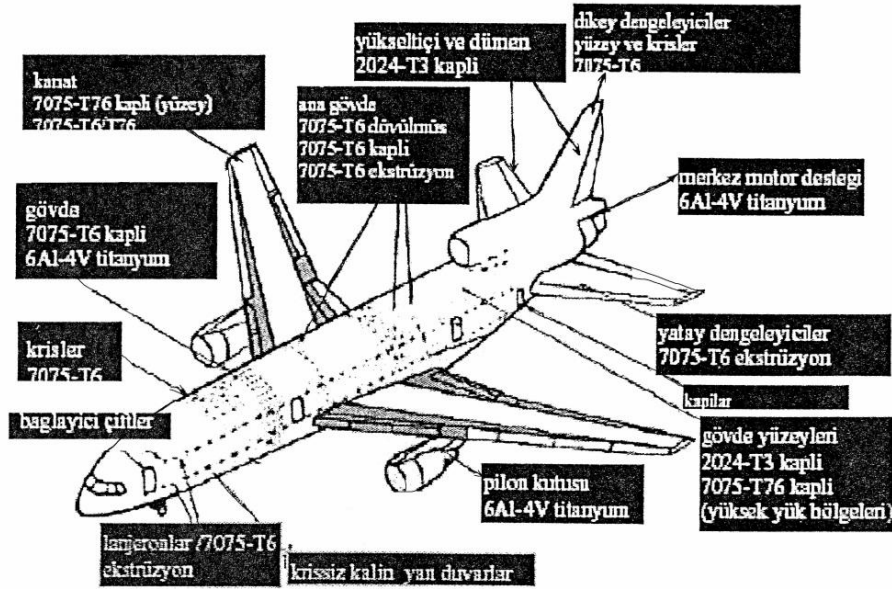
Çizelge 2.4 : 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi [4].

Alaşım Elementi		Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al
% Ağırlık	En düşük	5,1	2,1	1,2	-	-	-	0,2	-	Kalan
	En yüksek	6,1	2,9	2,0	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	

7075 Al alaşımının iyi mekanik davranışına rağmen, atmosferik rutubet gibi düşük aktiviteli ortamlarda dahi gerilmeli korozyona hassas olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle ticari 7075 alaşımı levhalar genellikle "Alclad" denilen ve her

iki tarafına korozyona dayanıklı bir alüminyum alaşımı tabaka giydirilmiş ürünler şeklinde piyasaya sunulur. 7075 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerini iyileştirmek için T6 yapay yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmaktadır.

Saç ve plaka üretim formundaki 7075 alüminyum alaşımı, alaşım elementlerinin çok küçük oranlarda katılması ile yoğunluğunun çok az artmasına karşın, mekanik özellikleri ile dökülebilirlik özeliğinde önemli iyileşmeler gözlenmektedir. Yüksek mukavemet ile ortalama tokluk ve de en önemli özelliklerinden biri olan hafifliği nedeniyle uzay - uçak sanayinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Genel olarak uçak – uzay uygulamaları bu alaşımın tipik uygulamalarıdır. Şekil 2.7’de günümüzde kullanılmakta olan bir uçağın farklı bölgelerinde kullanılan alüminyum alaşımları gösterilmektedir. Birçok askeri ve ticari uçak üst kanat panelleri ile alt yatay dengeleyici panellerinde, gövde kirişleri ve gövde omurga kirişlerinde ekstrüzyonla üretilerek kullanılır. Hafifliği nedeniyle tercih edilen diğer bir kullanım alanı piston ve piston kolları ve motor gövdeleridir. Isı iletkenliğinin yüksek olması, bu alaşımların piston olarak kullanımı sırasında daha yüksek sıkıştırma uygulanabilmesine olanak sağlar [8].



Şekil 2.7 : Uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımları [8].

3. YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİ

3.1 Giriş

Metallerin yüzey sertleştirilmesi ile elde edilmek istenen ana hedef malzemenin aşınma direncini ve yorulma dayanımının artırmaktır. Bazı uygulamalarda yüzey sertleştirmeye ilaveten malzemenin korozyon direnci de artırılabilir.

Temasta olan ve birbirine göre izafi harekette bulunan iki elemanın yüzeyleri arasında sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma gözlenir. Ayrıca bu aşınma da sıcaklık yükselişi ile enerji kaybına sebep olur. Aşınmayı azaltmak için malzemenin yüzeyi sertleştirilebilir. Öte yandan parçanın tamamı sertleştirilirse, gevrek kırılma riski ortaya çıkar. Dolayısıyla sadece sürtünme yüzeyleri yeterli tabaka kalınlığında sertleştirilerek aşınmaya karşı tedbir alınabilir. Bilindiği üzere yorulma çatlakları çoğunlukla yüzeyden başlar ve yorulma dayanımı da esas olarak malzemenin akma dayanımıyla orantılı olduğu için yüzey sertliğini artırmak malzemenin yorulma dayanımının iyileştirilmesi için de alınabilecek bir önlem olacaktır. Buna ilaveten, birçok makine elemanı için kullanıldığı ortama bağlı olmakla birlikte artık çekme gerilmelerinin artık basma gerilmelerinden daha fazla çatlak ilerletici bir etkiye sahip olduğu da bilinmektedir.

3.2 Karbürleme (Sementasyon)

% 0,1 – 0,25 C içeren alaşımlı veya alaşımsız çeliklerin yüzeyinde yüksek sıcaklıkta (genellikle ostenit fazının oluşabileceği sıcaklıklarda) yapılan karbon yayındırma işlemidir. Böylece yüzeydeki karbon oranı % 0,8 – 1,2 seviyesine yükselir. Dolayısıyla eğer parça bu durumda oda sıcaklığına soğutulursa, yüzeyde karbür miktarının büyük ölçüde arttığı gözlenir [9].

3.2.1 Katı karbürleme

Parçalar, odun kömürü ve % 10 – 20 karbonat karışımına gömülerek kapaklı çelik kutular içinde fırında ısıtılır. Bu sırada atomsal karbon malzemeye verilmiş olur ve karbondioksitin tekrar reaksiyona girmesiyle olay kömürü tüketene kadar devam eder. Sıcaklık çoğunlukla (815 – 950 °C) arasında seçilir. Alt sınıra ötektoid kabuk elde etmek için gidilebilir. Bu yöntemde ortamın karbon potansiyelini değiştirmek zordur. İş parçalarının kömüre gömülmeden önce yağ, tufal ve kirden temizlenmesi faydalı olacaktır. Karbürlenmesi istenmeyen yerler bakır kaplanabilir veya gömme sırasında nötr maddelerle örtülebilir [9].

3.2.2 Gaz karbürleme

Karbon kaynağı olarak öncelikle karbonlu hidrojenlerden yararlanılır. Sızdırmaz şekilde yapılmış bir fırına çoğunlukla dışarda hazırlanmış “Taşıyıcı Gaz + % 5 – 10 Metan (CH₄) veya Propan (C₃H₈)” karışımı gönderilir.

Bu yöntemde fırına hava sızmasına karşı küçük bir basınç sağlayacak şekilde besleme yapılır. Kullanılmış ve atık gazlar fırının üzerindeki borulardan çıkarken yakılır. Sıcaklık, 900 °C – 980 °C arasında genellikle 925 °C seçilir. Bu sıcaklık değeri oldukça hızlı bir karbürlemeye karşılık, fırına ve malzemenin kendisine fazla zarar vermeyen bir sıcaklık değeridir.

Karbürlenmesi istenmeyen yerler bakırla kaplanır. Isı iletiminin katı ortama göre daha iyi olması nedeniyle parçanın istenilen sıcaklığa getirilmesini hızlandırır. Örneğin; 925 °C’de 3 mm’lik karbürleme derinliğine 20 saatte ulaşılabilir. Karbürlenmesi istenmeyen yerler bakırla kaplanır [9].

3.2.3 Vakum karbürleme

Yüksek sıcaklık (980 °C – 1050 °C) ve vakumda yapılan gaz karbülemedir. Öncelikle 0.1 mm Hg sütunu vakumda parçalar ısıtılır. Bu sırada parça yüzeyi de temizlenmiş olur. Basınç 300 mm Hg sütununa çıkacak şekilde metan veya propan verilir. Basınç yeniden 0.1 mm Hg sütununa düşürülür, sıcaklık ise sabit tutulur. Belli bir sıcaklık için istenilen yüzey karbon derişikliği ve kabuk kalınlığı elde edilebilir. Vakum karbürlemenin gaz karbürlemeye göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir;

1. Yüksek sıcaklığa bağlı olarak süre kısalmır.

2. Karbürleme atmosferi için otomatik kontrol sistemi ve taşıyıcı gaz jeneratörü gerekmez.
3. Parçaların önceden kabaca temizlenmesi yeterlidir.
4. Atık gazın havayı kirletici etkisi daha azdır.

Vakum karbürlemenin tüm bu üstünlüklerine karşılık sistemin çalışabilmesi için vakum pompası gereklidir. Ayrıca büyük hacimlerde vakum sızdırmazlığını sağlamak kolay değildir [9].

3.2.4 Sıvı karbürleme

Erimiş tuz banyoları içinde gerçekleştirilir. Isı iletimi daha da iyi olduğu için istenilen sıcaklığa erişme ve buna bağlı olarak işlem süresi gaz karbürlemeden de daha kısadır. Banyolar çoğunlukla siyanür içerir ve dolayısıyla çeliğe işlem koşullarına bağlı olarak hem karbon hem de azot verilebilir. Siyanürlü karbürleme banyoları alçak sıcaklık ve yüksek sıcaklık banyoları olarak ikiye ayrılır.

Alçak sıcaklık banyoları, 850 °C – 900 °C arasında çalıştırılır ve önce kabuk oluşturmak için kullanılırlar. Yüksek sıcaklık banyoları ise 900 °C – 950 °C arasında çalıştırılır ve kalın kabuk oluşturmak için kullanılırlar. Kaplanması istenmeyen bölgeler için yine bakır kaplama yapılabilir. Ancak, siyanür bakırı çözdüğü için düşük siyanürlü banyo kullanılmalıdır.

Siyanür banyolarının en büyük sakıncası zehirli olmalarıdır. Atıklarının kimyasal işleme zehirsiz duruma getirilmesi gerekmektedir [9].

3.3 Karbonitrüleme

Bu işlemle çeliğe karbürlemedekinden daha az karbon (% 0.6 – 0.7) verilir ancak önemli bir miktarda azot (% 0.2 – 0.3) da verilir. Oluşan nitrürlerin katkısıyla suvermeden sonra eğe sertliğindeki kabuk genellikle karbürlemeden daha düşük sıcaklık ve daha kısa sürede elde edilir. Ostenitte çözünen azot kritik soğuma hızını düşürdüğü için yağ hatta gazla soğutma dahi martenzitik yapının meydana gelmesini sağlar [9].

3.3.1 Sıvı karbonitrürleme

Düşük sıcaklıktaki sıvı karbürlemeye benzer ancak verilen azot miktarını yükseltmek için siyanat oranının artırılması gerekir. Bu amaçla en az % 30 siyanür içeren taze banyo 700 °C' de 12 saat yaşlandırılır. Yeteri kadar siyanat meydana geldikten sonra asıl işlem 760 °C – 850 °C' de gerçekleştirilir. Düşük sıcaklıklarda karbon miktarı azalır [9].

3.3.2 Gaz karbonitrürleme

Gaz karbürlemede kullanılan atmosfere % 2 – 12 amonyak katılarak çoğunlukla 790 °C – 850 °C arasında yapılır. Azotun nitür yapma, sertleşme kabiliyetini artırma gibi yararları yanında artık ostenit miktarını çoğaltma sakıncası da vardır [9].

3.4 Nitürleme

Genellikle çeliklere 400 °C – 570 °C arasında azotu yalnız olarak veya çok az miktarda karbonla bir arada yayındırma işlemidir. Demir nitürler çok gevrek olduğu için azota kimyasal ilgisi demirden daha fazla olan ve ince nitür oluşturan elementlerle alaşımlandırma yapılır. Karbonlu ıslah çelikleri ile birlikte paslanmaz çelikler uygun bileşimli takım çelikleri hatta dökme demirler de nitürlenebilir ve bu sayede aşınma ve yorulma dayanımı artar.

Nitürleme, karbürlemeye göre daha sert (1000 – 1200 HV) ancak daha ince kabuk veren bir yöntemdir. Bu sebeple yüksek yüzey basınçlarında kabuk çökme gösterebilir. Dolayısıyla sertleştirilebilir çeliklerin nitürlemeden önce ıslah edilmesi zorunludur.

Kabuk iki tabakadan meydana gelir. Dıştaki ince beyaz tabaka aşınmaya dayanıklıdır. Ancak kalınlaşırsa çatlayarak yorulma dayanımının düşmesine neden olur. İçteki yayınma tabakasında ise azot miktarı çok fazla değilse sadece alaşım elementlerinin çok ince nitürleri oluşur. Nitürlemede, işlem sıcaklığı düşük olduğu ve suverme gerekmediği için iş parçasında çarpılma karbürlemedekine göre önemsizdir. Parça çoğunlukla nitürlemeden önce son boyutlarına işlenebilir. Sıvı nitürleme, gaz nitürleme ve iyon nitürleme olmak üzere üç farklı ortamda işlem gerçekleştirilebilir [9].

3.5 Borürleme

İş parçaları toz halindeki B_4C (Bor Karbür) aktivatör (KBF_4) ve sinterlemeyi önleyici madde karışımı için de $800\text{ }^{\circ}C - 1050\text{ }^{\circ}C$ arasında $900\text{ }^{\circ}C$ 'de 5 saat bekletilir. Demir alaşımlarında meydana gelen demir borürler (FeB , Fe_2B) nitrürlemeden daha yüksek sertliklere ($1700 - 2000\text{ HV}$) erişilmesini sağlar. Çok üstün aşınma dayanımına sahip olan tabaka genellikle 0.1 mm 'den incedir. İşlem demir olmayan metallere örneğin (TiB_2 ve TiB) için de uygulanabilir [9].

3.6 Yüzey Isıtmayla Sertleştirme

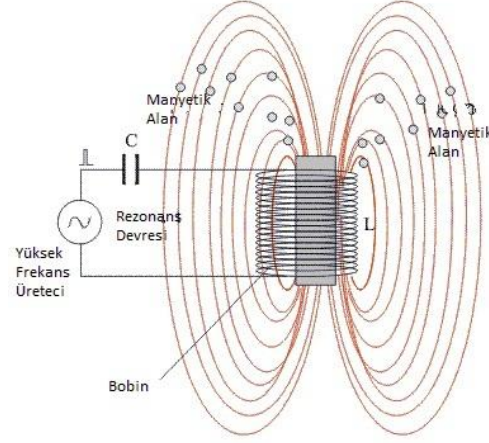
İş parçasına yoğun, yani birim zamanda içeri doğru iletilenden daha fazla ısı vererek yüzeyde bir ısı yığılması yaratılabilir. Böylece kısa sürede ostenit alanına ısınan belli kalınlıktaki bir tabaka hızlı soğutma sonucu martenzite dönüşür.

Bu tür işlemler bileşimi değiştirilmeden suverme yoluyla yeterince sertleşebilen, çeliklere ve dökme demirlere uygulanır. Örneğin; % 0.35 - % 0.6 C içeren alaşımsız veya alaşımlı ıslah çelikleri ile martenzitik paslanmaz çeliklerde elde edilen sertlik karbon miktarına göre $50 - 64\text{ HRC}$ arasında değişir. Kır, temper ve sfero dökme demirlerde $45 - 50\text{ HRC}$ arası sertliğe ulaşır. Isıtma süresinin kısalığından dolayı ostenitleme sıcaklığı fırında ısıtmaya göre alaşımsız çeliklerde $25\text{ }^{\circ}C$, alaşımlılarda $50\text{ }^{\circ}C - 100\text{ }^{\circ}C$ daha yüksek seçilir.

Ostenitlemeyi kolaylaştırmak bakımından en uygun başlangıç iç yapısı temperlenmiş martenzittir. Yüzeysel ısıtma çok küçük parçalar dışında ancak bölge bölge yapılabilir. Bu arada sertleşmesi istenmeyen yerleri işlem dışı bırakmak mümkündür [9].

3.6.1 İndüksiyonla sertleştirme

Değişken manyetik alan içerisinde bulunan bir iletken parçada elektrik akımı indüklenir. Parça elektrik direncinden ötürü ısınır. Frekans yükseldikçe söz konusu akım parçanın yüzeyine yaklaşır. Böylece malzemeye bağlı olmayan frekansı değiştirerek ve yeterli güç vererek bir parçanın tüm kesitte veya sadece yüzeysel olarak ısıtılması mümkündür. Şekil 3.1' de indüksiyonla sertleştirme şematik olarak şöyle gösterilmektedir.

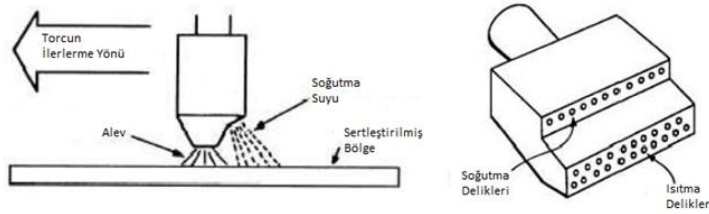


Şekil 3.1: İndüksiyonla Isıtmanın Şeması [10]

Frekans seçimi kabuk kalınlığı yanında ısıtma verimi bakımından da önemlidir. İnce parçaları düşük frekansla ısıtma verimli olmaz. Sertleştirilen parçalar ikinci düşük güçlü bir bobinle veya fırında temperlenebilir. İndüksiyonla sertleştirme otomatik kontrole elverişli bir yöntemdir [9].

3.6.2 Alevle sertleştirme

İndüksiyonla sertleştirmeden en önemli farkı ısıtmanın yüksek güçlü yakıcı (Oksijen, hava) yanıcı gaz (Asetilen, propan, doğal gaz) üfleçleri ile yapılmasıdır. Şekil 3.2’ de alevle sertleştirmenin şematik görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Alevle Sertleştirmenin Şematik Görünüşü [11]

3.6.3 Lazer ve elektron ışınlarıyla sertleştirme

Lazer ve elektron ışınlarıyla elde edilebilen ısı yoğunluğu indüksiyonun da çok üstündedir. Dolayısıyla çok küçük bölgelerde yüzey sertleştirilmesi yapılabilir. Aynı nedenle sıcaklık gradyanı da çok dikleşir. Böylece küçük parçalarda bile “Kendiliğinden Suverme” yani ısınmamış bölgelerin çok hızlı ısı çekmesi olayı ortaya çıkar; suda veya yağla suvermeye gerek kalmaz [9].

3.7 Mekanik Yüzey Sertleştirme Yöntemleri

Yüzeyde plastik şekil değişimi meydana getirerek, buna bağlı sertleşme ve basma iç gerilmeleri yaratılması ilkesine dayanır. Başlıca yöntemler; bilya püskürtme, yüzey haddeleme ve patlama ile sertleştirirlerdir.

3.7.1 Bilya püskürtme

0.1 – 5 mm çaplı çelik veya dökme demir bilya basınçlı hava ile parça yüzeyine püskürtülür. Yaklaşık 1 mm kalınlığında bir tabaka plastik şekil değiştirebilir.

3.7.2 Yüzey haddeleme

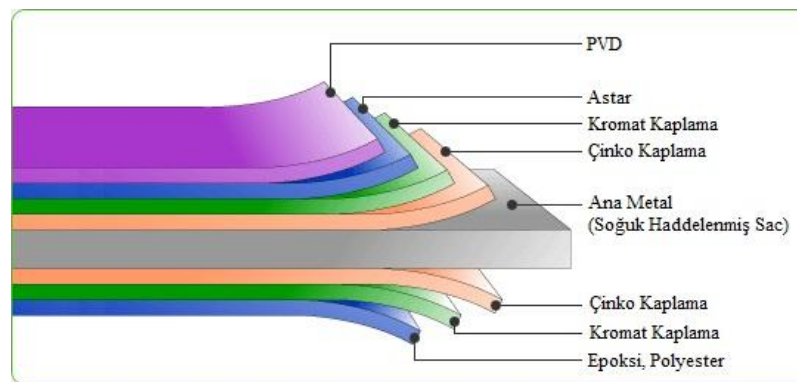
Yüzey haddeleme işlemi uygulayarak yüzeyde plastik şekil değişimi buna bağlı olarak da yüzeyde basma artık gerilmeleri oluşturulması ile parçanın yüzeyinin sertleştirilmesi işlemidir.

3.7.3 Patlama ile sertleştirme

Parça yüzeyine yayılan patlayıcının tutuşturulmasıyla 2 – 3 sn' de 350.000 bara ulaşan bir basınç dalgası etki eder. Böylece parçanın boyutlarında önemli bir değişiklik olmadan çok büyük sertlik artışları elde edilir [9].

3.8 Yüzey Kaplamaları

Yüzey kaplama, ana malzemedan bağımsız ve iş parçası yüzeyine yeterli kuvvetle bağlanan, yani bileşimi tümüyle farklı veya ana malzemenin bir bölümü olarak bileşimi büyük ölçüde (% 10'lar mertebesinde) değişmiş bir tabaka oluşmaktadır [9]. Şekil 3.3' de ana metal üzerine yapılan farklı kaplama şekilleri görülmektedir.



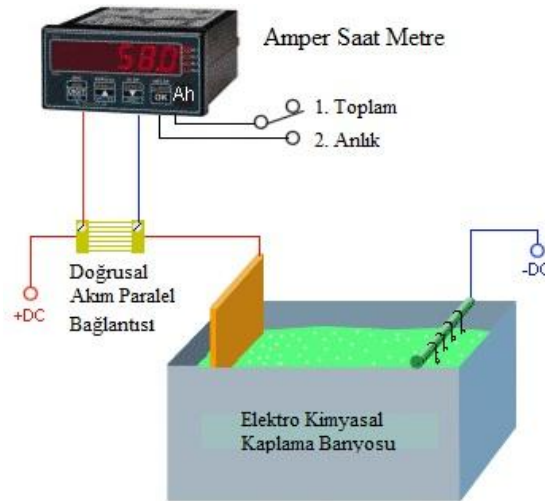
Şekil 3.3: Kaplama Şekilleri [12].

Kaplamalar esas olarak Şu amaçlarla yapılmaktadır:

1. Özellikle elik ve dökme demirlerin korozyona karşı dayanıklılığını artırmak
2. Elektriksel zellikleri iletkenlik ve yalıtkanlığı geliŐtirmek
3. IŐıđı yansıtma veya emme gibi optik özellikleri geliŐtirmek
4. Sürtünme ve aşınma özelliklerini geliŐtirmek
5. Dekoratif olarak yani görünüm bakımından iyileŐtirme sağlamak

3.8.1 Elektrolitik kaplama

Elektroliz olayından yararlanılarak gerçekleştirilir. Elektrolit olarak kaplama metaline ait uygun tuzların sulu çözeltisi olarak kullanılır.



Şekil 3.4: Elektrolitik Kaplama Şeması [13].

Metal iyonları (M^+ katoda bağlı iş parçasına giderek yüzeyini kaplayacak cisim) kaplar. Eksilen iyonları çoğunlukla kaplama metalini olan anot sağlar. Ancak bazı durumlarda çözünmeyen farklı cinsten bir metal de anot olarak kullanılabilir. Bu takdirde sürekli elektrolit eklenmesi gerekir. Örneğin; krom kaplamada kurşun veya alaşımlarından anot olarak yararlanılır. IŐparasının en azından yüzeyinin iletken olması doğru akım devresinin tamamlanması için zorunludur. Banyo bileşimi, sıcaklığı ve pH derecesi gibi etkenler sabit tutulduğu sürece kaplama kalınlığı, akım yoğunluğu ve süreye bağlıdır.

Elektrolitik yolla pekçok metal (Zn, Cd, Sn, Cu, Ni, Cr, Pb, Ag, Au) ile bazı alaşımlar (Pirinç, Bronz, Sn – Pb, Au - Cu) iş parçasının üzerine kaplanabilir.

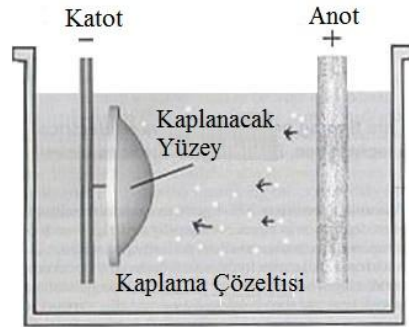
Hidrojene göre çok fazla elektronegatif olan metaller, katotta kuvvetli hidrojen ayrışmasından dolayı, sulu çözelti ile kaplanamaz. Örneğin Al için erimiş tuzların karışımı elektrolit olarak kullanılabilir. Ancak yöntem zor olduğu için sıcak daldırma ve püskürtme gibi diğer kaplama yöntemleri tercih edilir.

Kaplamanın yüzeye iyi bağlanması, gözeneksiz ve parçanın her yerinde aynı kalınlıkta olması, alaşım kaplanması gibi istekler çok karmaşık banyo bileşimlerinin kullanılmasını gerektirebilir. Bu durumda çoğunlukla kaplama hızı düşer. Bazı durumlarda söz konusu banyolardan başlangıçta yararlanmak yeterli olabilir. Ayrıca ince taneli, parlak kaplama elde etmek için de çoğunlukla organik katkılardan yararlanılabilir.

Kaplamalar birkaç tabakadan oluşabilir. Örneğin; parlak krom kaplamada önce “Bakır ve nikel” veya astar olarak yalnızca “Nikel” yapılır. Bunlar korozyon direnci sağlarken çok ince krom tabakası da görünümü iyileştirir. Bu sayede dekoratif bir kaplama elde edilmiş olur. Öte yandan, aşınma direncini artırıcı kalın “Sert krom” kaplama doğrudan iş parçası yüzeyine uygulanır [9].

3.8.2 Akımsız kaplama

Bazı metalleri uygun çözeltilerle herhangi bir dış akım kaynağı kullanmadan daha az asal olan bir metal üzerine kaplanabilir. Örneğin; çelik üzerine Ni veya Sn, alüminyum üzerine Zn kaplama yapılabilir. Şekil 3.5’ de akımsız nikel kaplanan metal ile banyo arasındaki iyon hareketleri görülmektedir.



Şekil 3.5: Akımsız Kaplamada İyon Hareketleri [14].

3.8.3 Sıcak daldırma

Çelik veya dökme demir parçalar erimiş metal banyosu (Zn, Sn, Al, Pb) daldırılıp, soğutmaya bırakılır. Elektrolitik kaplamaya göre çok hızlı, ancak daha kalın ve

üniformluğu daha az tabaka oluşturan bir yöntemdir. Tabakanın içinde metaller arası bileşikler, en dışında saf kaplama metali bulunur [9].

3.8.4 Isıl püskürtme

Tabanca denilen bir donatım içerisinde sürekli tel, çubuk veya toz halindeki malzemenin eritilip basınçlı hava veya başka bir gaz yardımıyla iş parçası yüzeyine püskürtülmesidir. Kaplama malzemesi Al, Zn, Sn, Cu, Pb, Pirinç veya seramik (Oksit, silikat, karbür) olabilir. Eritme elektrik arkı ve özellikle yüksek sıcaklıkta eriyen malzemeler için plazma arkı yardımıyla gerçekleştirilebilir.

Kaplama tabakasının yüzeye tutunmasında “Mekanik kenetlenme” büyük önem taşıdığından iş parçası önceden kum püskürtülerek pürüzlendirilmelidir. Bunun dışında parça yüzeyinin ısınma durumuna göre tabaka ile parça yüzeyi arasında “Metalsel” veya daha zayıf “Van der Waals” bağları da oluşur [9].

3.8.5 Yayınma kaplaması

Çelik iş parçası; Zn, Al veya Cr gibi metallerin saf veya bileşik halindeki tozları içine gömülür. Uygun bir sıcaklıkta nötr veya redükleyici atmosfer altında ısıtılır. Böylece söz konusu metal doğrudan veya bir gaz fazından geçerek parça yüzeyine yayınıp çeliği alaşımlandırır. Bu yöntemle oluşan yeni alaşım tabakası içeriden dışarı doğru artan ve % 50 ‘ye varabilen Zn, Al veya Cr içerir [9].

3.8.6 Giydirme

Ana malzeme ve kaplama malzemesinin birlikte sıcak haddelenmesi ile gerçekleştirilir. Örneğin; maliyeti düşük olan karbon çeliğinin paslanmaz çelikle, yüksek dayanımlı alüminyum alaşımının saf alüminyumla giydirilerek dayanıklı hale getirilmesidir [9].

3.8.7 Buhar yoğunlaştırma kaplaması

Buhar halindeki kaplama malzemesi iş parçası üzerinde yoğunlaştırılır. Böylece çok çeşitli metallerden başka bunların oksit, karbür, nitrür, silisür gibi bileşikleri de kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. Buharın elde edilme şekline göre iki farklı yöntem uygulanır: Kimyasal buhar yoğunlaştırma kaplaması ve fiziksel buhar yoğunlaştırma kaplaması.

3.8.7.1 Kimyasal buhar yoğurturma kaplaması

Kaplama malzemesinin yardımcı maddelerle oluşturduğu gaz halindeki bileşigi uygun sıcaklıktaki iş parçası yüzeyinde kimyasal ayrışmaya uğrar. Gaz halindeki yardımcı maddeler dışarı atılır. Kaplama maddesi parça üzerine yoğurtur [9].

3.8.7.2 Fiziksel buhar yoğurturma kaplaması

Katı haldeki kaplama malzemesi 10^{-3} torr'un altındaki vakum ortamında ısıtılarak buharlaştırılır ve uygun şekilde pozisyonlandırılmış parça üzerine yoğurtur. Isıtma rezistans, indüksiyon veya elektron ışınları yardımıyla gerçekleştirilir. Isıtılması zorunlu olmayan iş parçası bu nedenle yalnız metal veya seramik değil, gerektiğinde plastik veya organik malzeme de olabilir.

Kaplama malzemesinin oluşturduğu atom bulutlarının bir bölümü doğal olarak iş parçasının üzerinde yoğurtmayabilir. Yoğurtanlar atomlararası kuvvetlerin etkisiyle yüzeye bağlanır. Ortamda başka gaz atomlarının bulunması verimi düşüreceğinden vakum gerekir. Şekil 3.6' da iyon kaplama sistemini oluşturan elemanlar görölmektedir.

Benzer bir yöntem iş parçasının ayrıca katot olarak bir doğru akım devresine bağlanması ve vakumdan sonra gönderilen düşük basınçlı gaz kütlesinin katot ve anot arasında iyonize edilmesidir. Ar^+ iyonların yüzeye çarparak temizlenmesinden sonra kaplama metali ısıtılarak buharlaştırılırsa bu metal atomlarının bir bölümü plazma bölgesinde (+) iyon haline geçerek 3 – 5 kV' luk bir gerilimin etkisiyle iş parçasına doğru ivmelenir. Kaplamanın üniformluğu ve kalitesi artar.

İyon kaplama işlemi iyon nitrülemeye benzer. Yalnız burada iş parçası yüzeyine verilen plazma gazının iyonları değil, kaplama malzemesinin iyonlarıdır [9].

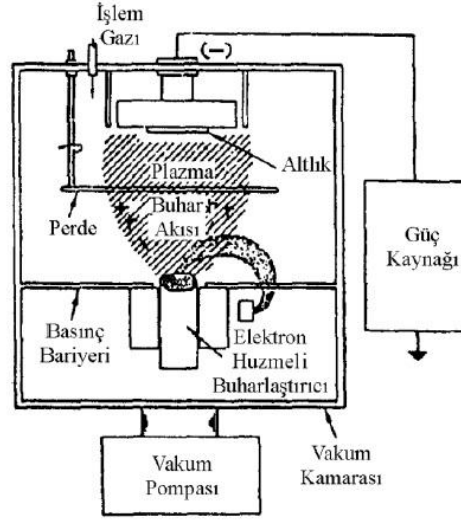
3.8.8 Dönüşüm kaplamaları

Uygun çözeltilerin etkisiyle metalsel parça yüzeyinin fosfat, kromat, oksit gibi bileşiklere dönüştürülmesi işlemidir.

3.8.8.1 Fosfatlama

Zn, Fe, Mn fosfat çözeltileri yardımıyla çoğunlukla çelik ve dökme demirlere uygulanır. Korozyon direncini artırmaktan başka yağ emerek sürtünme özelliklerini

iyileştirir. İş parçası boyanacaksa boyanın çok iyi yapışmasını sağlayan altlık görevini üstlenir [9].



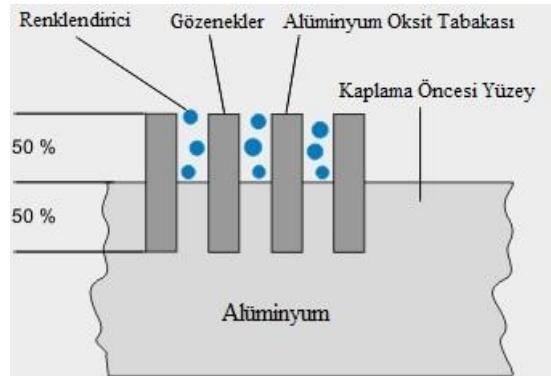
Şekil 3.6 : İyon Kaplama [15].

3.8.8.2 Kromatlama

Kromat çözeltileri yardımıyla en çok Zn, Al, Mg, Cd ve alaşımların korozyon direncini artırmak için kullanılır.

3.8.8.3 Oksitleme

Çeliklerde oksitleyici asitler içinde veya havada ısıtıp yağa daldırarak “Karartma” işlemi yapılabilir. Bu alanda en yaygın uygulama alüminyumun “Anodik oksitlenmesi” eloksaldır. Şekil 3.7’ de eloksal işleminde oluşan tabakalar görülmektedir.



Şekil 3.7: Eloksal (Alüminyumun Anodik Oksitlenmesi) [16]

Böylece 0.01 mm'lik doğal Al_2O_3 tabakası kalınlaştırılmış olur. Gözenekli olan ve saydam olan bu tabakaya istenirse boya emdirilerek istenilen renk verilebilir. Sert eloksall yapılsa 500 HV değerine sahip tabakanın kalınlığı 50 μm 'a kadar çıkabilir [9].

3.8.8.4 Emay kaplama

Çelik, dökme demir ve daha az ölçüde alüminyum parçaların camsı yapıda silikat karışımlarıyla kaplanmasına denir. İş parçaları öğütülüp suyla karıştırılmış frit çamuruna daldırılıp, kurutulur. Frit, ısıtılmış dökme demir parçalara kuru toz halinde de uygulanabilir. İşlemin son fritin camlaşmasını ve iş parçası yüzeyine bağlanmasını sağlayan pişirmedir. Pişirme sıcaklığı çelik ve dökme demir için 800 $^{\circ}C$, alüminyum için 500 $^{\circ}C$ 'dir [9].

3.8.8.5 Boyama

Boyalar organik esaslı kaplama maddeleri olup başlıca üç bileşenden oluşurlar;

- Pigmentler: Renk verici parçacıklar
- Bağlayıcı: Pigmentlerin içine dağıldığı sıvı (Bezir yağı, sentetik reçine)
- İnceltici: Gerekli viskoziteyi sağlamak üzere (Su, benzin, benzol)

Boya tabakası kuruması çözücünün buharlaşması ve bağlayıcının oksitlenmesi ile gerçekleşir. Boyalar bilindiği gibi fırça ile, püskürtmeyle, daldırmayla uygulanır. Püskürtmede tabanca çıkış ağzı bir elektrik üreticinin negatif, iş parçası da pozitif kutbuna bağlanırsa, negatif yüklü damlacıklar parçaya doğru çekilerek homojen ve yüzeyler iyi bağlanmış bir tabaka oluştururlar [9].

4. AKIMSIZ NİKEL KAPLAMA

Elektrolitik kaplama banyolarında elde edilen nikel kaplamalar metal yüzeylerinin korozyondan korunması ve bu yüzeylere dekoratif ve mühendislik özellikleri kazandırılması amacıyla 19. yüzyıldan bu yana kullanılmaktadır.

Elektrolitik kaplamalara alternatif oluşturabilecek nitelikte olan akımsız nikel kaplamalar ise saf nikel katmanlarından ziyade fosforlu ve borlu alaşımlar şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Akımsız nikel kaplamalar, nikel tuzları içeren çözeltiye daldırılan numunelerin yüzeyleri üzerinde nikel iyonlarının katalitik reaksiyonlar sonucu nikel metaline redüklenerek birikmesi sonucu elde edilirler.

Akımsız nikel kaplamanın ortaya çıkışı konusunda karşımıza ilk olarak Brenner ve Riddel isimli iki araştırmacı çıkmaktadır. Bu araştırmacıların elektrolitik nikel kaplama banyolarında istenmeyen oksidasyon ürünlerini hipofosfit ile temizlemek istemeleri sırasında ilave nikel toplandığına tanık olmaları akımsız kaplama fikrinin ortaya ilk çıkış noktası olarak görülmektedir. Nikelin hipofosfitle redüklenebileceği daha önce başka araştırmacılar tarafından gösterilmiş olsa da akımsız kaplamaların endüstriyel uygulamalara uyarlanması Brenner ve Riddel'in bu keşfi ve sonrasında gerçekleştirmiş oldukları araştırmalar sonucunda olmuştur.

Akımsız nikel kaplamaları özgün ve üstün kılan en önemli özelliklerin başında, parça geometrisine bağlı olmaksızın tüm yüzeylerde eş kalınlıkta ve homojen kaplamaların elde edilmesi gelmektedir. Kaplamalar sadece iletken yüzeylerde değil, aynı zamanda yalıtkan malzemeler üzerine de uygulanabilir. Yüksek aşınma ve korozyon dirençleri, yüksek sertlik değerleri ve ısıl işleme sertliklerinin artırılma olanakları, yüksek elektrik dirençleri ve kaygan yüzey özellikleri akımsız nikel kaplamaların diğer üstün özellikleri olarak sıralanabilir. Tüm bu özellikler akımsız kaplamaların özellikle son yıllarda kaplama endüstrisinde önemli bir yer edinmesine imkan tanımıştır ve bu konuda gerçekleştirilen çalışmalara gösterilen ilgi her geçen gün artmaya devam etmektedir [17].

Akımsız nikel kaplama, hem korozyon direncini hem de aşınma direncini artırarak aynı anda kaplanacak parçaya mekanik özellikler açısından ciddi avantajlar sağladığı için günümüzde birçok farklı endüstri tarafından uygulamalarda tercih edilmektedir. Akımsız Nikel kaplamayı istenen bir kaplama yapan bir diğer özelliği de parçaları uniform olarak kaplayabilme kabiliyeti kaplanacak parçanın boyutlarından bağımsız olmasıdır. Elektrokimyasal kaplama ise akımsız nikel kaplamanın sağladığı mekanik özellik avantajları yapıya bağımlıdır. Bu bölümde iki farklı akımsız nikel kaplama değerlendirilecektir. İlk grupta sodyum hipofosfitin indirgeyici olarak kullanıldığı nikel-fosfat banyoları incelenecektir. Bu kaplamalar genel olarak ağırlıkça % 7 – 11 oranında fosfor içermektedir. İkinci grup olarak nikel bor alaşımları incelenecektir. Bunlar ise organik aminboron yada borohidrürün indirgeyici olarak kullanılmasıyla elde edilmektedir. Genel olarak bor içeriği ağırlıkça % 4 – 7 arasındadır. Sodyum borohidrür ile kaplanan çözeltiler ayrıca % 4 – 5 oranında talyum da içermektedir. Bunlara ilaveten akımsız nikel kaplamalar silikon karbür, elmas, alümina ve PTFE gibi parçacıklar içerebilir [18].

Akımsız nikel kaplamaların alternatif kullanımı konusunda devreye girebileceği diğer alan da sert krom kaplamalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Akımsız kaplamaların üstün özelliklerinin sert kromun sağlamış olduğu avantajlarla yarışabilecek düzeyde olması ve krom kaplamaların çevre ve insan sağlığına verebileceği zararlı etkiler göz önünde bulundurulduğunda bu alanda akımsız kaplamaya doğru yönelmelerin olması beklenen bir durumdur ve son yıllarda bu kanıtı haklı çıkaracak değişimler yaşanmaya başlamıştır.

Akımsız nikel kaplamaların çeşitli özellikleri konusunda gerçekleştirilen çalışmalar sırasında Ni – P ve Ni – B yapılarına üçüncü bir alaşım elementinin katılabileceği ortaya konmuştur. Kaplamanın var olan özelliklerini iyileştirmek, bunun yanında farklı spesifik nitelikler kazandırmak adına gerçekleştirilen bu uygulamalarda ilave edilecek üçüncü element genellikle üstün spesifik özellikler gösteren geçiş grubu metallerinden seçilir. Alaşım kaplamalar adı verilen bu üçlü kaplamaların genel formülü, M ilave edilen metali temsil etmek üzere, Ni – M – P ve Ni – M – B şeklinde ifade edilir. W, Co, Mo, Re ve Mn gibi geçiş metallerinin yapıya katılarak elde edilen birçok akımsız kaplama uygulaması literatürde mevcuttur ve bu uygulamalar sonucunda yapıya farklı spesifik özellikler kazandırıldığı araştırmacılar tarafından kanıtlanmıştır [17].

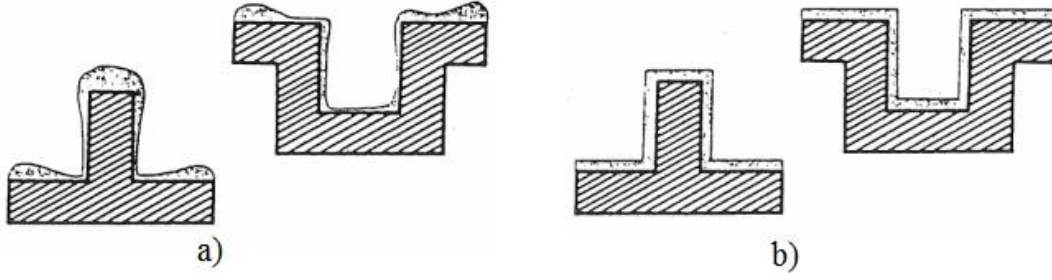
Akımsız nikel kaplamanın başlıca avantajları şu şekilde sıralanabilir [17];

1. Parçanın boyutlarından bağımsız olarak, çözelti ile temas eden tüm yüzeylerde eş kalınlıkta bir kaplama tabakası elde edilebilmesi
2. Çok az gözenekli yapıya ve yüksek korozyon direncine sahip olması
3. İstenilen kalınlıkta ve homojen kaplama yapılabilmesi
4. Aşınma ve aşındırmaya karşı yüksek dirence sahip yapıları
5. Yüksek sertlik (Isıl işlem sonrası 1100 HV sertlik değeri)
6. Metal ve metal olmayan yüzeyler üzerine kaplanabilir olması
7. Düşük sürtünme katsayısı
8. Yüksek elektrik dirençleri

Akımsız nikel kaplamanın sınırları ise [19];

1. Yüksek kimyasal maliyeti
2. Gevreklik
3. Alüminyum alaşımlarına uygulanmadan önce önemli miktarda kurşun, kalay, kadmiyum ve çinko ihtiyacı olması
4. Akımlı yöntemlere göre düşük kaplama hızı

Akımsız nikel kaplamalar, nikel iyonlarının katalitik bir yüzey üzerine kontrollü kimyasal indirgenmesi ile üretilirler. Birikinti/kaplamanın kendisi indirgeme reaksiyonuna katalitiktir. Yüzey banyo çözeltisine temas ettiği sürece ya da çözelti çözünen metal iyonlarını tüketene kadar bu reaksiyon devam etmektedir. Oto katalitik indirgeme reaksiyonunu kullanmanın avantajı numunenin kalınlık değişiminden bağımsız olarak, bileşimi ve kalınlığı uniform olan kaplama yapılabilmesidir. Elektrik akımı kullanılmadığı için numunenin dış çizgilerinin her yerinde kaplama uniformdur. Kullanılan numunenin bütün yüzey alanları banyoya eşit olarak, iyice daldırıldığında tüm yüzeylerin birikecek iyonları alma olasılıkları aynıdır. Şekil 4.1'de akımlı (a) ve akımsız kaplamalardaki (b) birikinti kalınlık dağılımı gösterilmektedir [20].



Şekil 4.1 : Akımlı (a) ve Akımsız (b) Kaplamalarda Kalınlık Dağılımı [20].

4.1 Akımsız Nikel Kaplama Banyosu Bileşenleri

Akımsız nikel kaplamalar, nikel iyonlarının katalitik bir yüzey üzerine kontrollü kimyasal indirgenmesi ile üretilirler. Günümüzde akımsız nikel kaplamalar kuşkusuz olarak en önemli katalitik kaplama işlemi olarak görülmektedir. Kaplamanın kendisi indirgeme reaksiyonuna kataliktir. Yüzey kaplama için kullanılan çözeltiliye temas ettiği sürece bu reaksiyon devam etmektedir. Ancak çözeltide çözünen metal iyonları tükenirse yine reaksiyon sonlanacaktır. Akımsız nikel kaplamalar endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaygın ticari kullanımın temel sebebi akımsız nikel kaplamanın sağladığı benzersiz avantajlardır. Akımsız nikel kaplamanın fiziksel ve kimyasal özellikleri kaplamanın bileşimine ve dolayısıyla kaplama banyosu hazırlanışı ve kaplama şartlarına bağlı olmaktadır. Genel olarak akımsız nikel kaplama banyoları şu bileşenlerden oluşmaktadır [18], [20]:

- Nikel iyonları kaynağı
- İndirgen maddeler
- Uygun kompleks oluşturucular
- Dengeleyiciler
- Enerji

4.2 Nikel İyonları Kaynağı

Genel olarak en çok tercih edilen nikel iyon kaynağı nikel sülfattır. Ancak nikel klorür, nikel asetat gibi diğer nikel tuzları da sınırlı olarak kullanılmaktadır. Nikel sülfatla karşılaştırıldığında akımsız nikel kaplama çözeltilisinde nikel asetat kullanımı banyo performansında ve kaplama kalitesinde önemli bir katkı sağlamaz. Nikel asetatın fiyatının nikel sülfatla karşılaştırıldığında çok yüksek olmasından dolayı nikel asetatın kullanımı ile elde edilen küçük avantajlar göz ardı edilebilir. Nikel

iyonları kaynağı olarak en uygun tuz nikel hipofosforik asittir. Nikel hipofosfat kullanımı ile sulfat anyonlarının (eksi iyonlarının) eklenmesine gerek kalmaz. Ayrıca reaksiyona giren bileşenleri tüketerek serbest alkali metal iyonlarını en düşük seviyede tutar [18].

4.3 İndirgen Maddeler

Akımsız nikel kaplama banyolarında sulu çözeltilerde nikeli kimyasal olarak çöktürmek için sodyum hipofosfit, dimetilaminboron, sodyumborohidrit ve hidrazin gibi dört farklı indirgeyici madde kullanılabilir. Çizelge 4.1’de nikel indirgemedede kullanılan bu malzemelerin kimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır:

Çizelge 4.1: Nikel İndirgeyiciler [18].

İndirgeyiciler	Moleküler Ağırlığı	Eşdeğer Ağırlık	pH Aralığı
Sodyum hipofosfit	106	53	4 – 6 7 – 10
Sodyum borohidrit	38	4.75	12 – 14
Dimetilaminboron	59	9.8	6 – 10
Hidrazin	32	8.0	8 – 11

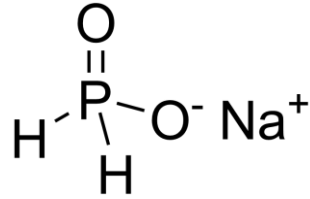
Farklı indirgeyicilerin özelliklerine değinmeden önce reaksiyonla ilgili şu bilgiler göz önünde bulundurulmalıdır [18]:

1. Nikelin indirgenmesi her zaman hidrojen gazının çıkışı ile gerçekleşir.
2. Kaplama saf nikelden oluşmaz ve kullanılan indirgeyiciye bağlı olarak fosfor ya da boron içerir.
3. İndirgeme reaksiyonu sadece belirli metallerin yüzeyinde gerçekleşir.
4. Hidrojen iyonları indirgeme reaksiyonun yan ürünleri olarak reaksiyon sırasında üretilir.
5. Metal kaplama sırasında indirgeyicinin kullanımı % 100’den daha düşük seviyelerde olmaktadır. Yani indirgeyicinin tamamı reaksiyon sırasında kullanılamamaktadır.
6. Kaplanan nikelin, harcanan indirgeyiciye molar oranı genellikle bire eşit veya birden daha azdır.

4.3.1 Sodyum hipofosfit ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

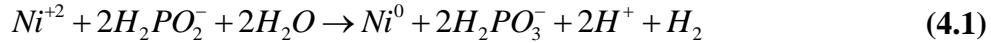
Akımsız nikel kaplamada kullanılan banyoların %70'inden fazlasında indirgeyici olarak sodyum hipofosfit kullanılmaktadır. Borohidrit ve hidrazin çözeltilerine göre düşük maliyet ve kontrolünün kolay olması gibi avantajları vardır.

Ayrıca korozyona karşı direnci de diğer indirgiyecilerle oluşturulan kaplamalara göre daha fazladır [20]. Şekil 4.2'de sodyum hipofosfitin kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 4.2 : Sodyum hipofosfitin kimyasal yapısı [21].

ipofosfitin indirgeyici olarak kullanıldığı banyolarda gerçekleşen kimyasal reaksiyon Denklem 4.1' de görüleceği üzere gösterilebilir [18]:

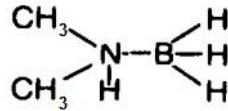


Nikel iyonları çözeltideki hipofosfit ve su ile reaksiyona girerek kaplanacak numune yüzeyine indirgenir. Ortamdaki hipofosfitin büyük bir kısmı, ısı etkisiyle Ni ve P'un birikmesinden bağımsız olarak, ortofosfit ve hidrojen gazına yükseltgenir. Bu dönüşüm, akımsız nikel çözeltilerinin verimini düşürücü bir etki gösterir. Bundan dolayı % 37 verimlilikte mol oranları dikkate alınarak hesaplama yapıldığında 1 kg nikeli indirgemek için 5 kg sodyum hipofosfit gerekmektedir. Reaksiyon 4.3'de çözeltide gerçekleşen tüm reaksiyonlar yazılmıştır [18].

4.3.2 Dimetilaminboron

Akımsız nikel kaplamalarda iki çeşit aminboron kullanılmaktadır: N – dimetilamin boron (DMAB) $(\text{CH}_3)_2\text{NHBH}_3$ ve H – dietilamin boron (DEAB) $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NHBH}_3$. DEAB Avrupa kurumlarında, DMAB ise ABD'de kullanılmaktadır. DMAB geniş pH aralığında etkili bir indirgen maddedir. Fakat hidrojen oluşumu yüzünden kaplamanın başarıyla tamamlanabilmesi için banyo pH değerinin bir alt limiti vardır. Banyodaki pH yükseldikçe birikintideki nikel artar. Genellikle DMAB banyoları Çizelge 4.1'de de görüleceği üzere 6 – 10 pH aralığında kullanılırlar. Bu banyolar

için çalışma sıcaklığı ise 50 – 80 °C'dir. Ayrıca plastik, ametal gibi katalitik olmayan yüzeylerin kaplanmasında da DMAB banyoları çok etkilidir. Birikme hızı pH ve sıcaklığa bağlı olarak 7 – 12 µm/saat arasında değişmektedir. Bu banyoların kullanılmasıyla elde edilen kaplamalarda yüzeydeki bor miktarı % 0.4 ile 5 arasında değişmektedir [20]. Şekil 4.3'de DMAB kimyasal yapısı görülmektedir.

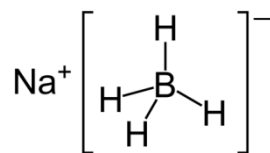


Şekil 4.3: Dimetilaminboron (DMAB) kimyasal yapısı [18]

4.3.3 Sodyum borohidrür

Borohidrür akımsız nikel kaplama banyolarında kullanılacak en kuvvetli redükleyicidir. Redükleyici olarak sodyum borohidrür tercih edilmesine rağmen suda çözünürlüğü olan herhangi bir redükleyici de kaplama banyosunda nikel indirgeyici olarak kullanılabilir. Çözeltide nikel iyonlarının serbest şekilde bulunması nikel borür oluşumunu tetikler. Bu yüzden bu banyolarda pH değerinin 12 – 14 arasında tutulması çok önemlidir. Bir mol sodyum borohidrür yaklaşık olarak bir mol nikeli redükleyebilir. Diğer bir deyişle, 1 kg nikelin redüklenebilmesi için 0.6 kg sodyum borohidrür gereklidir. Sodyum borohidrür kullanılarak elde edilen kaplamalar ağırlıkça % 3 – 8 oranında bor içerir. Nikel hidroksitin çökmesini engellemek için banyo uygulama koşullarına en uygun kompleks oluşturucular kullanılır. Ancak bu tür kuvvetli kompleks oluşturucuların kullanımı kaplama hızı üzerinde olumsuz etki yapabilir. Banyo sıcaklık 90 – 95 °C aralığında iken kaplama hızı 25 – 30 µm/saat aralığındadır [17].

İndirgeme sırasında çözeltinin pH'ı düşme eğilimi gösterecektir, bunu engellemek için sürekli şekilde alkali hidroksit ilavesi gerekmektedir. Banyo pH değerinin 12'nin altına düşmesine izin verilirse çözelti ayrışabilir. Şekil 4.4'de sodyum borohidrürün kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 4.4: Sodyum Borohidrür kimyasal yapısı [16]

4.3.4 Hidrazin

Akımsız nikel kaplama banyolarında indirgeyici olarak kullanılan bir diğler bileşik de hidrazindir. Kaplama çözeltilerinde hidrazin kullanılmasıyla saf kaplamalar elde edilebilir. Bu banyolarda 90 – 95 °C ve 10 – 11 pH aralığında kaplama yapılır. Kaplama hızı ise yaklaşık olarak 10 – 12 µm/saat'tir. Hidrazinin yüksek sıcaklıklardaki kararsız yapısından dolayı hidrazin ile oluşturulmuş banyolar kararsız ve kontrolü zor olan banyolardır. Ticari olarak kullanımları ise oldukça sınırlıdır. Hidrazinin indirgediği çözeltiden oluşan birikinti çok miktarda nikel içermesine rağmen metalik görünüşe sahip değildir. Kaplama kırılğan ve korozyon direnci zayıftır. Bir diğler önemli nokta da hipofosfit ve borohidritin indirgediği nikel kaplamalardan farklı olarak hidrazin ile indirgenen kaplamaların yüzey sertliği ısıt işlem ile artırılmaz [17, 20].

4.4 Kompleks Oluşturucular

Akımsız nikel kaplama banyo çözeltilerinin kendiliğinden ayrışmasını engellemek ve böylece indirgemenin yalnızca katalitik yüzeyde meydana gelmesini sağlamak için çözeltiye kompleks oluşturucuların eklenmesi gerekmektedir. Kompleks oluşturucular, iki istisna dışında organik asitler veya tuzlardır. Bu iki istisna, yalnızca bazik çözeltilerde kullanılan inorganik pirofosfat anyonları ve banyoların pH kontrolü veya düzeltme için eklenen amonyum iyonlarıdır [17, 20].

Akımsız nikel banyolarında kompleks oluşturucuların temel görevleri şunlardır [18]:

1. Nikel tuzlarının (Örneğin; temel tuzlar veya fosfitler) çözelti içinde çökmesini engellemek
2. Kaplama banyosundaki serbest nikel iyonlarının konsantrasyonunu azaltmak
3. Tampon etkisi göstererek çözelti pH'ının çok hızlı düşmesini engellemek

Akımsız nikel çözeltilerinde yaygın olarak kullanılan kompleks oluşturucular [18]:

- Asetat (CH_3COOH),
- Propionate ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$),
- Succinate ($\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$),
- Hydroxyacetate (HOCH_2COOH),
- α -hydroxypropionate ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$),

- Aminoacetate ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$),
- Etilendiamin ($\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$),
- β – aminopropionate ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$),
- Malonate ($\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$),
- Pyrophosphate ($\text{H}_2\text{O}_3\text{POPO}_3\text{H}_2$),
- Malate ($\text{HOOCCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$),
- Sitrat ($\text{HOOCCH}_2(\text{OH})\text{C}(\text{COOH})\text{COOH}$)

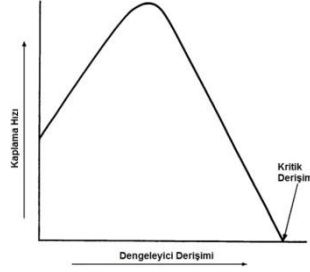
Kimyasal kaplama ya da indirgeme reaksiyonlarının zorluklarından biri banyoyu oluşturan çözeltiyi dengede tutabilmektir. Kaplama işlemi devam ederken, nikelin indirgeme hızı yavaşlama eğilimi gösterecektir. Örneğin; sodyum hipofosfit banyosu ele alınır; eğer banyoda nikel fosfat çökelse, kaplamanın yüzey kalitesi kötüleşir. Sonuçta kaba, pürüzlü ve mat bir kaplama oluşur. Ayrıca çözültideki nikel konsantrasyonu azalır ve banyo bozunma sınır değerine doğru gider. Çözeltiyeye kompleks oluşturucu olarak eklenen sodyum sitrat, nikel fosfat oluşumunu ve çökme sınırını azaltıcı etki gösterecektir.

4.5 Dengeleyiciler

Akımsız nikel kaplama banyolarında kaplamanın uygun bir hızda elde edilebilmesi için banyonun kabul edilebilir oranda kararlı olması gerekmektedir. Bu banyolarda çalışma sırasında gelişen koşullar banyonun çok hızlı kararsız hale geçerek nikelin toz nikel, nikel fosfit veya nikel borür şeklinde çökmesine neden olur. Bu çökmenin temel nedeni banyoda koloidal (Bir maddenin kendisi için çözücü olmayan bir ortamda çözünmesi) veya çok küçük boyutta katı nikel veya başka metal çekirdeklerinin bulunması veya oluşmasıdır. Bu parçacıkların yüksek alan/hacim oranına sahip olması, bu yüzeylerde indirgeme işleminin çok hızlı gerçekleşmesine ve dolayısıyla banyonun çökmesine neden olur. Bu olay gerçekleşmeden önce, çözültiden şiddetli bir gaz çıkışı gözlenir ve banyoda siyah toz nikel açığa çıkar.

Dengeleyiciler, tüm banyonun bozulmasını tetikleyen homojen reaksiyonları engellemek için de kullanılırlar. Dengeleyicileri etkin bir şekilde kullanabilmek için çözeltiyi hazırlarken banyonun bozunmasını engellemek için uygun dengeleyici belirlenmelidir. Bir diğer nokta da kullanılan dengeleyicinin hazırlanan çözelti ve banyo çalışma koşulları ile uyumluluğunun tespit edilmesi gereklidir [17, 20].

Kaplama, Şekil 4.5’ de görüleceği üzere belli bir kritik değer sonrasında durmaktadır. Ayrıca kaplama hızını artırabilmek için dengeleyici derişiminin belirli bir seviyede tutulması gereklidir.

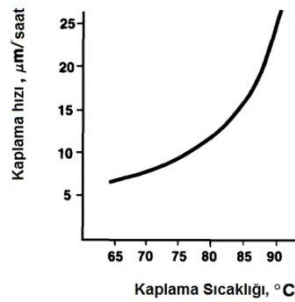


Şekil 4.5: Dengeleyici derişimine bağı olarak kaplama hızının değişimi [18]

4.6 Enerji

Akımsız nikel kaplama bir katalitik reaksiyondur ve katalitik reaksiyonların gerçekleşebilmesi için enerji gereklidir ve bu enerji de ısı enerjisi olarak sağlanır. Akımsız nikel kaplama çözeltisindeki enerji ya da ısı miktarı kaplamanın gerçekleşmesindeki parametrelerden biridir. Aynı zamanda bu enerji banyo kinetiği ve kaplama hızı üzerinde de etkilidir. Enerjinin kaplama banyosu üzerindeki göstergesi ise sıcaklıktır. Aynı zamanda bu enerji banyo kinetiği ve kaplama hızı üzerinde de etkilidir. Enerjinin kaplama banyosu üzerindeki göstergesi ise sıcaklıktır.

Kaplama hızı 65 °C'nin altındaki sıcaklıklarda genellikle çok düşüktür ve artan sıcaklıkla birlikte kaplama hızı Şekil 4.6'da görüleceği üzere hızlı bir artış gösterir. Öte yandan 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda akımsız nikel kaplama banyo çözeltilerinin bozunma olasılığı mevcuttur. Genel olarak borhidrür içerikli banyoların çalışma sıcaklığı 80 – 95 °C iken, hipofosfitli banyolarda 65 – 90 °C arasındadır [17], [18].



Şekil 4.6 : Sıcaklığın kaplama hızına etkisi [18].

4.7 Akımsız Nikel Kaplanacak Numune

Yüzeyine akımsız nikel kaplama yapılacak olan numune, birikme reaksiyonunu başlatabilecek özellikte olmalıdır. Bunun için numune yüzeyinin katalitik olarak aktif olması gereklidir. Eğer numune yüzeyi katalitik olarak aktif değilse uygun bir metal ile ön kaplama yapılarak aktif hale getirilmelidir. Numune yüzeyine ilk kaplama yapıldıktan sonra nikelin kendisi katalitik olduğu için kaplama işlemi numune banyodan çıkarılana kadar devam eder. Dolayısıyla akımsız nikel kaplama işleminde malzemeler katalitik aktivitelerine göre iki gruba ayrılabilirler:

- Aktif malzemeler: Bu metaller akımsız nikel kaplama işlemini herhangi bir ön kaplama işlemine ihtiyaç duymadan başlatabilme ve dolayısıyla devam ettirebilme özelliğine sahip malzemelerdir. Kobalt, Nikel, Rutenyum, Paladyum, İridyum, Platin örnek verilebilir.

- Kataliz edilen malzemeler: Bu malzemelerin yüzeyi kendiliğinden aktif değildir. Yani çözelti ile temas halinde yüzeyde nikel birikmesi gözlenmez. Ancak bunun yerine katalitik aktifliği vermek için numune yüzeylerinde kendiliğinden aktif olan bir metal kaplanması durumunda bu malzemelere de kaplama yapılabilir. Bu gruba en iyi örnek olarak alüminyum gösterilebilir.

Uygun katalitik aktivasyondan sonra, ametal malzemeler de akımsız nikel ile kaplanabilir. Bunun için bu malzemelerin yüzeyine içsel olarak aktif bir malzeme ile ön kaplama yapılmalı sonrasında akımsız nikel kaplanmalıdır. Örneğin; metalik paladyum atomları yüzeyde birikinceye kadar yüzey paladyum klorür çözeltisine maruz bırakılır [18].

5. AKIMSIZ NİKEL KAPLAMANIN ÖZELLİKLERİ

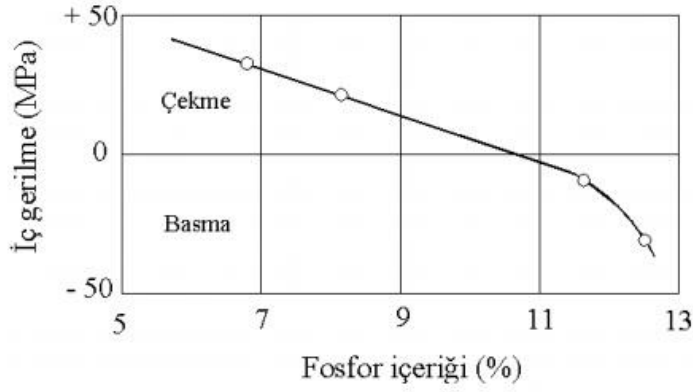
Akımsız nikel kaplamalar (AN) esas olarak iki gruba ayrılarak incelenecektir. Bunlardan ilki hipofosfitin indirgediği nikel – fosfor (Ni – P) kaplamalar, diğeri ise; borohidrit veya aminboronun indirgediği nikel – bor (Ni – B) kaplamalardır.

5.1 Akımsız Nikel Fosfor Kaplama

Hipofosfit indirgeyicili akımsız nikel kaplamalar, uygulama şekli ve sahip olduğu özellikler nedeniyle günümüzde bir çok alanda uygulanmaktadır. Uygulamada nikel-fosfor kaplamalar üniform, sert, nispeten kırılğan, yağlayıcı etki gösteren, kolay lehmlenebilir ve yüksek korozyon direncine sahiptir. Sertliği, düşük sıcaklıklarda yapılan tavlama ile artırılabilir, bu şekilde elde edilen aşınma dayanımı, ticari sert krom kaplamaların aşınma direncine yakındır. Bu özellikleri bir arada bulundurması nedeniyle Ni – P kaplamalar birçok uygulama alanı bulmuştur. Ni – P kaplamaların özelliklerini belirleyen en önemli faktör kaplamanın bileşimidir [18].

Ticari kaplamalar, kaplama çözeltisinin formülasyonuna bağlı olarak, nikel içinde % 6 – 12 oranında fosfor ve en fazla % 0.25 oranında başka elementleri içerebilir. Uygulandığında bu kaplamaların çoğu amorf yapıdadır. Ancak ısıl işlem ile bu yapı kristale çevrilebilir. Bu değişiklikler kaplamanın sertlik ve aşınma direncinde hızlı bir artışa neden olmakta, fakat korozyon direncinde ve sünekliğinde azalmaya sebep olur [20].

Ni – P kaplamaların iç gerilimi kaplama kompozisyonunun esas fonksiyonudur. Şekil 5.1’ de görüleceği üzere çelik üzerine uygulanan ve ağırlıkça %10’dan fazla fosfor içeren kaplama basma etkisi gösterirken daha düşük oranda fosfor içeren kaplamada esas malzeme ile kaplama arasındaki termal genişleme farklılıklarından dolayı artık çekme gerilmesi 15 – 45 MPa’ya ulaşmaktadır. Yüksek seviyedeki gerilme kaplamadaki gözenek ve çatlakları arttırmaktadır.



Şekil 5.1 : Akımsız Nikel Kaplamalarda Fosfor İçeriğinin Etkisi [18].

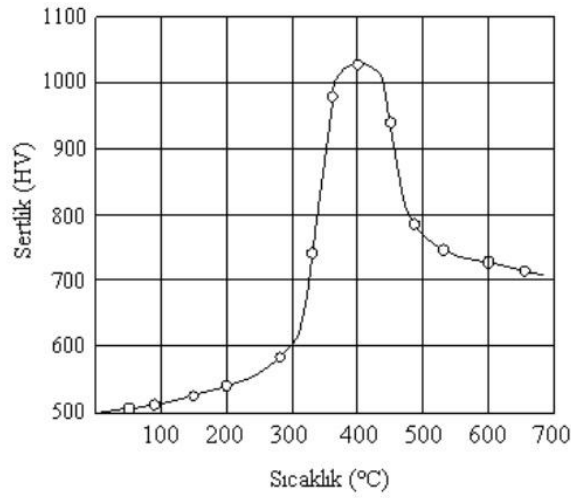
Ni – P kaplamanın birçok metalle oluşturduğu bağ son derece mükemmeldir. Tüm çelik ve metaller ile plastik ve metal olmayan malzemeler üzerine kaplama yapılabilir. Ancak yüzeylerin aktif hale getirilmesi gerekebilir. Yüzeyi iyi hazırlanmış ve aktifleştirilmiş çelik alt malzemesine oluşan bağ kuvveti 300 – 400 MPa değerleri arasındadır. Paslanmaz çelik gibi katalitik olmayan veya pasif metal yüzeylerinde bağ kuvveti daha düşük olup 140 MPa civarındadır.

Ni – P kaplamanın yoğunluğu nikelin yanında bulunan elementler ve oranlarına bağlı olarak 7,75 – 8,5 g/cm³ arasında değişir. Elektrik direnci bakır yada gümüşle karşılaştırıldığında iletkenliği daha düşüktür. Fakat alaşımdaki fosforun ısı ile işleme çöktürülmesi ile iletkenliği 4 kat artırılabilir.

Ni – P kaplamanın mekanik özellikleri diğer camlı malzemelerinkine benzer, yüksek mukavemet, sınırlı süneklik ve yüksek modüllü esneklik gibi mekanik özellikleri vardır. Isıl işlemlerle sertleştirmeden sonra mukavemet ve süneklik özelliği azalır. Eğer 220 °C'nin üzerinde ısı işlem uygulanırsa mukavemette % 80 -90 azalma görülür ve süneklik özelliği yok olur.

Ni – P kaplandığı durumda mikrosertlik 500– 600 HV olup, yaklaşık olarak 48 – 52 HRC'ye tekabül eder ki birçok sertleştirilmiş çelik alaşım malzemelerin sertliği ile hemen hemen aynıdır. 400 °C'nin altındaki sıcaklıklarda uygulanan ısı işlem, yaşlanma yoluyla sertliğin 1000 -1100 HV (62-63 HRC) yükselmesini sağlar ki birçok ticari sert krom kaplamanın sertliğinden daha iyidir. Şekil 5.2 'de % 10,5 fosfor ihtiva eden AN kaplamanın farklı sıcaklıklarda 1 saat tavlama sonucu

elde edilen sertlik değerleri görülmektedir. Uygulanan ısıl işlem 400 °C'nin altında uygulandığı için özellikle malzemelerde herhangi bir deformasyona veya mukavemet kaybına yol açmaz. Yüksek sertlik özelliğinden dolayı AN kaplamanın aşınmaya ve erozyona karşı direnci, ısıl işlem görmüş ve görmemiş her durumda gayet yüksektir. Yüksek ısıl işlem sıcaklıklarının uygulanamayacağı alüminyum türünden malzeme yüzeylerindeki kaplama sertleştirilmek istendiğinde düşük sıcaklıklarda daha uzun süreli ısıl işlem ile sertlik elde edilebilir.



şekil 5.2 : Ni – P kaplamanın 1 saat tavlama sonrası sertlik değerleri [22].

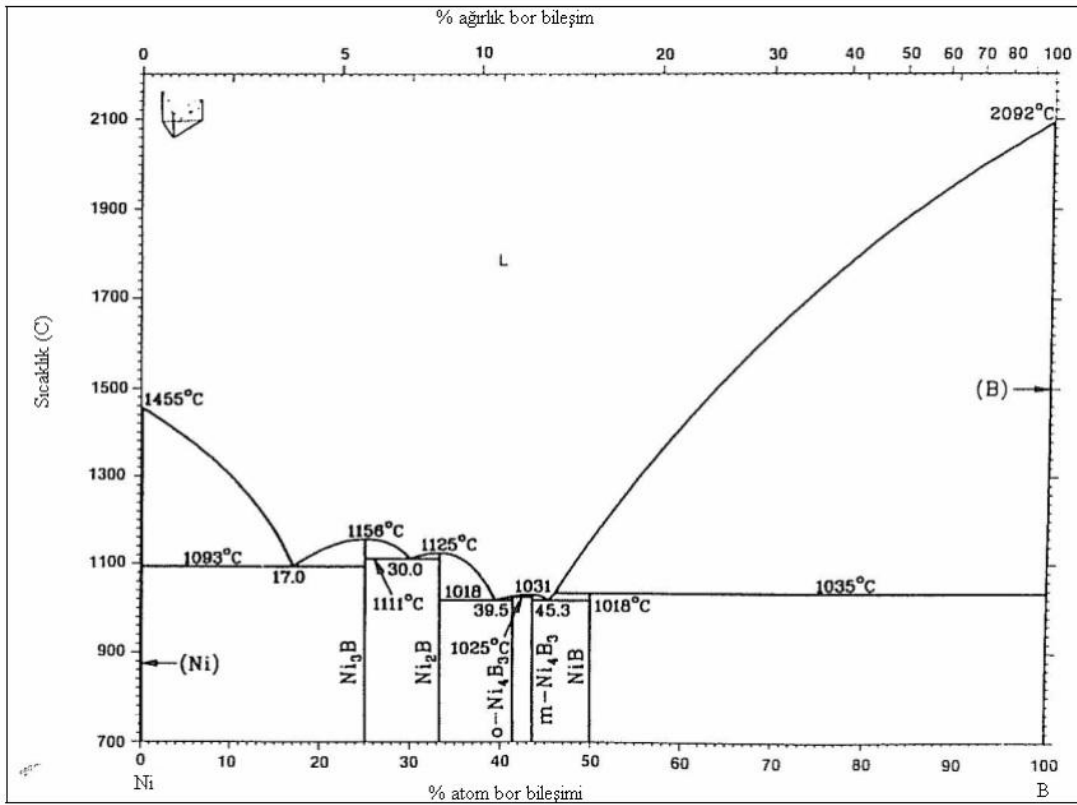
Ni – P kaplamalar, polikristal malzemelere nazaran, amorf alaşımları gibi tane ve faz sınırları ihtiva etmediğinden ve yüzeylerdeki camsı film dokusundan dolayı korozif saldırılara karşı daha yüksek dirence sahiptir. Sertliği artırmak amacıyla gereğinde uygulanan ısıl işlem Ni – P kaplamanın korozyon direncinde azalmaya yol açar. Bunun sebebi, ısıl işlem esnasında amorf dokunun kristal dokuya dönüşmesidir. Bu azalma mutlak olmayıp ısıl işlemin uygulandığı sıcaklık ve süreye bağlıdır. Dolayısıyla parçanın çalışacağı koşullara bağlı olarak istenen sertlik değerine ve korozyon direncine göre ısıl işlem prosesi düzenlenebilir [23].

5.2 Akımsız Nikel Bor Kaplama

Borohidrit veya aminboronun indirgelediği banyolarda elde edilen nikel – bor kaplamanın özellikleri birkaç istisna dışında akımsız nikel – fosfor alaşımlarıyla

benzerdir. Nikel – Bor (Ni – B) alaşımlarının sertliği oldukça yüksektir ve bu alaşımlara sert kroma eşit veya daha yüksek seviyelerde ısıl işlem yapılabilir.

Nikel – bor kaplamaları aşınmaya karşı göze çarpan bir dirence sahiptir. Bu alaşımlar tamamıyla amorf yapıda değildir ve korozif ortamlara karşı dirençleri daha azdır. Ayrıca, nikel – fosfor kaplamalara göre daha pahalıdır. Akımsız Ni - B kaplamalarda bor içeriği kullanılan banyoya bağlı olarak değişmektedir. Organik aminboron banyosunda bor miktarı % 0.2 – 4 arasında iken; borohidrit banyosunda % 4 – 7 arasındadır. Biriktirilmiş akımsız nikel yarı kararlı ve aşırı doymuş bir alaşımdır. Ni – B sisteminin dengeli faz diyagramı Şekil 5.3’ de görülmektedir. Ortam sıcaklıklarında borun nikel içinde katı çözünürlüğünün olmadığı faz diyagramında görülmektedir. Denge şartları altında alaşım, saf nikel ve metaller arası bileşik olan Ni_3B içerir [20].

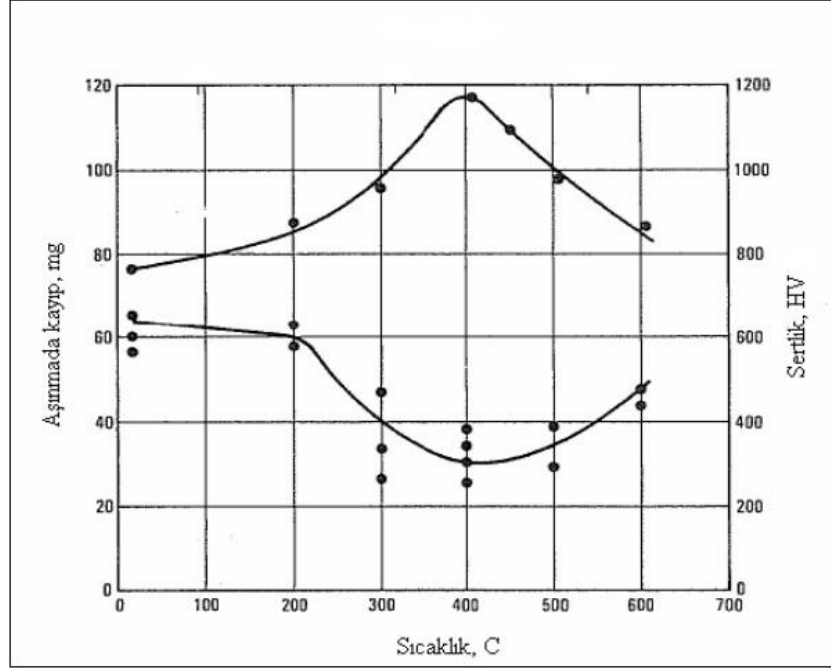


Şekil 5.3 : Nikel – Bor Faz Diyagramı [18].

Ni – P kaplamalarda olduğu gibi akımsız nikel – bor kaplamalar da (Ni – B) ısıl işlem ile sertleşir. 200 °C’ nin üzerinde ayırık nikel borür (Ni_3B) parçacıkları oluşmaya başlar ve 370 °C’ de kaplama kristalleşir. Oluşan borürün yapısı ısıl işlem sıcaklığına ve birikintinin bor miktarına bağlıdır.

Düşük sıcaklıklarda tipik olarak Ni_3B oluşur, sıcaklık $400\text{ }^{\circ}C$ ' den yüksek olduğunda Ni_2B ve Ni_7B_3 bulunabilir. Ni_7B_3 kararsızdır ve $450\text{ }^{\circ}C$ ' den daha yüksek sıcaklıklarda Ni_2B , Ni_3B ' ye dönüşür. Genel olarak ısıtılmış $Ni - B$ kaplamalarının son yapısı tipik olarak Ni_3B ve % 10 kristal nikel ve talyum gibi (banyoyu dengelemek için kullanılan madde) içerir.

Akımsız nikel-borun temel avantajı yüksek sertliği ve aşınmaya karşı mükemmel direncidir. Borohidrit ve aminboronla indirgenmiş kaplamaların mikro sertlik değerleri 650 ile $750\text{ HV}_{0.1}$ arasında değişmektedir. 350 ile $400\text{ }^{\circ}C$ arasında 1 saat ısıtım yapıldıktan sonrası $1200\text{ HV}_{0.1}$ sertlik değeri sağlanabilmektedir. 1 saat süresince farklı sıcaklıklarda ısıtım uygulanan $Ni - B$ kaplama için sıcaklığın sertlik üzerindeki etkisi Şekil 5.4' de görülmektedir [20].



Şekil 5.4 : Isıl işlemin $Ni - B$ Kaplamanın Sertliğine Etkisi [20].

Borohidritin indirgediği akımsız nikel - borun ($Ni - B$) fiziksel ve mekaniksel özellikleri Çizelge 5.1' de hipofosfitin indirgediği % 10,5 P içeren $Ni - P$ kaplama ile karşılaştırılmıştır [20].

Çizelge 5.1 : Ni-B ve Ni-P Kaplama Özelliklerinin Karşılaştırılması [18].

Özellik	Akımsız Ni – B (Ağırlıkça % 5 B içeren)	Akımsız Ni – P (Ağırlıkça % 10,5 P içeren)
Yoğunluk [g/cm ³]	8,25	7,75
Erime noktası [°C]	1080	890
Elektriksel direnç [μΩ.cm]	89	90
Isı iletim katsayısı [W/mK]	-	4
Isıl uzama katsayısı 22 – 100 °C arasında [μm/m.°C]	12.6	12
Manyetik özellikler	Çok zayıf, ferromanyetik	Manyetik değil
İç gerilmeler [MPa]	110	0
Çekme dayanımı [MPa]	110	700
Süneklik (% uzama)	0.2	1
Elastiklik modülü [GPa]	120	200
Kaplama sonrası sertlik [HV _{0.1}]	700	500
Isıl işlem sonrası sertlik	1200	1100
Sürtünme katsayısı (Çeliğe karşı)	0.12	0.13

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler iki kısımdan oluşmaktadır; öncelikle kaplama işlemleri ile ilgili deneysel çalışmalar sonrasında ise yorulma deneyi ile ilgili çalışmalar anlatılacaktır.

6.1 Kaplama ile İlgili Çalışmalar

Bu bölümde, çalışmada kullanılan numune malzemeleri ve kaplama öncesi bu numunelere yapılan ön işlemler, akımsız Ni – B, Ni – W – B banyoların kurulumu, kaplama deney düzeneği ve kaplama sonrasında kaplamanın karakterizasyonunu belirlemek için uygulanan deneysel yöntemler anlatılmıştır.

6.1.1 Numune malzemesi

Kullanılan donanımlarla birlikte banyonun çalışabilirliği ve en uygun kaplama koşullarını belirlemek amacıyla öncelikle çelik (St37) numunelerle akımsız nikel kaplama yapılmıştır. İlk aşamada çelik numune üzerine yapılan kaplama için sertlik ve ısıl işlem sonrası sertlik değerleri ölçülerek literatürdeki değerler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu şekilde kaplama banyolarının başarısı değerlendirilmiştir. Yorulma numunelerinin alüminyum olması sebebiyle sonraki aşamada 7075 Al alaşımı üzerine kaplama yapılmış ve yine sertlik değerleri ile banyonun çalışabilirliği kontrol edilmiştir.

6.1.2 Kaplama öncesi yapılan ön işlemler

Akımsız nikel kaplama gerekli ön işlemler uygulandığında metal ve metal olmayan farklı bileşime sahip çok sayıdaki malzemeye uygulanabilir. Bundan dolayı kaplama öncesi ön işlem olarak tek bir uygulamadan bahsetmek söz konusu olamaz, farklı malzemeler için ayrı ayrı ön işlemler gerekmektedir.

Ayrıca kaplamalardan istenen en önemli özellik numune ile kaplama arasındaki bağ kuvvetinin yüksek olmasıdır. Yüzeydeki kirleticilerin temizlenmesi ile numune ile kaplama arasındaki bağ kuvveti daha büyük bir değere sahip olacaktır. Yüzeyden temizlenmesi gereken kirleticiler şu şekilde sıralanabilir [18]:

- Hidrokarbonlar
- Yağlar
- Oksitler
- Pasif tabakalar
- Yabancı metaller
- Kaplama banyosundan artıklar
- Bunlara ilaveten numunedeki yüzey hataları yani çatlaklar, gözenek ağları, yabancı inklüzyonlar, haddeme sonucu yüzeyde oluşan çizgiler de eklenmelidir.

Ön deneylerde çelik (St37) ve alüminyum (7075) olmak üzere iki farklı numune ile çalışılmıştır. Herbir malzemeye uygulanan ön işlemler aşağıdaki bölümde anlatılmıştır.

6.1.2.1 Çelik numunelere uygulanan ön işlemler

Çelik malzemeler en fazla kaplanan numunelerdir. Çelik yüzeyleri kaplayabilmek için şu üç işlemin başarıyla tamamlanması gereklidir: Kirleticilerin temizlenmesi, oksijen giderme ve yüzey aktivasyonu. Bu işlemleri gerçekleştirebilmek için çelik numunelere sırasıyla aşağıdaki ön işlemler uygulanmıştır [20]:

1. Sırasıyla 400, 600, 100, 1200'lük zımpara kağıtları ile zımparalama
2. Trikloretilen ile temizleme
3. Durulama
4. Sıcak yağ alma (70 °C' de 5 dakika boyunca deterjan temizleyicisinde ıslatma)
5. Durulama
6. % 40 HCl (Hidroklorik asit) çözeltisinde 120 – 150 saniye bekletme
7. Durulama
8. Saf suda durulama

6.1.2.2 Alüminyum numunelere uygulanan ön işlemler

Alüminyum alaşımlarının sertliğini, aşınma direncini artırmak ve dekoratif bir görünüm kazandırmak amacıyla akımsız nikel kaplamalar uygulanmaktadır. Ancak akımsız nikel kaplamayı alüminyum alaşımlarına bir ön işlem olmaksızın uygulamak mümkün değildir.

Alüminyumun üzerindeki oksit tabakası yüzey ile kaplama arasında güçlü bir bağ kuvveti oluşmasını engellemektedir. Bundan dolayı kaplama öncesi zinkatlama işlemi ile reaksiyonda alüminyum ve zinkatın yer değiştirmesi sağlanır ve bu şekilde kaplama yapmak mümkün olur. Özellikle çift kat zinkatlama, alüminyum alaşımlarının kaplamaya çok daha kuvvetli bir şekilde bağlanmasını sağlar. Alüminyum üzerine uygulanacak olan çift kat zinkatlamının kaplama ile numune yüzeyi arasındaki bağ kuvvetini artırdığı görülmüştür, ancak iki kattan daha fazla zinkatlama yapılması durumunda bu kuvvetin azaldığı sonucuna varılmıştır [24].

Zinkatlama işleminin yapılabilmesi için ticari BONDAL DIP çözeltisi kullanılmıştır. Şekil 6.1' de BONDAL DIP öncesi alüminyum numuneler görülmektedir. BONDAL DIP prosesi, alüminyum ve alaşımlarına herhangi bir bakır veya pirinç kaplama olmaksızın doğrudan kaplamaya imkan veren bir işlemdir. Ayrıca zinkatlanmış parçaların yapışma kuvvetini artırmak için fırınlamaya ihtiyaç yoktur. BONDAL DIP kullanıma hazır sıvı olarak temin edilmiştir. İşlem için sıcaklık 15 °C – 30 °C arasında tutulmalıdır. Daldırma süresi, alüminyum içindeki alaşım miktarına ve oranlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bunun için en uygun süre yapılan deneylerle belirlenmiştir [25].

Alüminyum numuneleri akımsız nikel ile kaplamak için sırasıyla aşağıdaki ön işlemler uygulanmıştır [24]:

1. Sırasıyla 400, 600, 100, 1200'lük zımpara kağıtları ile zımparalama
2. Yağ alma (25 °C'de 3 dakika boyunca deterjan temizleyicisinde ıslatma)
3. Durulama
4. HF + 3HNO₃ (Molar olarak %25 hidroflorik asit ve %75 nitrik asit)çözeltisine 10 saniye daldırma
5. Saf suda durulama
6. HF + 3HNO₃ (Molar olarak %25 hidroflorik asit ve %75 nitrik asit)çözeltisine 10 saniye daldırma

7. Saf suda durulama
8. Ticari BONDAL DIP çözeltisinde 1 dakika süresince bekletme
9. Durulama
10. %5 HNO₃ (Nitrik asit) çözeltisine 10 saniye daldırma
11. Saf suda durulama
12. Ticari BONDAL DIP çözeltisinde 3 dakika süresince bekletme
13. Saf suda durulama

Yukarıdaki işlemler uygulandıktan sonra alüminyum yorulma numuneleri Şekil 6.2 ‘de görüleceği üzere zinkatlama işleminden geçmiş ve kaplamaya hazır hale gelmiştir.



Şekil 6.1 : BONDAL DIP İşlemi Öncesi Alüminyum Yorulma Numuneleri.



Şekil 6.2 : BONDAL DIP İşlemi Sonrası Alüminyum Yorulma Numuneleri.

6.1.3 Akımsız Nikel – Bor banyolarının hazırlanması

Akımsız nikel kaplama banyolarında indirgeyici olarak dört farklı madde kullanılabilir. Bunlar arasında en yüksek kaplama hızını sağlayan redükleyici borohidrürlerdir ve borohidrürler arasında en sık tercih edilen de sodyum borohidrürdür. Sodyum borohidrür ile hazırlanan banyolarda yapılan kaplamalar uçak – uzay, otomotiv ve kimya sanayinde geniş bir uygulama alanında kendisine yer edinmiştir. Bu geniş uygulama alanına sahip olmasının sebebi olarak; nikel – bor kaplamanın sağladığı yüksek aşınma direnci ve yüksek sertlik söylenebilir. Nikel-fosfor banyolarına benzer şekilde nikel – bor kaplamaların özellikleri bor miktarı ile değişmektedir. Banyoda borohidrür kullanımı ile ağırlıkça %10 oranında Ni – B kaplamalar elde edilebilir [26].

Ayrıca kaplama sonrasında uygulanacak ısıl işlemler ile kaplamanın sertliği artırılabilir. Tüm bu avantajlarından dolayı kaplama için borohidrürlü banyolar kullanılmıştır. Farklı kimyasal bileşime sahip banyolarda oluşturulan kaplamaların sertlik ve kalınlık ölçümleri yapılmış buna bağlı olarak en uygun banyo ile yorulma numuneleri kaplanmıştır.

Akımsız nikel kaplama çalışmalarının gerçekleştirildiği sistem Şekil 6.1’de görülmektedir. Kaplama işlemi basit olarak, banyonun uygun koşullara getirilmesinin ardından numunelerin banyoya uygun bir şekilde daldırılması ve istenilen süre banyoda tutulması ile elde edilir.

Akımsız nikel – bor kaplamalarda üç adet banyo kurulmuş ve bunlarla yapılan ön deneyler neticesinde yorulma deneylerinde kullanılacak olan akımsız Ni – B banyosu belirlenmiştir.

Kaplama sıcaklığı 80 – 95 °C arasında yapılan ön deneyler neticesinde belirlenmiştir. Bu sıcaklık aralıklarında yapılan deneylerle kaplama hızının en yüksek olduğu sıcaklık tayin edilmiştir.

Hazırlanan çözeltiler manyetik karıştırıcılı ısıtıcı üzerine Şekil 6.3 ‘de görüldüğü gibi yerleştirilmektedir. Isıtmaya başlamadan önce banyo pH’ı pH metre yardımıyla yardımıyla ölçülür ve pH değerinin 12 – 14 arasında olması gereklidir. Üzerine beher konulan manyetik karıştırıcılı ısıtıcı sıcaklık kontrolörüne bağlıdır ve sıcaklık kontrolörüne ait termokupl banyonun içine konulmuştur. Termokupl yardımıyla kontrolördeki dijital göstergeden banyonun o anki sıcaklığı okunabilir. Ayrıca bu

sıcaklık Şekil 6.3' de görüldüğü üzere bir termometre ile kontrol edilmektedir. Kontrolörde okunan değer ile termometrede okunan değer karşılaştırılmalıdır. Kontrolör ısıtıcıyı açıp kapatarak sıcaklığını kontrol eder. Sıcaklık ve pH kontrolü yapıldıktan sonra termometre ve pH metre banyodan çıkartılır ve ısıtıcı çalıştırılır. Banyo çalışma sıcaklığına ulaşınca gerekli ön işlem uygulanmış numuneler alüminyum veya çelik tel ile kaplama banyosuna daldırılır. Numunelerin banyoda kalma süresi değiştirilerek istenilen kaplama kalınlığı elde edilebilir.



Şekil 6.3 : Akımsız Nikel Kaplama Yapılan Deney Düzenegi.

6.1.3.1 Dengeleyici olarak Talyum Nitrat kullanılan akımsız Ni - B banyo kurulumu

Bir litrelik akımsız nikel bor kaplama banyosu sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenerek hazırlanmıştır [26]:

1. 1 litrelik beher 500 mlt saf su ile doldurulur.

2. 20 gr nikel klorür nikel ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) iyonları kaynağı olarak beherdeki saf suya eklenir ve karıştırılır.
3. Su ve nikel karışımına 90 gr kompleks oluşturucu, etilen diamin ($\text{NH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{NH}_2$) eklenir ve karıştırılır.
4. Banyo pH değerini 12'nin üzerine çıkarabilmek için çözeltiliye 90 gr sodyum hidroksit (NaOH) ilave edilir.
5. Banyoya dengeliyici olarak 0.11 gr talyum nitrat (TlNO_3) eklenir ve iyice karıştırılır.
6. Son olarak indirgeme işlemi için bu karışıma 1.05 gr sodyum borohidrür (NaBH_4) eklenir.
7. Son olarak hazırlanan karışımın üzerine saf su eklenerek çözelti 1 lt'ye tamamlanır.

Yukarıdaki banyoya 1 saat süresince daldırılan gerekli ön işlemler uygulanmış çelik numuneler kaplama banyosundan çıkarılır ve saf su ile durulandıktan sonra kurutulur. Kaplama banyosu tekrar kullanılacaksa mutlaka dipteki tortulardan arındırılmalıdır.

6.1.3.2 Dengeleyici olarak Kurşun Nitrat kullanılan akımsız Ni – B banyo kurulumu

Bir litrelik akımsız nikel bor kaplama kaplama banyosu sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenerek hazırlanmıştır [27]:

1. 1 litrelik beher 500 ml saf su ile doldurulur.
2. 20 gr nikel klorür ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) nikel iyonları kaynağı olarak beherdeki saf suya eklenir ve karıştırılır.
3. Su ve nikel karışımına 59 gr kompleks oluşturucu, etilen diamin ($\text{NH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{NH}_2$) eklenir ve karıştırılır.
4. Banyo pH değerini 12'nin üzerine çıkarabilmek için çözeltiliye 39 gr sodyum hidroksit (NaOH) ilave edilir.
5. Banyoya dengeliyici olarak 0.015 gr kurşun nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) eklenir ve iyice karıştırılır.
6. İndirgeme işlemi için bu karışıma 0.5 gr sodyum borohidrür (NaBH_4) eklenir.
7. Son olarak hazırlanan bu karışımın üzerine saf su eklenerek çözelti 1 lt'ye tamamlanır.

Yukarıdaki banyoya 1 saat süresince daldırılan gerekli ön işlemler uygulanmış çelik numuneler kaplama banyosundan çıkarılır ve saf su ile durulandıktan sonra kurutulur. Kaplama banyosu tekrar kullanılacaksa mutlaka dipteki tortulardan arındırılmalıdır.

6.1.3.3 Dengeleyici olarak Kurşun Tungstat kullanılan akımsız Ni – B banyo kurulumu

Bir litrelik akımsız nikel bor kaplama kaplama banyosu sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenerek hazırlanmıştır [20].

Ana çözeltinin hazırlanışı:

1. 1 litrelik beher 500 mlt saf su ile doldurulur.
2. 24 gr nikel klorür ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) nikel iyonları kaynağı olarak beherdeki saf suya eklenir ve karıştırılır.
3. Su ve nikel karışımına 60 gr kompleks oluşturucu, etilen diammin ($\text{NH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{NH}_2$) eklenir ve karıştırılır.
4. Banyo pH değerini 12'nin üzerine çıkarabilmek için çözeltiliye 24 gr potasyum hidroksit (KOH) ilave edilir.
5. Son olarak hazırlanan bu karışımın üzerine saf su eklenerek çözelti 1 lt'ye tamamlanır.

Yukarıdaki banyoya 1 saat süresince daldırılan gerekli ön işlemler uygulanmış çelik numuneler kaplama banyosundan çıkarılır ve saf su ile durulandıktan sonra kurutulur. Kaplama banyosu tekrar kullanılacaksa dipteki tortulardan arındırılmalıdır.

İndirgeme çözeltisinin hazırlanışı:

1. 1 litrelik beher 500 mlt saf su ile doldurulur.
2. 100 gr sodyum borohidrit (NaBH_4) saf suya eklenir ve karıştırılır.
3. Yukarıdaki çözeltiliye yaklaşık olarak 200 gr sodyum hidroksit (NaOH) eklenir. Çözelti oda sıcaklığına soğuyuncaya kadar karıştırmaya devam edilir.
4. Son olarak hazırlanan bu karışımın üzerine saf su eklenerek çözelti 834 mlt'ye tamamlanır.

Dengeleyici çözeltinin hazırlanışı:

1. 1 lt'lik beher 600 mlt saf su ile doldurulur.
2. 13 gr sodyum hidroksit (NaOH) suya eklenir.

3. Bu çözeltiye 2.6 gr kurşun tungstat ($PbWO_4$) eklenir ve iyice karıştırılır.
4. Çözeltiye 40 mlt etilen diamin (EDA) ve 13 mlt etilen diamin tetra asetat (EDTA) eklenir ve karıştırılır.
5. Son olarak hazırlanan bu karışımın üzerine saf su eklenerek çözelti 1 lt'ye tamamlanır.

Ana çözelti ısıtıcılı manyetik karıştırıcı üzerine Şekil 6.3'de görüldüğü gibi yerleştirilir. Sıcaklık kontrolörü ile banyo sıcaklığı istenilen sıcaklığa ayarlanır ve kaplama işlemi boyunca kontrolör yardımıyla sıcaklık arasında sabit tutulur. Banyo çalışma sıcaklığına ısıtılırken ve işlem boyunca banyo manyetik balıkla sürekli olarak karıştırılır. Ayrıca kaplamanın devam edebilmesi için her 20 dk' da indirgeme ve dengeleyici çözeltilerinden banyoya ekleme yapılması gerekmektedir.

6.1.3.4 Akımsız Ni – W – B banyosunun kurulumu

Akımsız Ni – W – B banyosu için literatürde DMAB kullanılarak hazırlanmış banyolar mevcuttur ancak redükleyici olarak borohidrürlere kullanıldığında daha yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği bilinmektedir. Daha yüksek bir aşınma direnci de elde edebilmek için yukarıda hazırlanışı belirtilmiş olan Ni – B banyosuna farklı miktarlarda sodyum tungstat ($Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$) eklenerek en yüksek kaplama hızı değeri belirlenecektir. Bir litrelik akımsız nikel tungsten bor kaplama banyosu için ana çözelti sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenerek hazırlanmıştır. İndirgeme ve dengeleme için Ni – B banyosu için oluşturulan çözeltiler kullanılmıştır.

Ana çözeltinin hazırlanışı:

1. 1 litrelik beher 500 mlt saf su ile doldurulur.
2. 24 gr nikel klorür ($NiCl_2 \cdot 6H_2O$) nikel iyonları kaynağı olarak beherdeki saf suya eklenir ve karıştırılır.
3. Su ve nikel karışımına 60 gr kompleks oluşturucu, etilen diamin ($NH_2 - CH_2 - CH_2 - NH_2$) eklenir ve karıştırılır.
4. Kaplamada W birikmesi için çözeltiye 12 – 30 gr arasında sodyum tungstat ($Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$) eklenir ve karıştırılır.
5. Banyo pH değerini 12'nin üzerine çıkarabilmek için çözeltiye 26 gr potasyum hidroksit (KOH) ilave edilir.
6. Son olarak hazırlanan bu karışımın üzerine saf su eklenerek çözelti 1 lt'ye tamamlanır.

Yukarıdaki banyoya 1 saat süresince daldırılan gerekli ön işlemler uygulanmış çelik numuneler kaplama banyosundan çıkarılır ve saf su ile durulandıktan sonra kurutulur. Kaplama banyosu tekrar kullanılacaksa mutlaka dipteki tortulardan arındırılmalıdır.

6.1.4 Kaplama sonrası tavlama sıcaklığının belirlenmesi

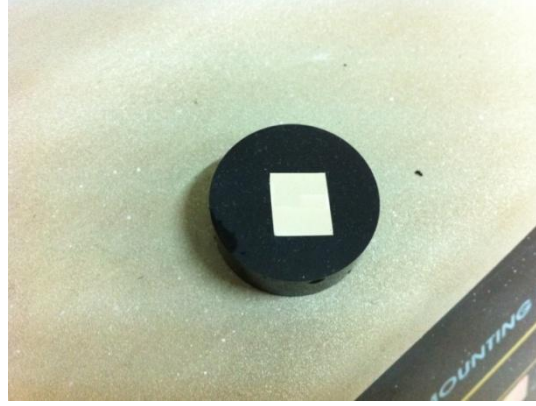
Kaplama işleminden sonra numune üzerinde biriken kaplama amorf yapıdadır. Kaplamaya ısı işlem uygulanması ile kaplama sonrası amorf yapı ısı işlem ile kristal yapıya dönüştürülmüş olur. Ayrıca kaplamanın numune ile yapışma kuvvetinde bir artış gözlenir. Daha önceki yapılan çalışmalarda bir saat süresince 400 °C’de tavlama işlemi yapılmaktadır. Ancak gerçekleştirilen çalışmada yorulma numuneleri 7075 – T6 dayanımındadır ve 7075 Al alaşımı çökeltme sertleştirilmesi ile sertleştirildiği için 400 °C’ de bir saat tavlama işlemi sonrasında yapı aşırı yaşlanmış olacaktır. Kaplama öncesi çözeltiye alınıp daha sonra 400 °C’ de bir saat ısı işlem uygulanması durumunda ise malzemenin dayanımında 7075 – T6 koşullarına göre ciddi bir düşüş gözlenecektir. Bunu engellemek için öncelikle 7075 – T6 dayanımındaki Al alaşımından hazırlanmış numuneler 470 °C’de bir saat süresince bekletilerek çözeltiye alınmıştır. Daha sonra farklı sıcaklık – süre şartlarında ısı işlemler gerçekleştirilmiş ve 7075 Al alaşımı için sertlik ölçümleri yapılmıştır. 7075 Al alaşımına uygulanan farklı sıcaklık – süre şartlarındaki ısı işlemler ile kaplama üzerinden sertlik değerleri ölçülmüştür [26].

6.1.5 Kalınlık ölçümleri

Kaplanan numunelerde kaplama tabakasının kalınlık ölçümleri için numuneden bir kesit alınıp, kesit incelemesi için Şekil 6.4’ de görülen METKON Metapress M marka bakalite alma cihazında bakalite alınmıştır. Zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra optik mikroskopta kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Şekil 6.5’ de zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmış kaplama kalınlığı ölçülecek olan bakalite alınmış alüminyum numune görülmektedir. Kaplama hızları da optik mikroskopta ölçülen bu kalınlıkların kaplama sürelerine oranlanmasıyla elde edilmiştir. Kaplama kalınlıklarına bakılarak en uygun sıcaklık ve kaplama süresi belirlenmiştir.



Şekil 6.4 : Bakalite Alma Cihazı.



Şekil 6.5 : Bakalite Alınmış ve İncelemeye Hazır Alüminyum Numune.

6.1.6 Sertlik ölçümleri

Kaplama sonrası ve ısıl işlem sonrası numunelerin bir yüzü 3 µm tane boyutundaki alumina pasta kullanılarak, çuhaya tutularak mekanik olarak parlatılmıştır. Sertlik değerleri, her bir numune için yapılan 5 ölçümün ortalaması alınarak belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri için “Shimadzu” marka, HMV2 tipi, MicroVickers sertlik cihazı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Şekil 6.6’ da sertlik ölçümlerinde kullanılan Shimadzu marka cihaz görülmektedir. Sertlik ölçümleri 100 gr ağırlık ile yapılmıştır.



Şekil 6.6 : MicroVickers Sertlik Ölçümlerinde Kullanılan Sertlik Cihazı

6.1.7 X – Işınları difraksiyon analizi (XRD)

Bu yöntemde çok kısa dalga boyuna sahip bir x-ışını demeti, analiz edilecek numunenin üzerine gönderilir. Işın demeti maddenin üç boyutlu kristal kafeslerinden difraksiyona uğrar ve bu maddeye has difraksiyon paterni elde edilir. Bu paternlerin standart paternlerle karşılaştırılması sonucu, numunenin fazları saptanmış olur. Standart patern olarak ASTM kartları kullanılır. Çalışmalarımızda Ni – B ve Ni – W – B kaplamaların XRD analizleri RIGAKU marka bir cihazla $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1.5418 \text{ \AA}$) radyasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen paternlerden gerekli çözümlenmeler yapılarak numunelerin fazları tespit edilmiştir [28].

6.1.8 Optik mikroskop, stereo mikroskop ve SEM incelemeleri

Elde edilen kaplamaların mikroyapılarının optik mikroskop ve SEM ile incelenebilmesi için geleneksel numune hazırlama prosedürü takip edilerek ilk önce zımparalama işlemi uygulanmıştır. Bu işlem için sırasıyla 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2400 numaralı SiC zımparalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki parlatma kademesinde parlatıcı olarak 3 μm 'lik alümina solüsyon kullanılmıştır.

SEM incelemeleri ise Jeol JSM 5600 marka bir taramalı elektron mikroskobu yardımı ile yapılmıştır. Ayrıca stereo mikroskopta yorulma kırık yüzeyleri ve korozyon daldırma deney numuneleri incelenmiştir.

6.1.9 Korozyon deneyleri

7075 Al alaşımı üzerine kaplanmış Ni-B esaslı kaplamaların tuzlu su içerisindeki korozyon davranışını incelemek için, ağırlıkça % 3.5 NaCl içeren saf su ile hazırlanmış, pH'ı 5.9 olan çözelti kullanılmış, korozyon deneyleri açık atmosferde ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Korozyon deneylerinde kullanılan numuneler kaplama öncesi yorulma numunelerine uygulanan ısıl işlem şartlarına tabi tutulmuşlardır. Deneyler, GAMRY INSTRUMENTS PCI4/750 potentiostat/galvanostat cihazı kullanılarak pyrex bir cam hücre içerisinde 3 elektrot tekniği ile yapılmıştır. Referans elektrot olarak kalomel Ag/AgCl₃ (Doymuş KCl çözeltisi), yardımcı elektrot olarak grafit çubuk kullanılmıştır. Çözeltiye maruz kalan numune alanı dışındaki kısımlar izole edilmiştir. Kaplamaların korozyon davranışı potentiodynamic polarizasyon (Tafel) ile incelenmiştir. Potentiodynamic polarizasyon ölçümleri -1,2 mV ile 0,2 mV arasında voltaj uygulanarak 1 mV/s hızda yapılmıştır.

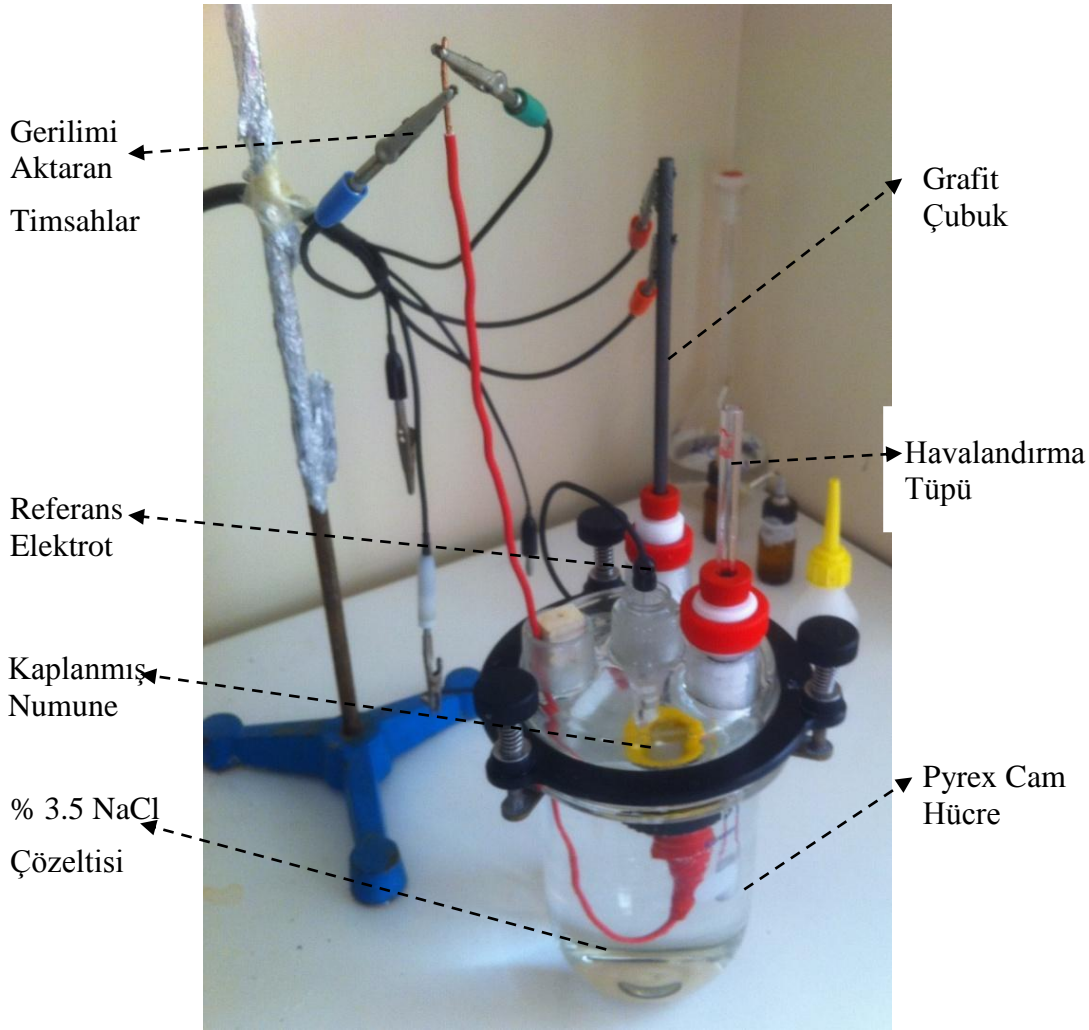
Korozyon potansiyeli ve korozyon akım yoğunluğu Tafel extrapolation methodu kullanılarak tespit edilmiştir. Bu sayede çeşitli şartlarda üretilmiş kaplamaların ve kaplanmamış numunenin korozyon davranışları birbiriyle kıyaslanmıştır. Şekil 6.7' de korozyon deneylerinin yapıldığı sistemin görüntüsü yer almaktadır.

Ayrıca nitel bir inceleme açısından kaplanmış ve kaplanmamış alüminyum alaşımları % 3.5 NaCl çözeltisinde bekletilmiş bu bekleme neticesinde yüzeyler stereo mikroskopta incelenmiştir.

6.2 Yorulma Deneyi ile İlgili Çalışmalar

6.2.1 Yorulma deneyinde kullanılan numuneler

Deneysel çalışmada 7075 Al alaşımı kullanılmaktadır. Bu alaşımın % ağırlıkça kimyasal bileşimi Çizelge 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.7 : Polarizasyon Eğrilerini Oluşturmak için Kullanılan Sistem.

Çizelge 6.1 : Çalışmada Kullanılan 7075 Al Alaşımının Kimyasal Bileşimi.

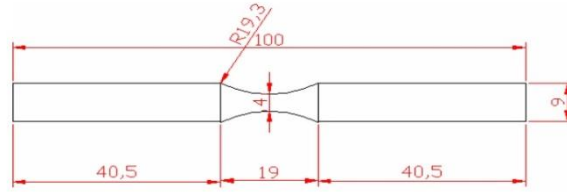
Element	Zn	Mg	Cu	Fe	Cr	Si	Mn	Ti
% Ağırlık	5.8	2.4	1.5	0.26	0.19	0.08	0.03	0.08

Yorulma numuneleri bilgisayar kontrollü tezgahta talaşlı imalat ile hassas bir şekilde işlenip Şekil 6.8' de gösterilen boyutlara getirilmiştir. Talaşlı imalattan sonra yorulma deney numuneleri birer dakika süreyle 800, 1000 ve 1200 numaralı SiC zımparalar kullanılarak zımparalanmıştır.

6.2.2 Çekme deneyi

Standartlara uygun bir şekilde hazırlanan çekme deney numunesine kaplama uygulanmış numunelere uygulanan ısıtma koşulları uygulanmış ve sonrasında çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyi Sakarya Üniversitesi Metalurji ve

Malzeme Mühendisliği Laboratuvarındaki INSTRON marka çekme cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.8: Yorulma Deneyi Numunesi İmalat Resmi [8]

6.2.3 Yorulma deney düzeneği

Yorulma deneyleri Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarına ait döner eğme şartlarında, frekansı 95 Hz olan HI – TECH marka deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Farklı miktarda gerilme değerleri uygulanarak havada ve NaCl çözeltisinde kaplanmamış, Ni – B kaplanmış ve Ni – W – B kaplanmış sistemlerin yorulma grafikleri çıkarılmıştır. Şekil 6.9’ da havada gerçekleştirilen deneyler için kullanılan deney düzeneği görülmektedir. Korozyonlu yorulma deneyleri için ise bu cihaza numune üzerinde korozyonlu ortam şartlarını oluşturacak eklemeler yapılmıştır. Yorulma numunesinin üzerine Şekil 6.10’ da görüldüğü üzere bir korozyon hücresi yerleştirilmiştir. Bu hücreye bir pompa yardımıyla ağırlıkça % 3.5 NaCl içeren sulu çözelti beslemesi yapılmıştır. Şekil 6.11’ de su korozyon hücresi üzerinden geçen ağırlıkça % 3.5 NaCl içeren sulu çözeltinin akış yönü ok ile gösterilmiştir. Su akışı korozyon hücresinde hava kabarcığı oluşturmayacak şekilde seçilmiştir.

6.2.4 Gerilme hesabı

Yorulma deneyleri sırasında yorulma numunesinin en küçük çapının olduğu nokta olan (4 mm çapındaki bölüm) ile ağırlığın yüklendiği nokta arasındaki mesafe 125.7 mm olarak ölçülmüştür. Bu şekilde asılan ağırlık ile yorulma numuneleri eğilmeye zorlanmaktadır. Buna göre kritik kesitteki eğilme gerilmesi, uygulanan gerilmeye bağlı olarak Denklem 6.1 kullanılarak hesaplanabilir. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta, yorulma numunesinin kendi ağırlığından kaynaklanan aksenal kaçıklığı düzeltmek için bir karşı ağırlık kullanılması gerekliliğidir. Bunu engellemek için bir karşı ağırlık mevcuttur ancak kullanılan karşı ağırlık bu

çalışmada kullanılan numuneler için hesaplanan değerden daha düşük bir ağırlığa sahiptir.



Şekil 6.9: Havada Gerçekleştirilen Yorulma Deneylei için Deney Düzeneyi



Şekil 6.10: Korozyonlu Yorulma Deneylei için Deney Düzeneyi



Şekil 6.11: Korozyonlu Yorulma Deneyleri için Deney Düzeneği

Burada;

σ : Oluşacak maksimum gerilme

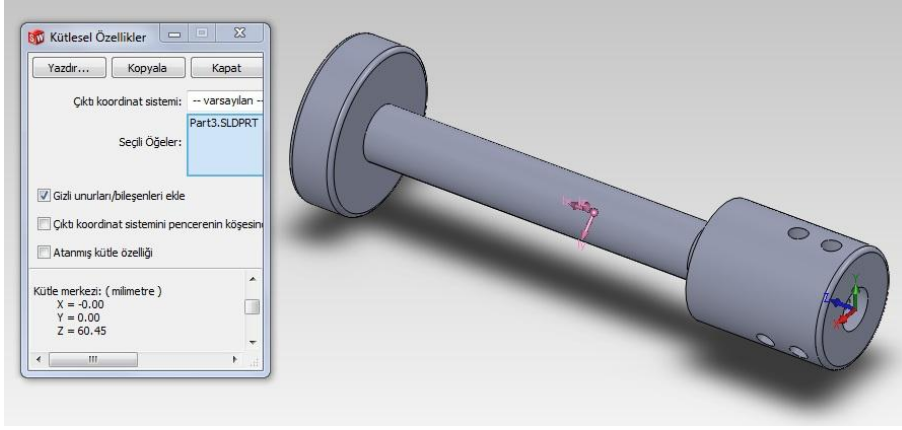
F: Asılan ağırlık (N)

l: 125.7 mm

d: Yorulma numunesinin en küçük kesitinin çapı (mm)

$$\sigma = \frac{F.l}{\frac{\pi.d^3}{32}} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (6.1)$$

Kullanılması gereken karşı ağırlığın değerini hesaplamak için Şekil 6.12' de görüleceği üzere Solidworks 2011 yazılımında numuneyi tutan karşı çene 3 boyutlu olarak modellenmiştir ve kütle özelliklerinden ağırlık merkezi tesbiti yapılmıştır. Şekil 6.12' de karşı çene ağırlık merkezinin konumu görülmektedir. Gerçekleştirilen hesaplar neticesinde Denklem 6.1 ile hesaplanan gerilme değerinin değiştirilmesi gerektiği belirlenmiştir.



Şekil 6.12: Karşı Çenenin Ağırlık Merkezinin Tespiti

Buna göre numunede oluşacak en yüksek gerilme değerinin hesaplanmasında Denklem 6.2’de gösterilen aşağıdaki formül kullanılmalıdır:

$$\sigma = \frac{(F+1,17).l}{\frac{\pi.d^3}{32}} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (6.2)$$

7. SONUÇLAR

7.1 Akımsız Ni – B Kaplama Banyosu Seçimi

Akımsız Ni – B kaplama yapmak için Bölüm 6.1’de anlatıldığı üzere üç farklı banyo kullanılmıştır. Bu banyolarda gerekli ön işlemler uygulanmış alüminyum numuneler üzerine kaplama yapılmıştır. Bu banyolar kullanılarak gerçekleştirilen kaplamalarda kaplama kalınlığının zamanla değişimi Çizelge 7.1’de ve Şekil 7.1’de görülmektedir. Burada akımsız Ni – B banyoları için bazı kısaltmalar kullanılmıştır;

Ni – B – TN: Dengeleyici olarak talyum nitrat kullanılan akımsız Ni – B banyosu

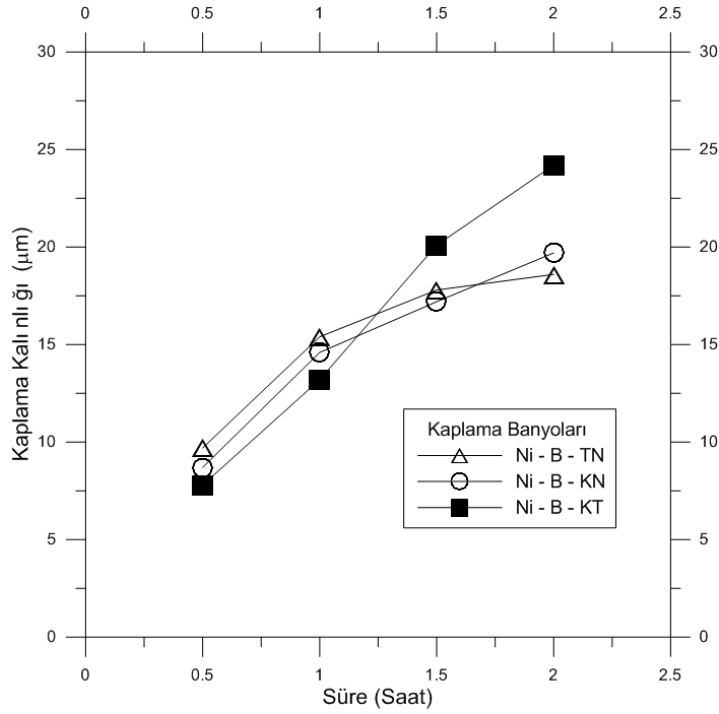
Ni – B – KN: Dengeleyici olarak kurşun nitrat kullanılan akımsız Ni – B banyosu

Ni – B – KT: Dengeleyici olarak kurşun tungstat kullanılan akımsız Ni – B banyosu

Çizelge 7.1 : Bekletme Süresine Bağlı Olarak Kaplama Kalınlığının Değişimi.

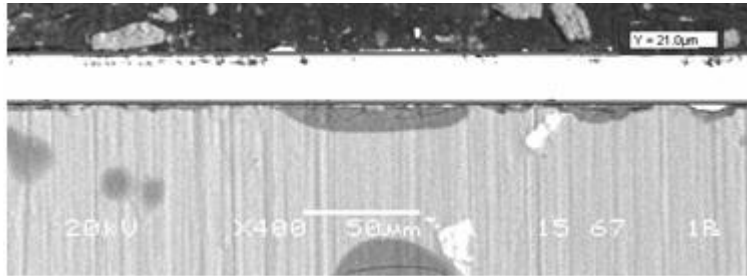
Banyoda Bekletme Süresi (Saat)	Kaplama Kalınlığı (µm) Ni – B – TN	Kaplama Kalınlığı (µm) Ni – B – KN	Kaplama Kalınlığı (µm) Ni – B – KT
0.5	9.7	8.7	7.8
1	15.4	14.6	13.2
1.5	17.8	17.2	20.1
2	18.6	19.7	24.2

Şekil 7.1’de farklı akımsız Ni – B banyoları kullanılması durumunda farklı akımsız nikel banyolarında bekletme süresine bağlı olarak kaplama kalınlığında meydana gelen değişim görülmektedir. Buna göre ön deneylerde 7075 Al alaşımı numunelerinde 20 µm kaplama kalınlığında bir kaplama elde etmek için “Dengeleyici olarak kurşun tungstat kullanılan akımsız Ni – B banyosu” kullanılması en uygun çözüm olacaktır. Bu kalınlıkta bir tabaka elde etmek için numunenin 1.5 saat süresince banyoda bekletilmesi gereklidir. Ayrıca ekonomik olarak incelendiğinde de bu banyonun en düşük maliyete sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 7.1 : Kaplama Kalınlığının Banyoya Bağlı Olarak Zamanla Değişimi.

Şekil 7.2’de dengeleyici olarak kurşun tungstat içeren banyoda 1.5 saat süresince tutulan alüminyum numune üzerinde kaplamanın kesitten SEM resmi görülmektedir. Burada kaplama kalınlığı $Y = 21 \mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7.2 : Alüminyum Numune Üzerindeki Kaplama Kalınlığı.

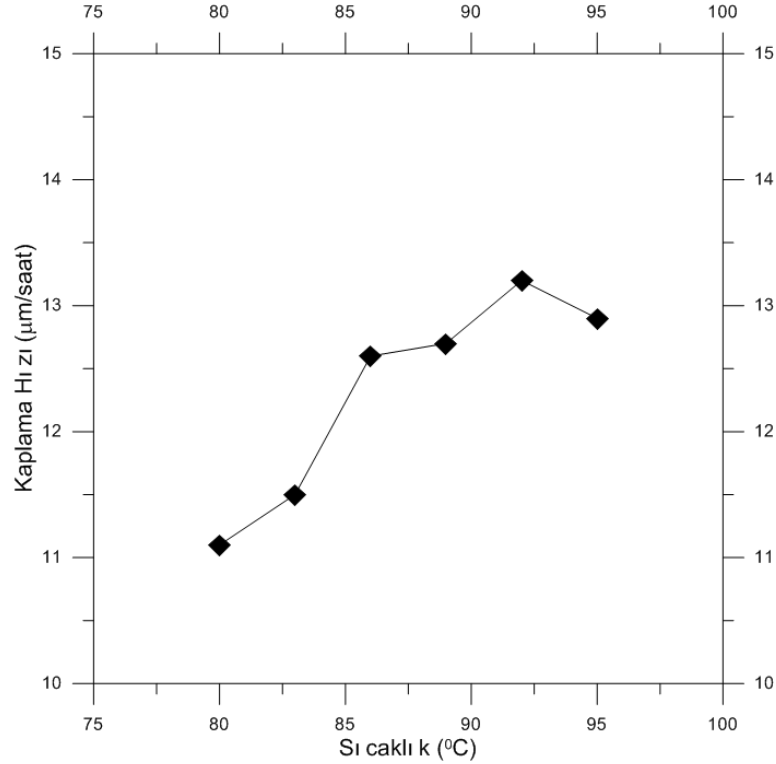
7.2 Kaplama Banyosu için En Uygun Sıcaklığın Belirlenmesi

Alüminyum numuneler için en uygun kaplama banyosunun dengeleyici olarak kurşun tungstat kullanılan akımsız Ni – B banyosunun olduğu tespit edildikten sonra bu banyo için farklı sıcaklıklarda kaplama kalınlıkları elde edilmiştir. Buna göre kaplama sırasında farklı sıcaklıklarda kaplamanın yapılması durumunda elde edilecek kaplama kalınlıkları Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2: Akımsız Ni – B Kaplama Hızına Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık (°C)	80	83	86	89	92	95
Kaplama Hızı (µm/saat)	11.1	11.5	12.6	12.7	13.2	12.9

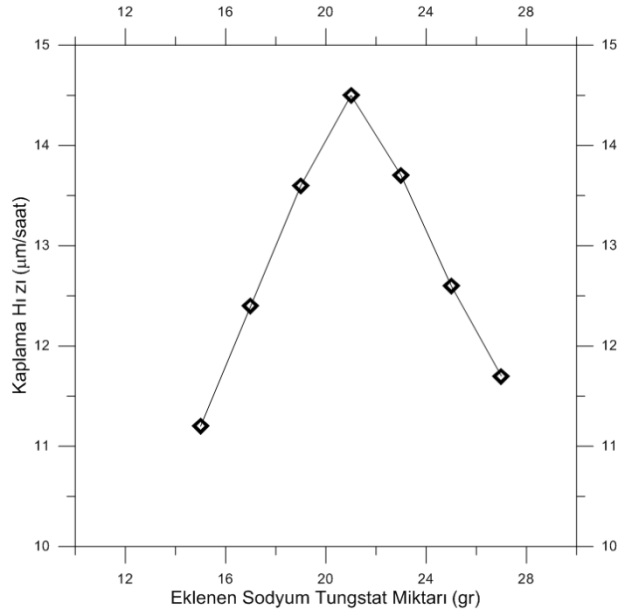
Şekil 7.3’ de görüleceği üzere en yüksek kaplama hızı banyo çalışma sıcaklığı 92 °C’ ye ayarlandığında elde edilmektedir.



Şekil 7.3: Banyo Çalışma Sıcaklığının Kaplama Hızına Etkisi

7.3 Ni – W – B Banyosu için Na₂WO₄.2H₂O İlavesinin Belirlenmesi

Alüminyum numune üzerine akımsız Ni – B kaplama yapmak için kullanılacak olan banyo tespit edildikten sonra bu banyoya Na₂WO₄.2H₂O tuzu ilave edildiğinde kaplama hızında meydana gelen değişim Şekil 7.4’ de görülmektedir. Şekil 7.4’ deki grafik göz önünde bulundurulduğunda alüminyum numune üzerinde en yüksek hızda kaplama gerçekleştirilmesi için oluşturulan Ni – B banyosuna 21 gr sodyum tungstat (Na₂WO₄.2H₂O) ilavesi yapılması gereklidir. Akımsız Ni – B banyosuna sodyum tungstat ilavesi ile kaplamada W birikip birikmediğinin tespiti XRD ve EDS analizleri sonucunda ortaya çıkacaktır.



Şekil 7.4 : Eklenen Sodyum Tungstat Miktarının Kaplama Hızına Etkisi.

7.4 Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

Yorulma numuneleri üzerinden kaplama yapılmamış ve kaplama yapılmış halde MİTOTUYU marka Profilometre ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 7.3' de görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğünün on kat arttığı görülmektedir.

Çizelge 7.3 : Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri.

7075	Ni – B	Ni – W – B
0.15	1,12	1,05

7.5 Kaplama Sonrası Tavlama Sıcaklığının Belirlenmesi

7075 Al yorulma numuneleri T6 sertliğine sahiptirler ancak kaplama sonrası Ni – B ve Ni – W – B kaplamanın amorf fazından kristal fazına dönüşmesi için yüksek sıcaklıkta bir tavlama yapılması durumunda 7075 – T6 Al alaşımından üretilmiş numunelerin dayanımında bir düşüş gözlenecektir. Dolayısıyla burada en uygun çözüm 7075 – T6 alüminyum alaşımını çözeltilmeye almak ve daha sonra kaplama ile birlikte ısıtılma işlemine tabi tutulacaktır. Bunu gerçekleştirebilmek için farklı sıcaklıklarda (125 °C, 150 °C ve 175 °C'de) farklı sürelerde gerçekleştirilen tavlama işlemi sonrasında; kaplanmamış 7075 Al alaşımından üretilmiş numune, Ni – B ile kaplanmış 7075 Al numune ve Ni – W – B ile kaplanmış 7075 Al numune

yüzeyinden sertlik değerleri ölçülmüştür. Gerçekleştirilen tavlama işlemi sonrası MikroVickers ile 100 g yük altında sertlik ölçümleri neticesinde Çizelge 7.4, Çizelge 7.5 ve Çizelge 7.6’ da görülen sertlik değerleri elde edilmiştir.

Çizelgelerde ısıtılmış hal ile 7075 Al alaşımı için çözeltiye alınmış ve daha sonra su verilmiş hal, kaplamalar için ise kaplama sonrası hal belirtilmektedir.

Çizelge 7.4 : 125 °C’ de Gerçekleştirilen Isıl İşlemin Sertliğe Etkisi.

Zaman (Saat)	7075 Al Alaşımı Sertliği (HV _{0.1})	Ni – B Kaplama Sertliği (HV _{0.1})	Ni – W – B Kaplama Sertliği (HV _{0.1})
Isıl İşlemsiz	62	648	674
2	141	665	684
4	154	671	692
6	172	678	699
8	184	686	705
10	193	694	716
12	196	702	724
14	198	717	738
16	199	726	747
20	203	748	765
24	205	769	798

Çökeltme sertleşmesi ile sertleştirilen 7075 Al alaşımının dayanımının sertliğine paralel olarak arttığı bilinmektedir [4]. Çizelge 7.4’de görülen 125 °C’de gerçekleştirilen ısıtılmış işlem neticesinde ölçülen MikroVickers sertlik değerleri incelendiğinde 7075 için en yüksek dayanım 24 saat tavlama neticesinde elde edilecektir. Öte yandan kaplamanın da aşınmaya dirençli hale getirilmesi hedeflendiği için hem Ni – B hem de Ni – W – B kaplamaların sertlik değerlerine bakıldığında 125 °C’de 24 saat tavlama sonrası en yüksek sertlik değerleri elde edilecektir [18]. Çizelge 7.5’de görülen 150 °C’de gerçekleştirilen ısıtılmış işlem neticesinde ölçülen MikroVickers sertlik değerleri incelendiğinde 7075 Al alaşımı için en yüksek dayanım 8 saatlik tavlama neticesinde elde edilecektir. Öte yandan kaplamanın da aşınmaya dirençli hale getirilmesi hedeflendiği için hem Ni – B hem de Ni – W – B kaplamaların sertlik değerlerine bakıldığında 150 °C’ de 10 saat tavlama sonrası en yüksek sertlik değerleri elde edilecektir.

Çizelge 7.5 : 150 °C’ de Gerçekleştirilen Isıl İşlemin Sertliğe Etkisi.

Zaman (Saat)	7075 Al Alaşımı Sertliği (HV _{0.1})	Ni – B Kaplama Sertliği (HV _{0.1})	Ni – W – B Kaplama Sertliği (HV _{0.1})
Isıl İşlemsiz	61	652	706
2	168	685	729
4	181	738	757
6	185	766	806
8	192	815	961
10	187	964	1048
12	179	912	948
14	169	876	903
16	158	848	861
20	155	841	852
24	149	833	844

Akımsız Ni – B kaplamalar endüstride temel olarak aşınmaya karşı direnç sağlama amaçlı kullanılmaktadırlar. Aşınmaya karşı iyi bir direnç elde etmek için kaplamanın en yüksek sertlik değerine ulaştığı ısıl işlem koşulları yani 150 °C’ de 10 saat tavlama sonrası 7075 Al alaşımı için sertlik değerine bakılarak tavlama neticesinde dayanımda belirgin bir düşüş gözlenmeyecektir.

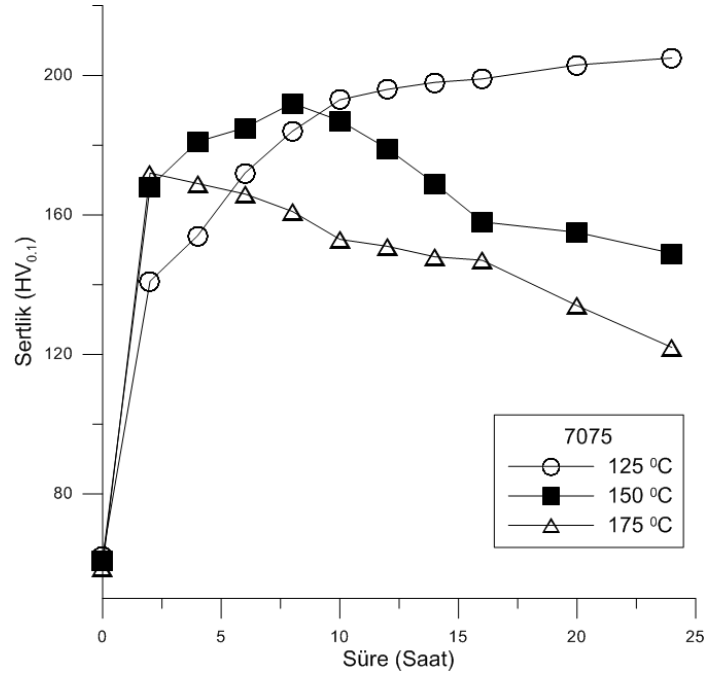
Ayrıca 7075 Al alaşımı için en yüksek sertlik değerinde yani T6 yapay yaşlandırma şartlarında gerilmeli korozyona karşı hassas olduğu bilinmektedir. Bu sebeple aşırı yaşlandırma T73 ısıl işlem koşulları uygulanarak korozyona karşı daha dirençli bir yapı elde edilir ancak malzemenin akma dayanımında düşüş gözlenecektir.

Çizelge 7.6’ da görülen 175 °C’de gerçekleştirilen ısıl işlem neticesinde ölçülen MikroVickers sertlik değerleri incelendiğinde 7075 için en yüksek dayanım 2 saat tavlama neticesinde elde edilecektir. Öte yandan kaplamanın da aşınmaya dirençli hale getirilmesi hedeflendiği için hem Ni – B hem de Ni – W – B kaplamaların sertlik değerlerine bakıldığında 175 °C’de 8 saat tavlama sonrası en yüksek sertlik değerleri elde edilecektir.

Şekil 7.5’de 7075 Al alaşımının farklı sıcaklarda ve farklı ısıl işlem sürelerinde elde edilen sertlik değerleri görülmektedir.

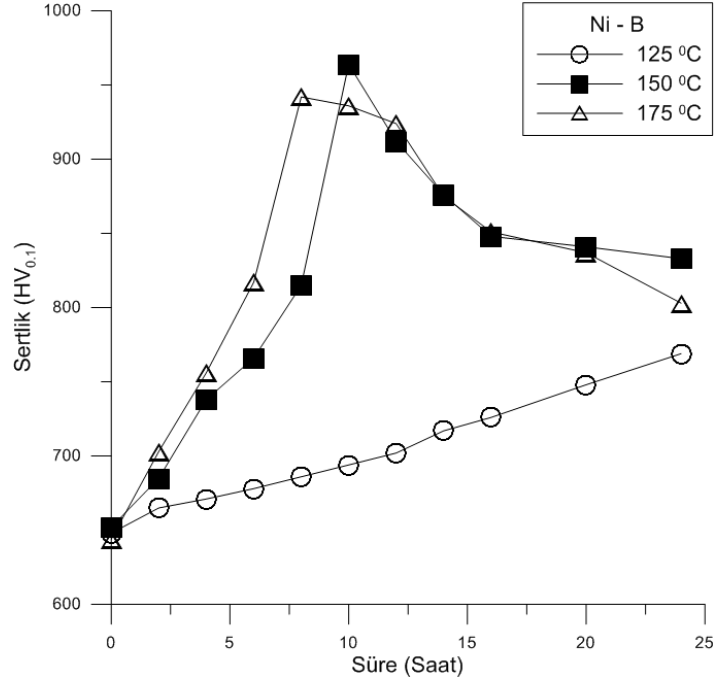
Çizelge 7.6 : 175 °C' de Gerçekleştirilen Isıl İşlemin Sertliğe Etkisi.

Zaman (Saat)	7075 Al Alaşımı Sertliği (HV _{0.1})	Ni – B Kaplama Sertliği (HV _{0.1})	Ni – W – B Kaplama Sertliği (HV _{0.1})
Isıl İşlemsiz	59	644	681
2	172	703	739
4	169	756	778
6	166	817	856
8	161	942	972
10	153	936	963
12	151	924	948
14	148	875	905
16	147	851	869
20	134	837	834
24	122	803	814



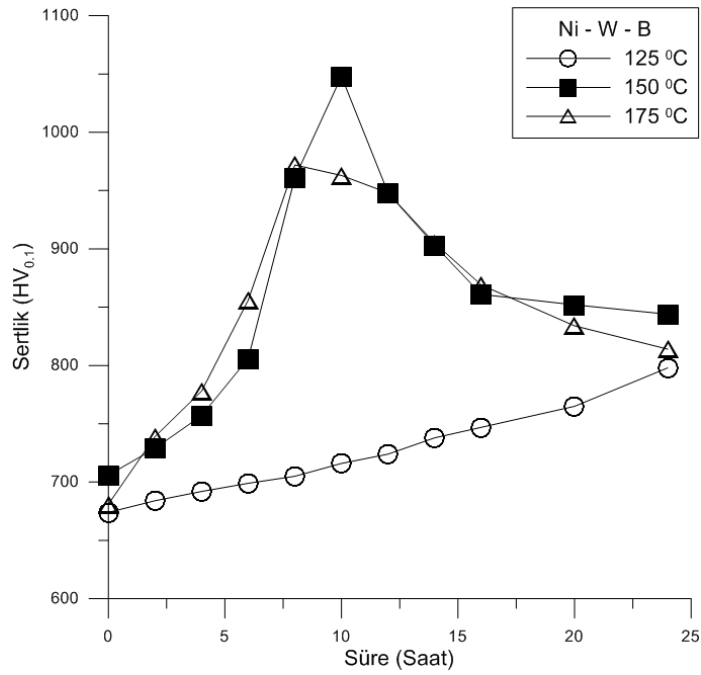
Şekil 7.5 : 7075 Al Alaşımı Sertlik Değişimi.

Şekil 7.6' da alüminyum numune üzerine Ni – B kaplanmış numuneye farklı sıcaklarda ve farklı ısıl işlem sürelerinde tavlama yapılması neticesinde yüzeyden ölçülen MikroVickers sertlik değerleri görülmektedir.



Şekil 7.6 : Ni – B Kaplanmış Numune Yüzeyindeki Sertlik Değişimi.

Şekil 7.7’de alüminyum numune üzerine Ni – W – B kaplanmış numuneye farklı sıcaklarda ve farklı ısıl işlem sürelerinde tavlama yapılması neticesinde yüzeyden ölçülen MikroVickers sertlik değerleri görülmektedir.



Şekil 7.7: Ni – W – B Kaplanmış Numune Yüzeyindeki Sertlik Değişimi

Sonuç olarak kaplamalar (Ni – B ve Ni – W – B) ile 7075 Al alaşımı için korozyonlu yorulma ömrü ve aşınma direnci baz alınarak ortak bir ısıl işlem düşünüldüğünde; uygulanacak olan ısıl işlem seçiminde 7075 Al alaşımı üzerine akımsız nikel kaplamalar için 150 0C’ de 10 saat tavlama işleminin en uygun çözüm olacağı görülmektedir. Bunun nedeni; 150 0C’ de 10 saat tavlama neticesinde yüzeyde kaplamanın yüksek sertliği nedeniyle aşınmaya karşı dirençli bir tabaka oluşacaktır. Öte yandan ana malzeme yani 7075 Al alaşımı T6 ısıl işlem şartlarına göre bir miktar dayanım kaybına uğrasa da korozyonlu yorulma ömründe bir artış beklenmektedir.

125 0C’ de ısıl işlem gerçekleştirildiği takdirde 7075 Al alaşımının en yüksek sertliğe ulaştığı sürelerde kaplamanın yüzeyindeki sertlik değerleri 150 0C’de ve 175 0C’de gerçekleştirilen ısıl işlemlere göre daha düşük olduğu için aşınma açısından dezavantaja sahiptir. Öte yandan 24 saatlik ısıl işlem süresi ekonomik açıdan bir dezavantaj olacaktır. Ayrıca ana malzemenin T6 koşullarında olması yüksek dayanım sağlayacaktır ancak korozyonlu yorulmada ömrün daha düşük olması beklenecektir [29].

Son olarak 175 0C’de ısıl işlem uygulanması halinde ana malzemenin 7075 - T6 dayanım koşullarına ulaştığı sürede kaplama göreceli olarak yüksek sertlik seviyelerine ulaşamayacaktır. Düşük tavlama süreleri Ni – B sistemi için faz dönüşümlerinin tamamlanması için imkan sağlamadığı dolayı düşük sertlik değerleri elde edilmektedir. 175 0C’de daha uzun sürelerde ısıl işlem uygulanması durumunda da ana malzemenin dayanımında düşüş gözlenecektir [27].

Sonuç olarak kaplanmış yorulma numuneleri için uygulanması gereken çevrim şu şekilde belirlenmiştir:

1. 470 0C’ de 1 saat bekleterek çözeltiye alma
2. Su verme
3. 92 0C’ de 1.5 saat kaplama işlemi
4. 150 0C’ de 10 saat bekletme

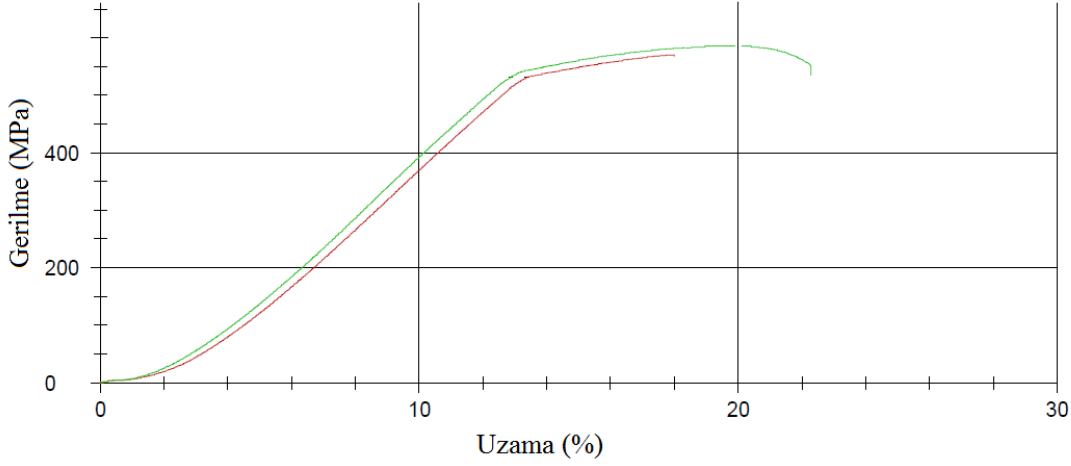
Kaplanmamış yorulma numuneleri için ise uygulanması gereken çevrim şu şekilde belirlenmiştir:

1. 470 0C’de 1 saat bekleterek çözeltiye alma
2. Su verme

3. 92 °C'de 1.5 saat bekletme

4. 150 °C'de 10 saat bekletme

Şekil 7.8' de kaplanmamış numuneye uygulanacak olan ısıt işlemlerin uygulanmış olduğu çekme numunesi kullanılarak gerçekleştirilen iki adet çekme deneyi sonucu görülmektedir. Buna göre ısıt işlem sonrası dayanım 7075 – T6 dayanımı seviyelerine çok yakın değerlerdedir.



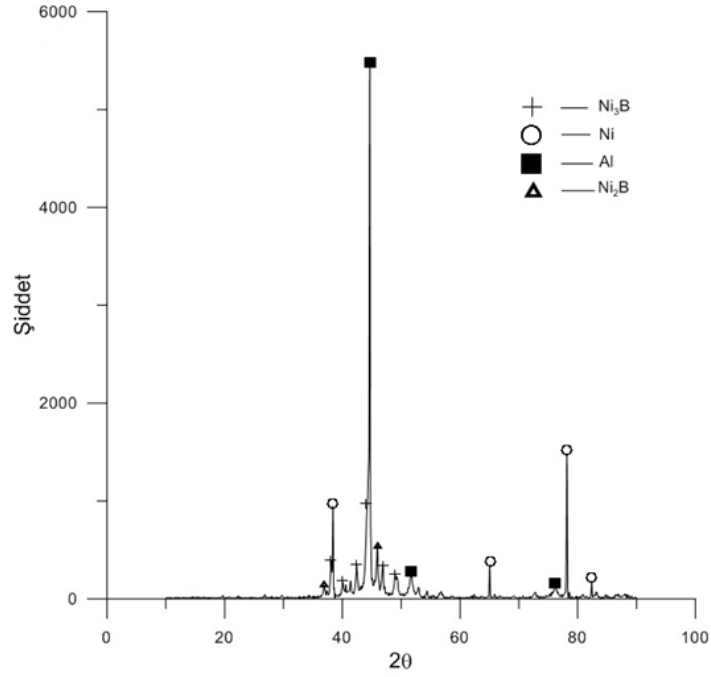
Şekil 7.8 : Isıt Çevrim Uygulanmış Numunenin Çekme Eğrisi.

7.6 Kaplamaların Faz Analizlerinin İncelenmesi

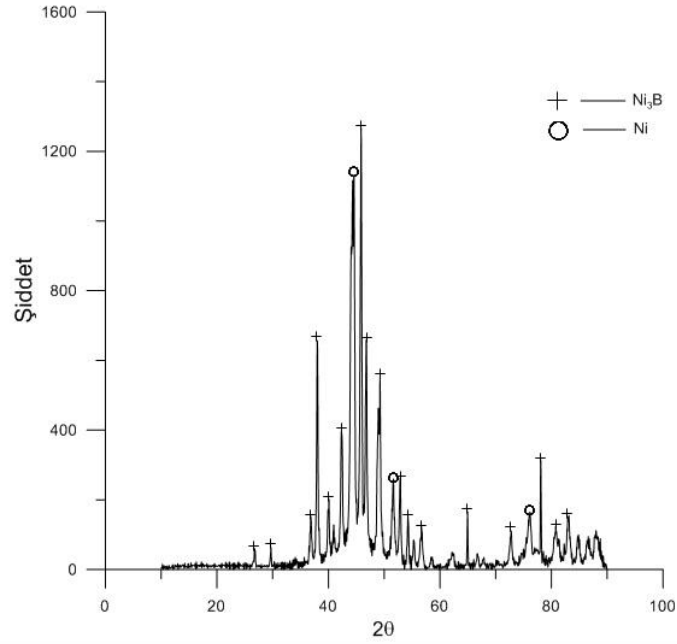
Alüminyum numuneler üzerine kaplanmış akımsız Ni – B ve Ni – W – B kaplamaların 150 °C'de 10 saat ısıt işleme tabi tutulduktan sonra elde edilen XRD grafikleri Şekil 7.9 ve Şekil 7.10' da görülmektedir.

Akımsız nikel kaplamalar kaplama sonrası amorf yapıdadır, bu yapının kristale dönüşebilmesi için farklı sıcaklıklarda çeşitli ısıt işlemler uygulanabilir. 150 °C'de 10 saat tavlama sonrasında alüminyum üzerine kaplanmış Ni – B kaplamanın XRD grafiği incelendiğinde Ni₃B, Ni, Al ve yarı karalı Ni₂B fazları göze çarpmaktadır. Elde edilen bu fazlar ısıt işleme tabi tutulmuş Ni – B kaplamaların XRD grafikleri ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Kaplamada yarı kararlı Ni₂B fazının tamamen Ni₃B fazına dönüşmediği görülmektedir. Bunun sebebinin düşük tavlama sıcaklığı olduğu düşünülmektedir [26]. Şekil 7.10' daki grafik incelendiğinde Akımsız Ni – B kaplama banyosuna sodyum tungstat ilavesi ile alüminyum numune üzerinde Ni – W – B kaplama elde edilmektedir.

Ayrıca yapıya W ilavesi ile aynı sıcaklıkta Ni_2B fazının tamamen Ni_3B fazına dönüştüğü söylenebilir. Bu da yapıya W ilavesi ile yüzeyden daha yüksek sertlik değerlerinin ölçülmesini açıklamaktadır.



Şekil 7.9 : 150 °C’de 10 Saat Tavlanmış Ni – B Kaplamanın XRD Grafiği.

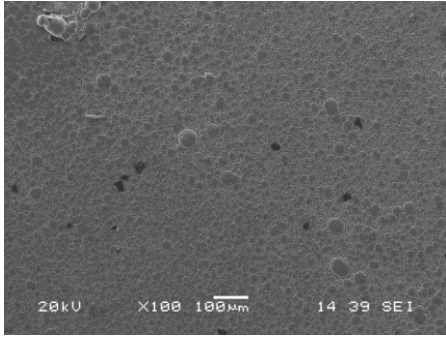
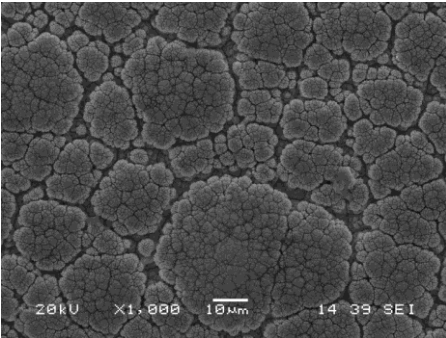
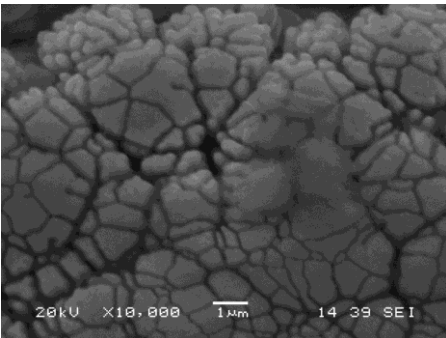


Şekil 7.10: 150 °C’de 10 Saat Tavlanmış Ni – W – B Kaplamanın XRD grafiği.

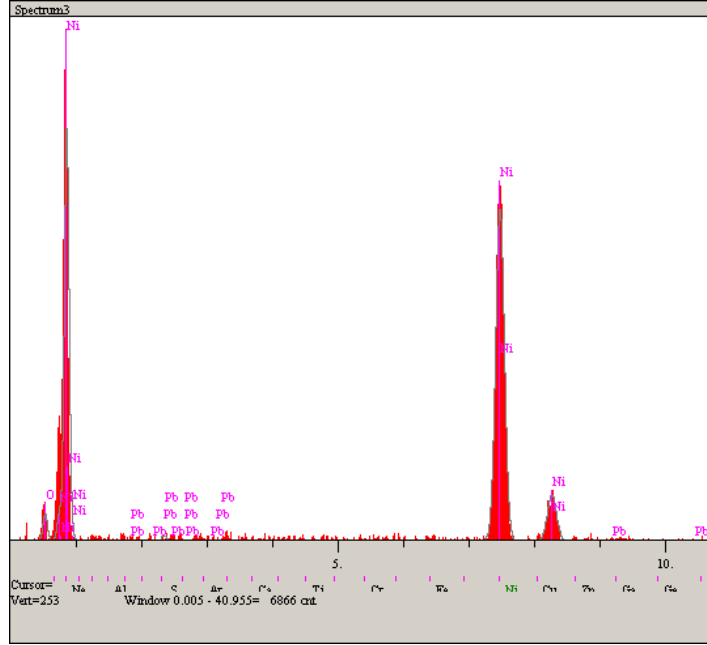
7.7 SEM ve EDS Analizlerinin İncelenmesi

Alüminyum numune üzerine akımsız Ni – B kaplanmış ve kaplama sonrası 150 °C’ de 10 saat süresince kaplamalar ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Bunun neticesinde Çizelge 7.6’daki SEM fotoğrafları incelendiğinde “karnabahar” şeklinde bir yapı karşımıza çıkmaktadır. Bu yapının sürtünmeye karşı doğal yağlayıcılık etkisi gösterdiği bilinmektedir ve “karnabahar” şeklindeki yapı sürtünme yüzeyini azaltarak kaplamanın aşınma direncinde artış sağlamaktadır [26], [30].

Çizelge 7.7 : Akımsız Ni – B Kaplamanın Isıl İşlem Sonrası SEM İncelemesi.

Büyütme Miktarı	Ni – B Kaplama
X100	
X1000	
X10000	

Ni – B Kaplamanın kimyasal bileşiminin belirlenmesi amacıyla EDS analizlerine başvurulmuştur. Ancak kaplamanın B içeriğinin belirlenmesi imkanlar doğrultusunda mümkün olmadığı için akımsız Ni – B kaplanmış numunede % B içeriği hakkında yorum yapılamamıştır. Şekil 7.11’ de ve Çizelge 7.8’ de gösterilen Ni – B kaplama üzerinde gerçekleştirilen EDS analizleri incelendiğinde yapıda ağırlıklı olarak Ni, Pb ve bunların oksitli bileşiklerinin oluşması beklenmektedir.



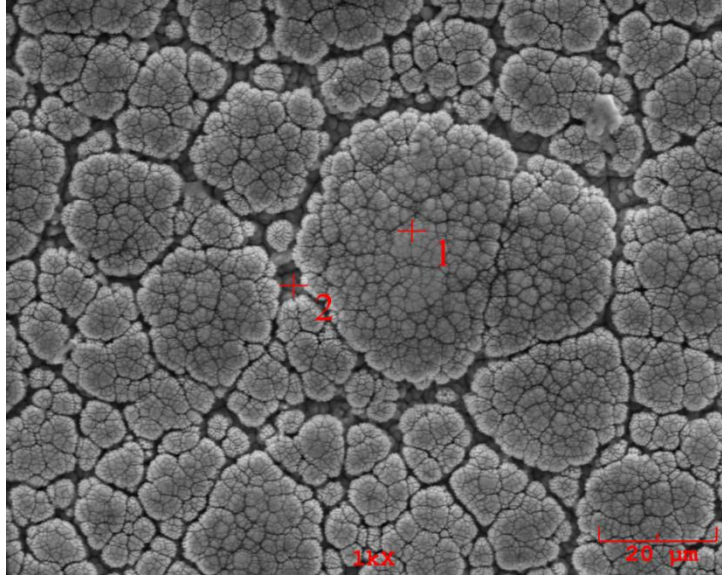
Şekil 7.11: Ni – B Kaplama Üzerinden Gerçekleştirilen EDS Analizi Sonucu

Yapıda Pb tespit edilmesinin nedeni ise; kaplama banyosunu hazırlarken banyo dengeleyici olarak kullanılan kurşun tungstat $PbWO_4$ ‘tan kaynaklanmaktadır. Kaplama yapısında kurşun (Pb) olması ile yapının daha uniform bir hale gelmesi beklenmektedir. Ayrıca özellikle Al numune üzerindeki kaplamanın yapışma gücünde de bir artış olması beklenmektedir [26].

Çizelge 7.8 : Ni – B Kaplamanın EDS Analizi Sonucu.

Element	Şiddeti (c/s)	Hata	Sonuç (% Ağırlık)
Ni	267.52	10.342	94.281
O	11.15	2.111	4.540
Pb	3.34	0.370	1.179

Ayrıca Şekil 7.12’ de SEM fotoğrafı görülen bölgede “Karnabar” şeklindeki yapı üzerinden yerel olarak gerçekleştirilen EDS analiz sonuçları incelendiğinde “Karnabahar” yapı ile bunun arkasında kalan bölgedeki yapı arasında bileşim açısından ciddi bir fark görülmemiştir.



Şekil 7.12 : Ni – B Kaplamanın EDS Analizinde Kullanılan SEM Fotoğrafı.

Çizelge 7.9’ da Şekil 7.12 üzerinde 1 ve 2 numara ile ifade edilen bölgeden gerçekleştirilen EDS analizi sonucu görülmektedir.

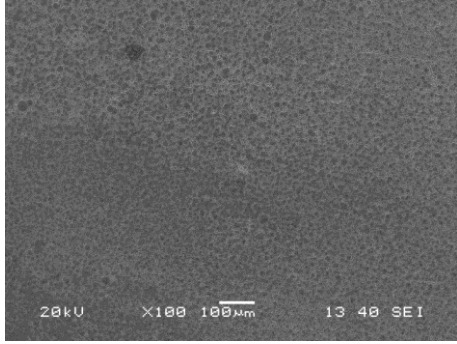
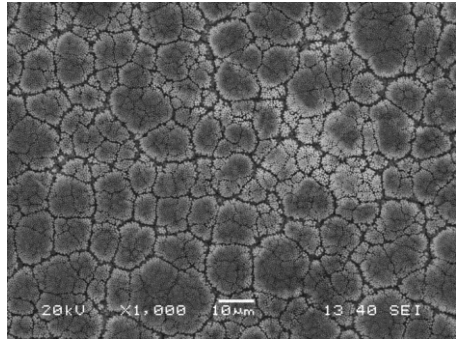
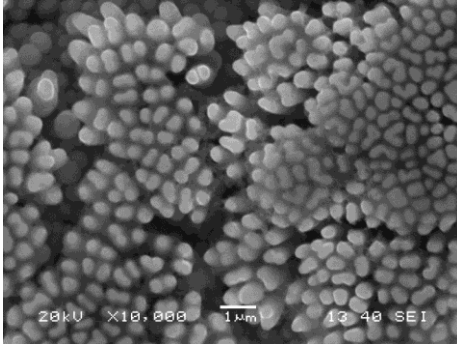
Çizelge 7.9 : Ni – B Kaplamada Gerçekleştirilen EDS Analizi Sonucu.

Element	Şiddeti (c/s)		Hata (2θ)		Sonuç (% Ağırlık)	
	1	2	1	2	1	2
Ni	286.17	277.78	10.696	9.433	93.189	92.899
O	10.51	9.01	2.049	1.896	4.027	4.289
Pb	3.88	3.74	0.592	0.677	1.784	1.812

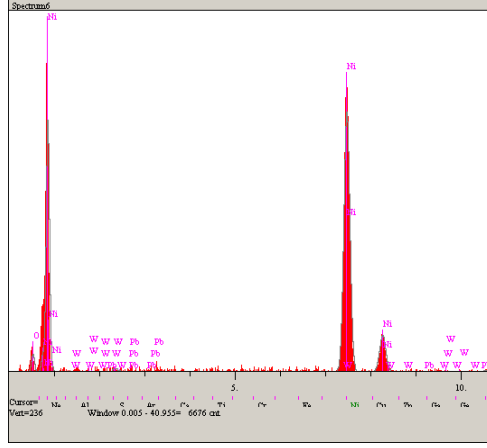
Alüminyum numune üzerine akımsız Ni – W – B kaplanmış ve kaplama sonrası 150 °C’de 10 saat süresince kaplamalar ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Bunun neticesinde Çizelge 7.10’ daki SEM fotoğrafları incelendiğinde “Böğürtlen” şeklinde bir yapı karşımıza çıkmaktadır. Bu yapı Ni – B kaplamadaki “Karnabahar” yapı ile karşılaştırıldığında daha ince taneli bir yapıdır ancak elde edilen sertlik değerleri karşılaştırıldığında Ni – B kaplamaya göre daha sert bir yapı olduğu söylenebilir [30]. Ni – W – B kaplamanın da kimyasal bileşiminin belirlenmesi amacıyla EDS analizlerine başvurulmuştur. Şekil 7.13’ da ve Çizelge 7.11’ de gösterilen Ni – W –

B kaplama üzerinde gerçekleştirilen EDS analizleri incelendiğinde yapıda ağırlıklı olarak Ni, Pb, W ve bunların oksitli bileşiklerinin oluşması beklenmektedir.

Çizelge 7.10: Akımsız Ni – W – B Kaplamanın Isıl İşlem Sonrası SEM İncelemesi

Büyütme Miktarı	Ni – W – B Kaplama
X100	
X1000	
X10000	

Kaplama yapısında kurşun (Pb) tespit edilmiştir ancak yapıda bulunan kurşunun mekanik özelliklerde meydana getirdiği değişim hakkında yorum yapılamamaktadır. Öte yandan banyoda kullanmış olduğumuz sodyum tungstat $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile yapıda W biriktiği EDS analizi ile kanıtlanmıştır. W ilave ile sertlikte artış meydana gelmiş ve SEM resimlerinde görüldüğü üzere daha ince taneli ve “Böğürtlen” şeklinde bir yapı gözlenmektedir.

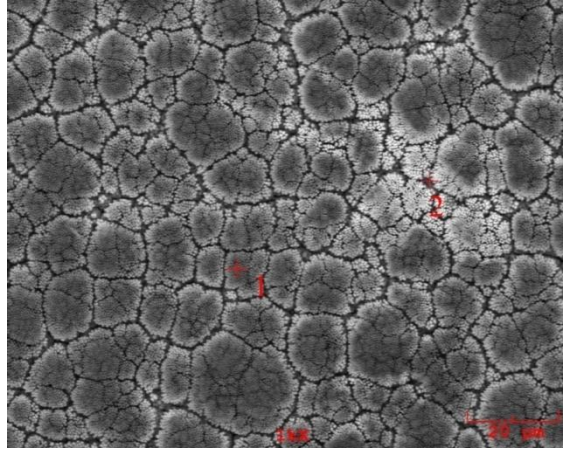


Şekil 7.13: Ni – W – B Kaplama Üzerinden Gerçekleştirilen EDS Analizi Sonucu.

Çizelge 7.11 : Ni – W – B Kaplamanın EDS Analizi Sonucu.

Element	Şiddeti (c/s)	Hata	Sonuç(% Ağırlık)
Ni	283.03	10.638	91.089
W	10.30	0.720	4.060
O	9.75	1.975	3.774
Pb	0.68	0.521	1.077

Ayrıca Şekil 7.14’de SEM fotoğrafı görülen bölgede yerel olarak gerçekleştirilen EDS analiz sonuçları incelendiğinde “Böğürtlen” yapı ile bunun arkasında kalan bölgedeki yapı arasında bileşim açısından ciddi bir fark görülmemiştir.



Şekil 7.14 : Ni – W – B Kaplamanın EDS Analizinde Kullanılan SEM Fotoğrafı.

Çizelge 7.12’de Şekil 7.14 üzerinde 1 ve 2 numara ile ifade edilen bölgeden gerçekleştirilen EDS analizi sonucu görülmektedir.

Çizelge 7.12 : Ni – B Kaplama İçin EDS Analizi Sonucu.

Element	Şiddeti (c/s)		Hata (2 θ)		Sonuç (% Ağırlık)	
	1	2	1	2	1	2
Ni	284.34	286.72	10.663	10.709	88.853	90.04
W	1.49	1.24	0.772	0.615	4.520	3.711
O	13.05	11.52	2.285	1.578	4.212	3.69
Pb	1.11	1.82	0.668	0.852	1.215	1.748

7.8 Korozyon Deneyleri Sonuçları

7.8.1 Daldırma deneyi sonuçları


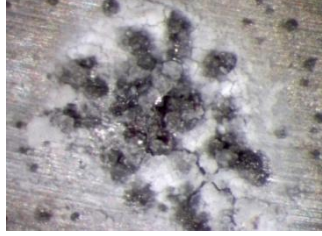




Daldırma deneyleri sonucunda X100 büyütmede stereo mikroskopta Çizelge 7.13’de görülen numune yüzeyleri incelenirse 7075 Al alaşımında oyuk oluşumu görülmektedir. Öte yandan Ni – B ve Ni – W – B kaplamaların yapısında bir değişim görülmemektedir.

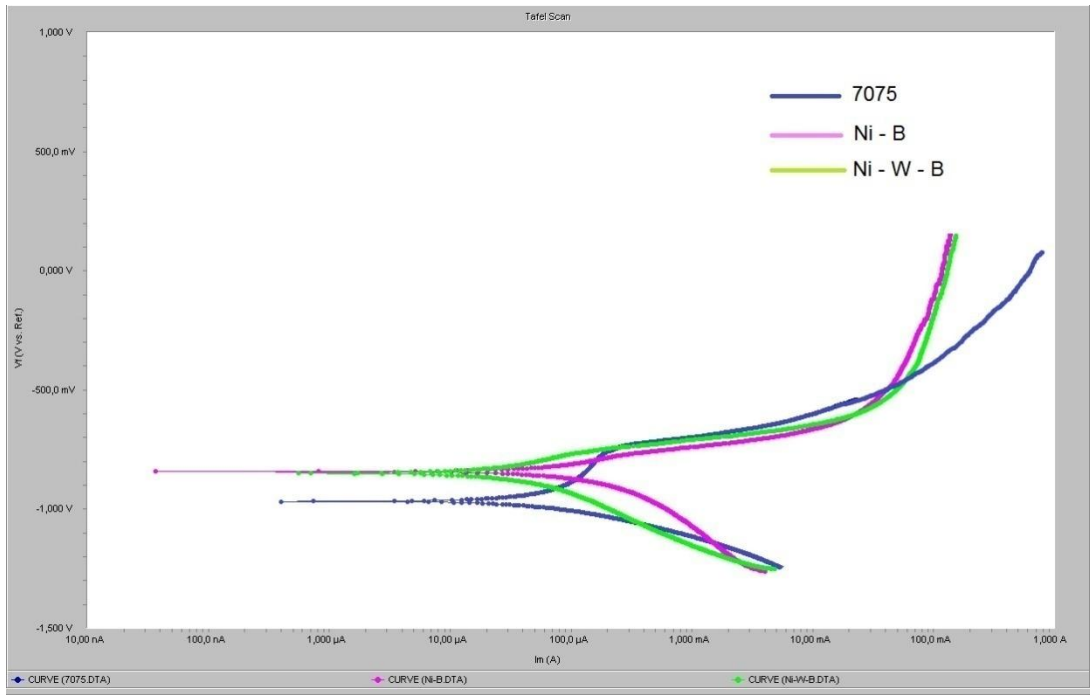
7.8.2 Polarizasyon eğrilerinin oluşturulması

%3.5 NaCl çözeltisinde gerçekleştirilen deneylerde 7075 Al alaşımı, Ni – B kaplanmış ve Ni – W – B kaplanmış sistemler için Şekil 7.14’de görülen anodik ve katodik polarizasyon eğrileri oluşturulmuştur.

Şekil 7.15’de görülen polarizasyon eğrileri kullanılarak yukarıdaki sistemler için Tafel eğimleri hesaplanmıştır ve Çizelge 7.14’deki E_{cor} ve I_{cor} değerleri incelenecek olursa E_{cor} değerleri açısından sıfıra doğru gidildikçe daha soy bölgeye yaklaşıldığı göz önünde bulundurularak 7075 Al alaşımı kaplanmış sistemlere göre korozyona başlama eğilimi konusunda daha saldırgan konumdadır. Öte yandan I_{cor} değerleri incelendiğinde; korozyon başladıktan sonra korozyon hızı açısından 7075 Al alaşımı kaplanmış sistemlere göre korozyona daha açık konumdadır. Ayrıca 0 mV civarında kaplamalarda pasifleşme görülürken 7075 Al alaşımında herhangi bir pasifleşme görülmemiştir. Hem daldırma deneyi hem de polarizasyon eğrileri deneyleri incelendiğinde akımsız Ni – B ve Ni – W – B kaplamannın %3.5 NaCl çözeltisinin oluşturacağı korozif etkiye karşı 7075 Al alaşımına göre daha dirençli olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.13: Daldırma Deneyi Sonuçları

	Daldırmadan Önce	120 Saat Bekletme
7075		
Ni - B		
Ni - W - B		



Şekil 7.15 : Oluşturulan Anodik Polarizasyon Eğrileri.

Çizelge 7.14 : Tafel Eğimlerine Göre Hesaplanan Korozyon Değerleri.

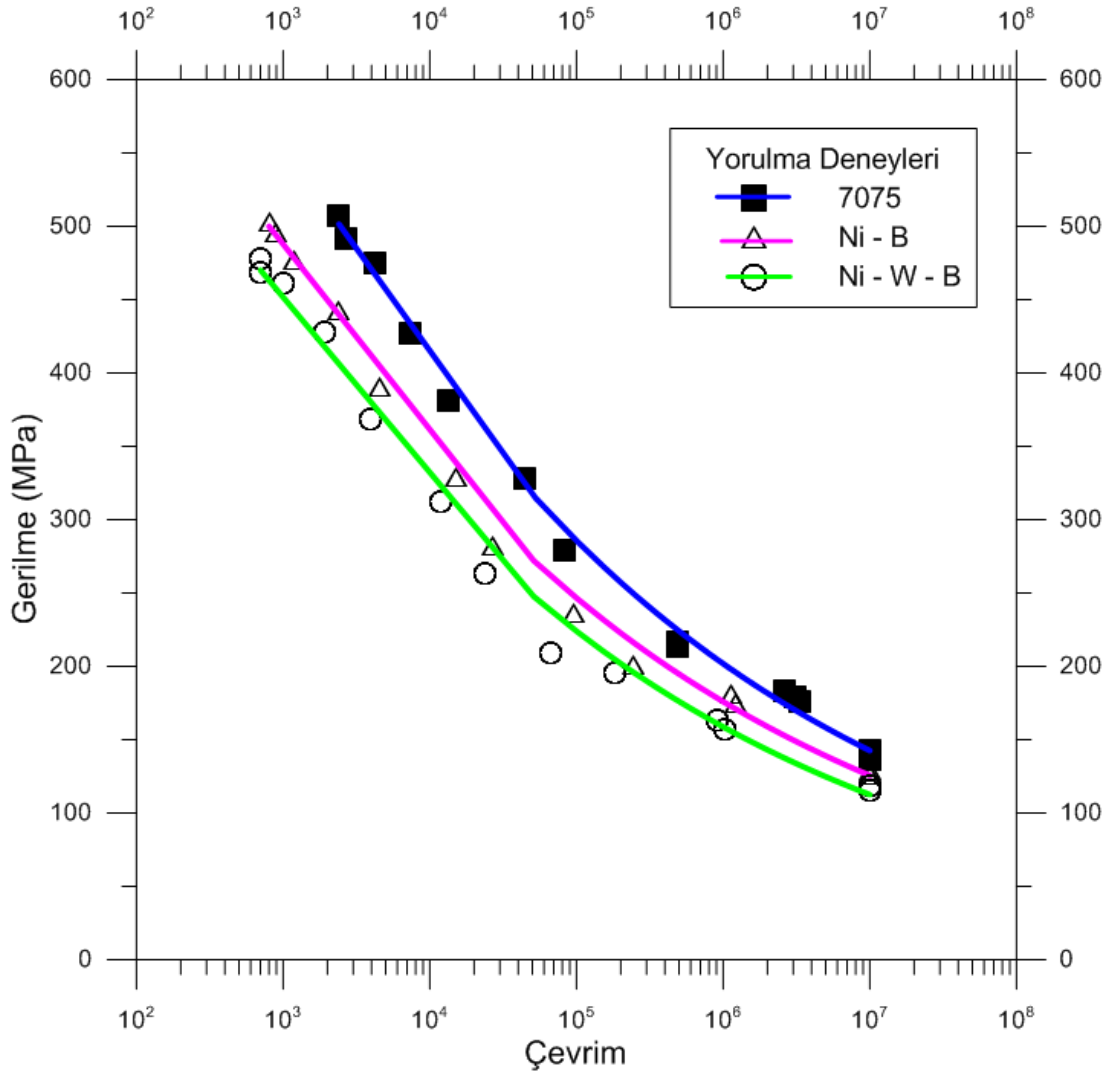
	I_{cor} (μA)	E_{cor} (mV)
7075	96.7	-973
Ni – B	65.6	-843
Ni – W – B	72.7	-854

7.9 Yorulma Deneyi Sonuçları

Yorulma deneyleri iki farklı koşulda gerçekleştirilmiştir; havada ve ağırlıkça %3.5 MERCK marka NaCl içeren saf su kullanılarak hazırlanmış sulu çözeltide.

7.9.1 Havada gerçekleştirilen yorulma deneyi sonuçları

470 °C' de 1 saat bekletilerek çözeltilere alınmış ve sonrasında kaplanmış numunelerle aynı ısıl çevrime tabi tutulan 7075 Al alaşımı, akımsız Ni – B ve Ni – W – B ile kaplanmış yorulma numuneleri için havada gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarında elde edilen yorulma eğrileri Şekil 7.16' da verilen grafikte görülmektedir. Havada gerçekleştirilen deneylerde toplamda 34 tane numune kullanılmıştır. Şekil 7.16' daki grafik incelendiğinde uygulanan kaplama işlemi genel olarak yorulma eğrilerini aşağı çekmekte, diğer bir deyişle ana malzemenin yorulma dayanımını düşürmektedir. Ayrıca kaplamaya W ilavesi ile elde edilen akımsız Ni – W – B kaplanmış sistemin yorulma ömrü akımsız Ni – B kaplanmış sisteme göre azalmaktadır. $0.9\sigma_{Ak}$ gibi yüksek gerilme seviyelerinde kaplamalı sistemin yorulma ömrü ana malzemeye göre % 60 oranında azalmaktadır. Öte yandan $0.2\sigma_{Ak}$ gibi düşük gerilmelerde kaplamalı sistemin ömrü ana malzemeye göre yine daha azdır ancak bu bölgede ömür % 15 oranında azalmaktadır. Akımsız Ni – B ve Ni – W – B kaplanmış numunelerde yorulma dayanımındaki azalma kaplamanın pürüzlü, sert ve gevrek yapıya sahip olmasına bağlanmaktadır. Ayrıca daha önceki yapılan çalışmalarda akımsız Ni – B kaplama sonrası artık çekme gerilmesi olduğu söylenmektedir [18]. Yorulma eğrileri incelendiğinde kaplanmış ve kaplanmamış sistemler için yorulma çatlağının oluşmadığı bir gerilme eşik değerinin olduğu görülmektedir. Çizelge 7.15' de havada gerçekleştirilen yorulma deneyleri neticesinde numunelerin kırık yüzey görüntüleri bulunmaktadır. Buna göre; Çizelge 7.15 incelendiğinde beklendiği gibi yüksek gerilmeye zorlanmış numunelerde son kırılma alanı düşük gerilmeye zorlanmış parçalara göre daha büyüktür.



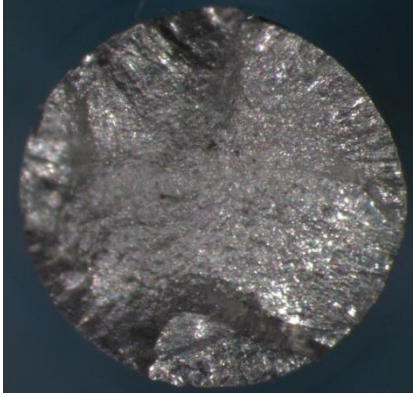
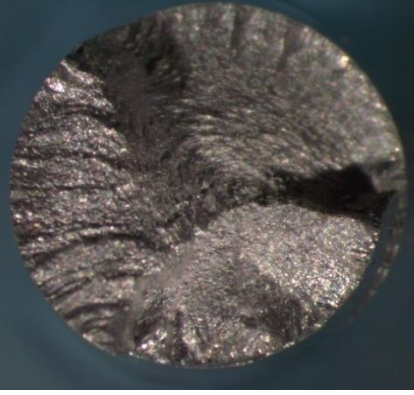

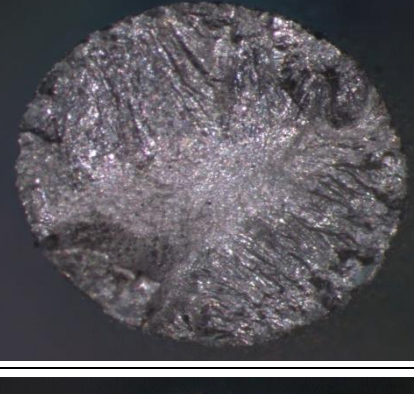
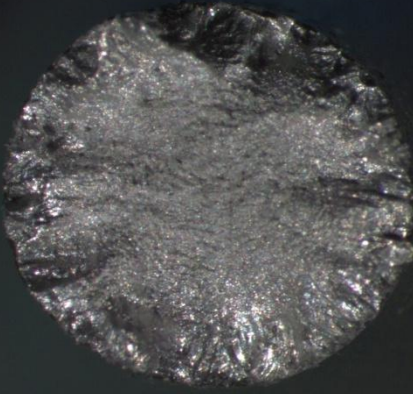

Şekil 7.16: Havada Gerçekleştirilen Yorulma Deney Sonuçları

Ayrıca kaplamanan numunelerde çatlaklar tüm yüzeyde düzlemsel olarak birçok noktadan başlamış ve son kırılma alanına kadar ilerlemiştir. Bundan dolayı kırık yüzeyleri daha düzlemsel olarak görülmektedir. Ana malzemede ise bir veya birkaç noktadan başlayan çatlaklar son kırılma alanına kadar ilerlemiştir ve kırık yüzeylerinde yükselti farklılıkları mevcuttur.

7.9.2 Korozyonlu yorulma deneyi sonuçları

Ağırlıkça % 3.5 NaCl çözeltisinde gerçekleştirilen korozyonlu yorulma deneyi sonuçları Şekil 7.17' de görülmektedir. Korozyonlu yorulma deneyleri için toplamda 30 adet yorulma numunesi kullanılmıştır. Bu eğriler incelendiğinde kaplamalı ve kaplamasız numuneler için korozyonlu yorulmada elde edilen ömrün havada gerçekleştirilen deneylere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir

Çizelge 7.15 : Havada Yorulma Deney Numunelerinin Kırık Yüzeyleri.

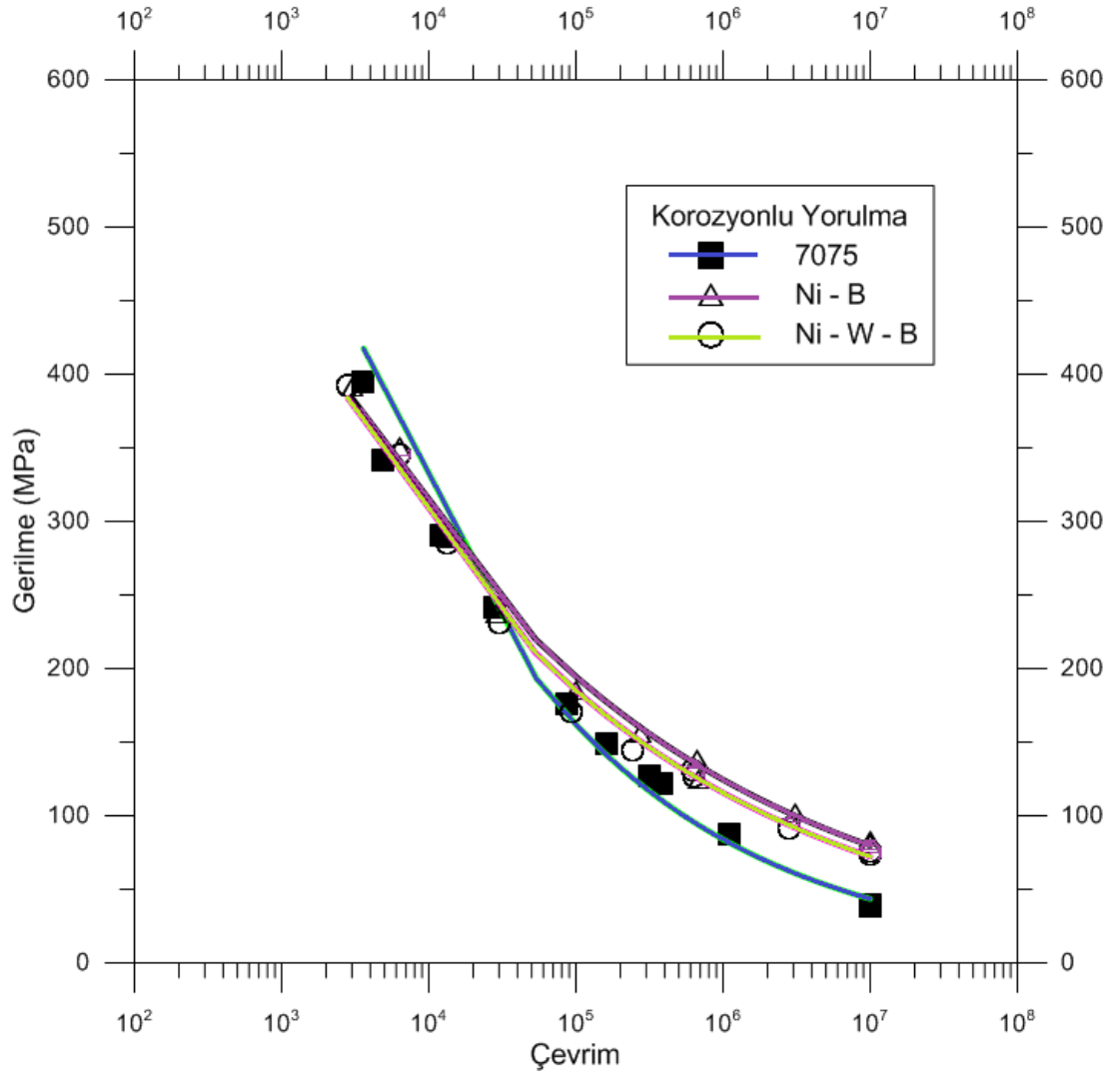
	Gerilme (380 – 400 MPa)	Gerilme (120 – 140 MPa)
7075		
Ni – B		
Ni – W – B		

Korozyonlu yorulmada $0.7\sigma_{AK}$ gibi yüksek gerilme seviyelerinde korozyonunun etkisi görülemeyeceği için kaplama ömrü aşağı çekmektedir bunun sebebi akımsız Ni – B ve Ni – W – B kaplanmış numunelerin pürüzlü, sert ve gevrek yapıya sahip olmasıdır. Aynı zamanda kaplama tabakasının artık çekme gerilmesi içerdiği söylenmektedir [18]. Öte yandan $0.15\sigma_{AK}$ gibi düşük gerilmelerde korozyonun etkisi görülmektedir buna bağlı olarak kaplama yorulma ömrünü artırmaktadır. 10^7 çevrim sayısı için kaplanmış sistem ile yorulma ömrü % 42 oranında artmaktadır. Ayrıca kaplamaya W ilavesi ile elde edilen akımsız Ni – W – B kaplanmış sistemin yorulma

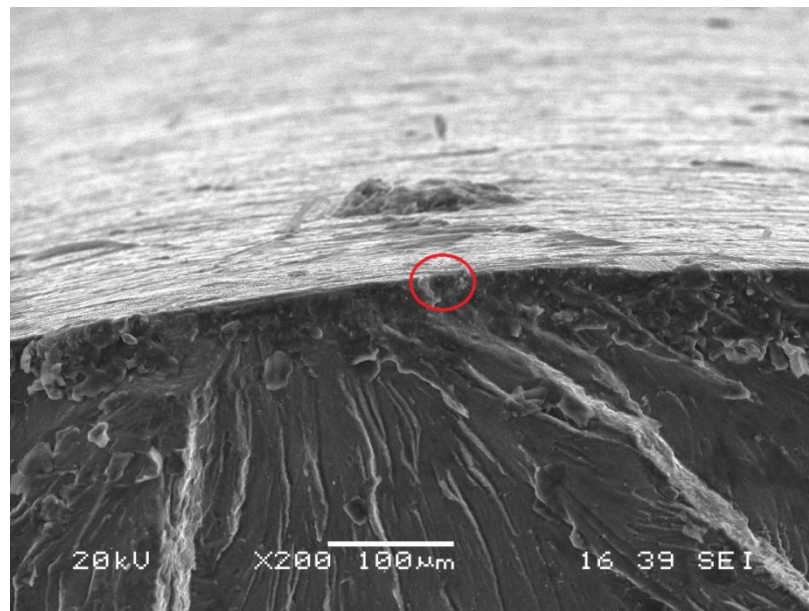
ömrü akımsız Ni – B kaplanmış sistem ile karşılaştırıldığında belirgin bir fark görülmemiştir.

10^7 gibi uzun çevrimlerde artan süreyle oyuk oluşumu başlaması ve oyuk derinliğinin artması, çatlak başlangıcı ihtimalini de artıracaktır. Kırık yüzeyleri üzerinde yapılan çalışmalardan, 15 – 20 μm gibi küçük oyuk derinlikleri bile gerilme değerine bağlı olarak çatlak oluşturmak için yeterli olabilmektedir. Ana malzeme yüzeyinde çok sayıda oyuk bulunması, çatlak çekirdeklenmesinin ağırlıklı olduğu uzun ömürlü yorulma bölgesinde yorulma ömrünü önemli ölçüde etkilemiştir [31].

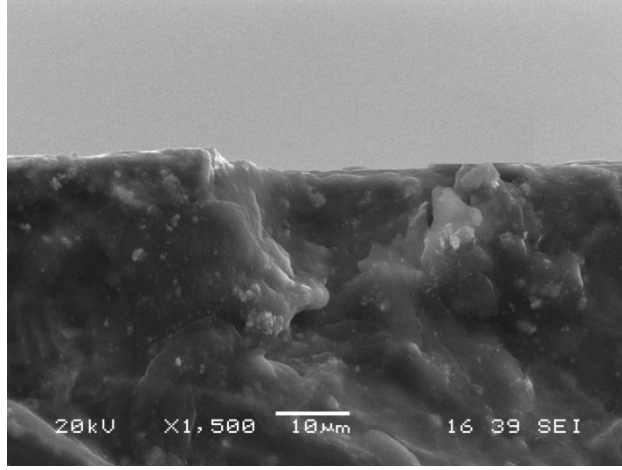
Kaplanmamış haldeki 7075 Al alaşımı numune için uzun ömürlü yorulma bölgesinde gerçekleştirilen korozyonlu yorulma sonucunda SEM’ de incelenen kırık yüzeyinde Şekil 7.18’ de görüldüğü üzere oyuk tespit edilmiştir. Şekil 7.19’ da numunenin kritik bölgesinde oluşan keskin oyuğun x1500 büyütmede çekilen SEM fotoğrafı görülmektedir. Bu şekilde oluşan oyuk diplerinden yorulma çatlaklarının geliştiği düşünülmektedir. Çizelge 7.16’ da korozyonlu yorulma deneyleri neticesinde numunelerin kırık yüzey görüntüleri bulunmaktadır. Çizelge 7.16 incelendiğinde havada gerçekleştirilen yorulma deneylerinde görüldüğü üzere yüksek gerilmeye zorlanmış numunelerde son kırılma alanı düşük gerilmeye zorlanmış parçalara göre daha büyüktür. Ayrıca kaplamayan numunelerde çatlaklar tüm yüzeyde düzlemsel olarak birçok noktadan başlamış ve son kırılma alanına kadar ilerlemiştir. Bundan dolayı kırık yüzeyleri daha düzlemsel olarak görülmektedir. Kaplanmamış numunede ise oyuk oluşumuna bağlı olarak bir veya birkaç noktadan başlayan çatlaklar son kırılma alanına kadar ilerlemiştir ve kırık yüzeylerinde yükselti farklılıkları mevcuttur.



Şekil 7.17: Korozyonlu Yorulma Deney Sonuçları



Şekil 7.18: Kaplanmamış Numunede Oyuk Oluşumu (x200 Büyütme)



Şekil 7.19: Kaplanmamış Numunede Oyuk Oluşumu (x1500 Büyütme)

Çizelge 7.16 : Korozyonlu Yorulma Deney Numunelerinin Kırık Yüzeyleri.

	Gerilme (380 – 400 MPa)	Gerilme (120 – 140 MPa)
7075		
Ni – B		
Ni – W – B		

8. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

1. Üç farklı akımsız Ni – B kaplama banyosu ile gerçekleştirilen deneyler neticesinde 20 µm kaplama kalınlığına en hızlı ve ekonomik olarak ulaşılan kaplama banyosu belirlenmiştir. Bu banyo Bölüm 7’ de bahsedildiği üzere kurşun tungstatın dengeleyici olarak kullanıldığı çözeltilerdir. Bundan dolayı alüminyum numune üzerine kaplama yapabilmek için deneylerde bu çözelti kullanılmıştır. Bu banyo kullanılarak gerçekleştirilen kaplamalarda en yüksek kaplama hızına banyo çalışma sıcaklığının 92 °C olduğu durumda ulaşılabildiği tespit edilmiştir.

2. Ayrıca bu banyoya sodyum tungstat ilavesi ile akımsız Ni – W – B kaplama elde etmek mümkündür. Kaplamanın en yüksek hızda gerçekleşebilmesi için banyoya ilave edilmesi gereken sodyum tungstat miktarı 21 gr olarak belirlenmiştir. İlaveten W katkısının kaplama hızını artırdığını söylemek mümkündür.

3. Gerçekleştirilen kaplamalarda kaplama sonrası yapının amorf olduğu bilinmektedir [26]. Bu yapıyı kristalize etmek için kaplama sonrası ısıtma işlemi uygulanması gereklidir. Ancak uygulanacak ısıtma işlemi çökelme sertleşmesi ile sertleştirilen 7075 – T6 dayanımındaki numuneleri aşırı yaşlanmış hale getirecektir. Bu da ana malzemenin yorulma dayanımını düşüreceği için 7075 – T6 dayanımındaki numunelerin önce çözeltiye alınıp sonra kaplanması uygun görülmüştür ve kaplama sonrası da hem 7075 Al alaşımının dayanımının artırılması hem de kaplamanın sertliğinin artırılması amacıyla ısıtma işlemi tabii tutulmuştur. 7075 Al alaşımının dayanımı ile kaplamanın sertliğinin en yüksek seviyeye ulaştığı ısıtma işlemi koşulları 150 °C’de 10 saat tavlama olarak belirlenmiştir. Kaplamaya belirtilen ısıtma işlemi uygulandığında kaplamanın sertliğinde % 52 civarında bir artış görülmektedir.

4. Gerçekleştirilen kaplamaların faz analizleri incelendiğinde literatürdeki ısıtma işlemi uygulanmış Ni – B ve Ni – W – B kaplamalarda bulunan fazlarla uyum göstermektedir. Ayrıca yapıya W ilavesi ile kararsız olan Ni₂B fazının Ni₃B fazına

dönüştüğü düşünülmektedir. Çekme eğrisine bakıldığında numunelere uygulanan ısıtma işlemi sonrası 7075 – T6 dayanımına yakın bir dayanım elde edildiği görülmektedir

5. Alüminyum üzerine kaplanan akımsız Ni – B kaplamanın taramalı elektron mikroskopunda yapılan mikroyapı incelemeleri ile Ni – B kaplamanın yapısının “Karnabahar” şeklinde bir yapıya benzediği görülmüştür. Bu yapının aşınmaya ve aşındırmaya karşı direnci olduğu söylenmektedir. Ayrıca elde edilen Ni – W – B kaplamanın da taramalı elektron mikroskopunda yapılan mikroyapı incelemeleri neticesinde Ni – W – B kaplama yapısının “Böğürtlen” şeklinde bir yapıya benzediği görülmüştür. Bu yapı Ni – B kaplamalara göre daha sert, gevrek ve aşınmaya karşı daha dirençli bir yapıdır [30].

6. Ni – B kaplamalardaki % B içeriğinin saptanması eldeki imkanlarla mümkün olmadığı için EDS analizleri sonucunda kaplamada Ni ve Pb birikimi gözlenmiştir. W ilave ile de yapıda ağırlıkça % 4 civarında W birikimi olduğu görülmüştür. Böylece banyoya W ile kaplama yapısında W birikimi görülmüş olur.

7. Korozyon deneyleri neticesinde optik mikroskopta yapılan incelemelerde kaplanmamış numunelerde oyuk oluşumu gözlenmektedir. Öte yandan kaplanmış numunelerde ise herhangi bir oluşuma rastlanmamıştır. Kaplamanın ve ana malzemenin korozyon davranışını belirlemek için polarizasyon eğrileri çıkarılmıştır ve bu eğrilerden elde edilen Tafel eğimlerini kullanarak hesaplanan korozyon akımı ve korozyon potansiyeli değerleri karşılaştırılmıştır. Buna göre kaplama ile korozyon akımında % 37 civarında bir azalma söz konusudur, ayrıca korozyon potansiyeli değeri de sifira yaklaşmaktadır. Tüm bu veriler ışığında kaplanmış numunelerin korozyon davranışının kaplanmamış numuneye göre daha iyi olduğunu söylemek mümkündür.

8. Havada gerçekleştirilen yorulma deneyleri sonucunda oluşturulan wöhler eğrileri incelendiğinde Ni – B kaplama sonrası 7075 Al alaşımının yorulma ömrü azalmaktadır. Bunun nedeni olarak kaplama sonrası yüzeyin pürüzlülük değerinin artması, kaplamanın gevrek ve kırılğan bir yapıya sahip olmasıdır. Ayrıca yapıda kaplama sonrası artık çekme gerilmesi bulunduğu söylenmektedir, bunun da yorulma dayanımını azaltıcı bir etki yapması beklenmelidir [26]. Kaplamaya W ilavesi ile yapı daha gevrek hale geldiğinde yorulma ömrü bir miktar daha azalmıştır.

9. % 3.5 NaCl çözeltisinde gerçekleştirilen korozyonlu yorulma deneyleri sonucunda elde edilen wöhler eğrileri incelendiğinde Ni – B kaplama sonrası 7075 Al alaşımının ömrü yüksek gerilme değerlerinde azalmış, uzun ömürlü yorulma bölgesinde ise % 42 oranında artmıştır. Kaplamalı yapının korozyona karşı daha dirençli olduğu bilinmektedir. Buna bağlı olarak korozyonlu yorulma deneylerinde kaplama 7075 Al alaşımında çatlak başlangıcı gibi davranan oyuk oluşumuna dolayısıyla korozyona karşı bir direnç sağlamaktadır. Ancak korozyonun etkisinin görülmediği yüksek gerilmelerde kaplamanın yüzey pürüzlüğünün ana malzemedenden daha fazla olması ve kaplamanın gevrek olması nedeniyle kaplamalı numunelerin ömrünün kaplamasız numunelerden düşük olduğu düşünülmektedir. Ni – B banyosun W ilavesi ile elde edilen Ni – W – B kaplamalarda korozyonlu yorulmada ömür açısından Ni – B kaplamalara paralellik göstermektedir.

10. Bu veriler neticesinde korozif ortamda düşük gerilme değerleriyle zorlanan 7075 Al alaşımının ömrünü artırmak için aşınmaya karşı yüksek direnç sağlayan akımsız Ni – B ve Ni – W – B ile kaplama yapılabilir.

9. KAYNAKLAR

- [1] **Onaran, Kaşif.** *Malzeme Bilimi. Alfa Yayınları*, 2003, sf. 46 – 84.
- [2] **Yüksel, Erdal.** *7075 Alüminyum Alaşımında Basamaklı Yaşlandırma ile Özelliklerini Kontrol İmkanları.* İstanbul : İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1991.
- [3] **Bargel J., Schulze G.** *Malzeme Bilgisi.* [çev.] Şefik Güleç ve Ahmet Aran. İstanbul : TÜBİTAK, 1985. Cilt 2.
- [4] **ASM International.** *Metals Handbook.* 1992, Cilt 2, sf. 25-50.
- [5] **Kent, Van Horn.** *Aluminum.: American Society for Metals*, 1967, Cilt 1, sf. 55.
- [6] **Kent, Van Horn.** *Aluminum.: American Society for Metals*, 1967, Cilt 2, sf. 52.
- [7] **Demirkol, Mehmet.** *Malzemelerin Mekanik davranışı. Ders Notları*, 1991, sf. 28-33.
- [8] **CİRİK, Eyüp.** *Anodik Oksidasyon İşleminin 7075 - T6 Alüminyum Alaşımının Yorulma Davranışına Olan Etkisinin İncelenmesi.* Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya , 2007. Yüksek Lisans Tezi.
- [9] **Güleç, Şefik ve Çapa, Mehmet.** *Metallerin Yüzey İşlemleri ve Özel İmalat yöntemleri.* İstanbul : İTÜ Makine Fakültesi, 1995, sf. 20 - 65.
- [10] Url – 1< <http://www.gpgyj.com.cn>>, alındığı tarih: 11.22.2011.
- [11] Url – 2<http://www.tpub.com/content/construction/14250/css/14250_32.htm>, alındığı tarih: 11.29.2011.
- [12] Url – 3<http://www.dongbusteel.co.kr/eng/product/product_detail.asp?sq=12>, alındığı tarih: 04.12.2011.
- [13] Url – 4< http://www.london-electronics.com/electro_plating.gif>, alındığı tarih: 04.12.2011.
- [14] Url – 5< http://www.swicofil.com/textile_metallization.html>, alındığı tarih: 04.12.2011.
- [15] **Keleşoğlu, Ergün.** *Sert Kaplamalar.* İstanbul, 2011, sf. 21-25.

- [16] Url – 6<http://www.rohde-technics.com/global/images/Obehnik/imes/e_aJPG, alındığı tarih: 12.04.2011.
- [17] **Eraslan, Sinem.** *Akımsız Ni-B Kaplama Sistemlerine W İlavesinin Kaplama Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi.* İTÜ. İstanbul, 2010. Yüksek Lisans Tezi.
- [18] **Mallory, Glenn O ve Hadju, Juan B.** *Electroless Plating.* c.l. : American Electroplaters and Surface Finishers Society, 1990, sf. 111-195.
- [19] **Dadvand, N.** *Investigation of the Corrosion Behaviour of Electroless Nickel-Boron and Nickel-Phosphorous Coatings in Basic Solutions.* Metallurgical Engineering at Dalhousie University. Halifax, Nova Scotia , 2002. Doktora Tezi.
- [20] **Kaya, Beril.** *Nano Kompozit Kaplama.* İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 2007. Yüksek Lisans Tezi.
- [21] Url – 7<<http://www.erowid.org/archive/rhodium/chemistry/cth.ns2oxime.pd-na-hypo.html> >, alındığı tarih: 13.12.2011.
- [22] **Gawrilow, G.G.** *Chemical EN Plating.* c.l. : Protocullis Press Ltd, 1979, s. 101.
- [23] **MATİK, Ulaş.** *Akımsız Ni-P Kaplamalarda Kaplama Parametrelerinin Belirlenmesi ve Mekanik Özelliklerine Etkisi.* Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 2010. Doktora Tezi.
- [24] **HINO, Makoto.** *Effect of zincate treatment on adhesion of electroless Ni-P coating onto various aluminum alloys.* 19, 2009, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, sf. 814-818.
- [25] **ATILIM Kimya San. ve Tic. A.Ş.** *Alüminyum ve Alaşımları Üzerine BONDAL DIP.* 2004. Ürün Prospektüsü.
- [26] **Delaunois, F ve Lienard, P.** *Heat treatments for electroless nickel-boron plating on aluminum alloys.* 160, 2002, Surface Coatings and Technology, sf. 239-248.
- [27] **C.T., Dervos, J., Novakovic ve P., Vassiliou.** *Vacuum heat treatment of electroless Ni-B coatings.* 58, 2004, Materials Letters, sf. 619-623.
- [28] **DEMİRKIRAN, Ayşe Şükran.** *Porselen Üretiminde Kuvars Yerine Zeolit İlavesi Etkisinin İncelenmesi.* Sakarya Üniversitesi. Sakarya, 2006. Doktora Tezi.

- [29] **LI, Jin-feng.** *Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatments.* 18, 2008, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, sf. 755-762.
- [30] **Bülbül, Ferhat.** *The Effects of Deposition Paramaters on Surface Morphology and Crystallographic Orientation of Electroless Ni-B Coatings.,* March 2010, Metals and Materials International, Cilt 17, sf. 67-75.
- [31] **GENEL, Kenan.** *The Effect of pitting on the bending fatigue performance of high strength aluminum alloy..* 57, April 2007, Scripta Materialia, sf. 297-300.
- [32] *Deposition of Electroless Ni-P Graded Coatings and Evaluation.* **Narayanan, Sankara, et al.** 2004, Surface and Coatings Technology, sf. 10.
- [33] Url – 8<<http://www.mates-e.com/urun-w.php>>, alındığı tarih: 19.11.2011
- [34] Url – 9<<http://www.ejdermuhendislik.com/images/eloksal.jpg>>, alındığı tarih: 20.11.2011.
- [35] **Şen, Esin.** *Banyo Bileşenlerinin Akımsız Ni-B Kaplamanın Kaplanma Hızı, Bor Miktarı ve Sertlik Değerine Etkisi.* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir, 2009. Yüksek Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Raşid Ahmed YILDIZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Rize, 18.10.1987

E-posta: ahmet87@hotmail.com

Lisans Üniversitesi: İTÜ, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü