AKIMSIZ NİKEL KAPLAMANIN DEMİR ESASLI T/M MALZEMELERDE AŞINMA DAYANIMINA ETKİSİ

Sibel Derya DEĞİRMENCİOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2005
ANKARA

AKIMSIZ NİKEL KAPLAMANIN DEMİR ESASLI T/M MALZEMELERDE AŞINMA DAYANIMINA ETKİSİ

Sibel Derya DEĞİRMENCİOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2005
ANKARA

Sibel Derya DEĞİRMENCİOĞLU tarafından hazırlanan AKIMSIZ NİKEL KAPLAMANIN DEMİR ESASLI T/M MALZEMELERDE AŞINMA DAYANIMINA ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ramazan ÇITAK
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından METALURJİ Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof.Dr. Adem KURT_____

Üye : Doç.Dr. Mahmut İZCİLER_____

Üye : Doç.Dr.Ramazan ÇITAK_____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

AKIMSIZ NİKEL KAPLAMANIN DEMİR ESASLI T/M MALZEMELERDE AŞINMA DAYANIMINA ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sibel Derya DEĞİRMENCİOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2005

ÖZET

Toz metalurjisi modern bir imalat yöntemidir. Bu yüzden teknolojik malzemeler üretilmesinde de en uygun yöntemdir. Nikel kaplamalar genellikle dekoratif amaçlı kullanılırken geliştirilen yöntemlerle malzemenin mekanik ve yüzey özelliklerini artırıcı bir işlem olarak sanayideki yeri ve uygulamaları artmıştır. Aşınma, endüstriyel uygulamalarda en çok karşılaşılan bir problemdir. Aşınmanın sebep olduğu malzeme kaybı ülke ekonomisine büyük zararlar vermektedir. Bu çalışmada demir esaslı toz metal malzemeden toz metalurjisi teknikleri kullanılarak farklı yoğunluklarda numuneler üretildi. Sinterlenen toz metal parçalar asidik akımsız nikel kaplandı. Akımsız nikel (AN) kaplama banyo bileşiminde bulunan sodyum hipofosfit miktarı değiştirilerek 4 farklı kaplama banyosu hazırlandı. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelere aşınma testi uygulandı. Farklı kaplama banyolarında kaplanan numunelerin aşınma dayanımları ölçüldü. Mikro yapı filmleri çekilerek kaplama kalınlığı ve yapısı incelendi. Numunelerde gözeneklilik oranı arttıkça kaplama miktarının arttığı ve en yüksek aşınma direncinin 25 gr/lt sodyum hipofosfit miktarında olduğu tespit edildi.

Bilim Kodu **:710**
Anahtar Kelimeler **:Toz Metalurjisi, Akımsız Nikel Kaplama, Aşınma**
Sayfa Adedi **:129**
Tez Yöneticisi **:Doç. Dr. Ramazan ÇITAK**

THE EFFECT OF ELECTROLESS NICKEL PLATING ON WEARING STRENGNESS OF IRON BASED P/M METARIALS

(M. Sc. Thesis)

Sibel Derya DEĞİRMENCİOĞLU

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
November 2005

ABSTRACT

Powder metallurgy is a modern manufacturing processs. Therefore; it is the most suitable process in the production of technological materials. While the nickel coatings are generally used for decorative purposes, they are also used as an improving process for the the mechanical and surface properties of the materials in the industry. Wear is one of the problems which are mostly faced in the industrial application. Abrasion gives a great harm to the national economy. In this study, samples having various densities are produced by using powder metallurgy techniques from the ferrous powder. Sintered powder metal parts have been asidic electroless nickel coated. In this process four different types of coating baths were prepared by changing the hypophosphate amount in the composition of acidic AN coating bath. Wear test was applied to the coated and uncoated samples. Wear resistance of the coated samples in different coating bath compositions was measured. The coating thickness and microstructure were investigated by taking the micrograph. It has been determined that as porosity ratio of specimens were increasing the coating amonunt increased and highest wear resistance was in 25 gr/liter hypophosphate amount.

Science Code :710
Key Words :Powder Metallurgy, Electroless Nickel Coating, Wear
Page Number:129
Adviser :Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÇITAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Doç. Dr. Ramazan ÇITAK'a, yine kıymetli bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Doç. Dr. Ferhat GÜL'e, benim bu günlere gelmemde maddi manevi her türlü desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET…….…….iii

ABSTRACT……...iv

TEŞEKKÜR...……...v

İÇİNDEKİLER.……...vi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ.…….…..x

ÇİZELGELERİN LİSTESİ.……..…xiii

RESİMLERİN LİSTESİ……xiv

1. GİRİŞ.…….....1

2. TOZ METALURJISI.…….....3

2.1. Toz Metalurjisinin Tarihsel Gelişimi.……...…4

2.2. Toz Meturjisinin Avantaj ve Dezavantajları…...…….5

2.3. T/M İle Üretilen Parçaların Kullanım Alanları.……6

2.4. Toz Metalurjisi Sürecinin Adımları.……...…….....7

2.4.1. Metalik tozların üretim yöntemleri…...…….....8

2.4.2. Tozların özellikleri.……...……10

2.4.3. Toz karıştırma ve harmanlama.…...……..10

2.4.4. Presleme.……...11

2.4.5. Sinterleme.……11

2.4.6. İnfilitrasyon.……..13

2.4.7. Yağ emdirme.……13

2.4.8. İkinci presleme.…….....13

2.4.9. Talaşlı imalat.……13

2.5. Toz Metalurjisi Ürünlerinin Özellikleri.…...……..14

Sayfa

2.6.1. T/M ürünü demir esaslı parçaların üretiminde kullanılan tozlar ve bu tozların özellikleri…….....14

2.6.2. Demir–grafit kompaktların sinterlenmesi ve sinterleme şartlarının mekanik özelliklere etkisi…….16

3. AKIMSIZ NİKEL KAPLAMA…….....17

3.1. AN Kaplamanın Avantajları……..18

3.2. AN Kaplamanın Sınırlılıkları…….....18

3.3. AN Banyo Bileşimi ve Karakteristikleri……19

3.4. AN Kaplama Banyosunda Nikelin Kaynağı……..……....19

3.5. İndirgeyici Kimyasallar…….…….……....19

3.5.1. Sodyum hipofosfit banyoları……...……...……...20

3.5.2. Aminobor banyoları……...……23

3.5.3. Sodyum borhidrat banyoları……...……...23

3.3.4. Hidrazin banyoları……..……...24

3.6. Kompleks Oluşturucular……..……..24

3.7. Hızlandırıcılar……..……..25

3.8. İnhibitörler……...……...25

3.9. Tepkime Yan Ütünleri……..……..26

3.10. Enerji……27

3.11. Akımsız Nikel-Fosfor Kaplamaların Özellikleri……..……27

3.11.1. Akımsız nikel- fosfor kaplamanın yapısı…….....28

3.11.2. İç gerilim……29

3.11.3. Uniformluk …….30

3.11.4. Yapışma (yüzeye bağlanma)……..……30

Sayfa

3.11.5. Fiziksel özellikler.……...31

3.11.6 Mekanik özellikler.……..31

3.11.7. Sertlik ve aşınma direnci.……32

3.11.8. Korozyon direnci..……...32

4. SÜRTÜNME VE AŞINMA..…….34

4.1. Sürtünme Çeşitleri.……..35

4.2. Aşınma.……...36

4.2.1. Tribolojik sistemler……...……36

4.2.2. Aşınmanın temel unsurları…….……...38

4.3. Aşınma Çeşitleri.……....……38

4.3.1. Adhesiv aşınma.…….…….39

4.3.2. Abrasiv aşınma…..…….40

4.3.3. Yorulma aşınması…...……41

4.3.4. Difüzyon aşınması…..……41

4.3.5. Tribo-Oksidasyon aşınması…..……..42

4.3.6. Erozyon ve kavitasyon aşınması…….42

4.3.7. Yenme aşınması…….…….……43

4.4. Aşınma Deneyleri…..…….……..……43

4.4.1. Ağırlık farkı yolu ile ölçme……44

4.4.2. Kalınlık farkı metodu…..……44

4.4.3. İz değişim yöntemi…...……..45

4.4.4. Radyo izotoplarla ölçme metodu…...…….45

5. DENEYSEL ÇALIŞMA...……46

Sayfa

5.1. Toz Metal Numunelerin Hazırlanması...……46

5.1.1. Tozların karıştırılması...……46

5.1.2. Toz karışımının preslenmesi…….47

5.1.3. Toz blokların sinterlenmesi……..……..……...48

5.2. Numunelerin Akımsız Nikel ile Kaplanması……...……...49

5.2.1. Kaplama işlemi öncesi yüzey işlemleri……..……...50

5.2.2. Asidik akımsız nikel kaplama çözeltilerinin hazırlanması……...50

5.2.3. Akımsız nikel kaplama deney düzeneği…….……...51

5.2.4. Numunelerin asidik akımsız nikel kaplanması…….……52

5.3. Aşınma Deneyleri……..……..53

5.3.1. Aşınma miktarının ölçümü……...…….53

5.4. Kaplama Kesitlerinin Mikroskobik İncelenmesi……..……..54

5.5. Mikrosertlik Ölçümleri……54

6. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA……..……55

6.1 Aşınma Numunelerinin Gözeneklilik Oranları…….……...55

6.2. Kaplama Miktarı…….……57

6.2.1. Sodyum hipofosfit oranının kaplama miktarına etkisi……..57

6.2.2. Gözeneklilik oranının kaplama miktarına etkisi……..……65

6.3. Aşınma Özellikleri……..……...…….....66

6.4. Kaplamanın ve Ana Malzemenin Sertlik Değerleri……..……..72

7. SONUÇ ve ÖNERİLER…….…75

7.1. Sonuçlar……..……....75

7.2. Öneriler…...……77

Sayfa

KAYNAKLAR……..……..78

ÖZGEÇMİŞ……83

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. T/M parçalarının 1999 yılında dünya gelenindeki pazar payı……..7

Şekil.2.2. Demir tozlarının kullanım alanları……..…..7

Şekil 3.1. Çözelti pH'nın kaplama oranına ve kaplamanın fosfor içeriğine etkisi……..……27

Şekil 3.2. Akımsız nikel-fosfor kaplamanın kesit alanı……..……29

Şekil 3.3. AN kaplama ile elektrolitik nikel kaplamanın kalınlıklarının karşılaştırılması……..….30

Şekil 4.1. Gerçek temas alanı……..…34

Şekil 4.2. Sürtünme çeşitleri…….……..35

Şekil 4.3. Tribolojik sistem……..……...37

Şekil 4.4. Tribosisteme giren ve çıkan enerji dağılımları……...38

Şekil 4.5. Adhesiv aşınmada oluşan kaynak bağı……...40

Şekil 4.6. İki ve üç cisimli abrasiv aşınma mekanizması…….…..40

Şekil 5.1. Tozların karıştırılmasında kullanılan karıştırıcı…….…….47

Şekil 5.3. Tozların preslenmesinde kullanılan kalıp……...……47

Şekil 5.5. Deney düzeneğinin şematik görünümü……...……...51

Şekil 6.1. Aşınma deney numunelerinde presleme basıncının Yoğunlaşma oranına etkisi……..……56

Şekil 6.2. Hipofosfit oranının kaplanan malzeme miktarına etkisi (%6 gözeneklilik)……...….……58

Şekil 6.3. Hipofosfit oranının kaplanan malzeme miktarına etkisi (%9 gözeneklilik)……....…60

Şekil 6.4. Hipofosfit oranının kaplanan malzeme miktarına etkisi (%15 gözeneklilik)……62

Şekil 6.5. Gözeneklilik oranına bağlı kaplanan malzeme miktarı……..……...….65

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.6. Asidik an kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin aşınma deney sonuçları (%6 gözeneklilik)……..67

Şekil 6.7. Asidik an kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin aşınma deney sonuçları (%9 gözeneklilik)……...……67

Şekil 6.8. Asidik an kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin aşınma deney sonuçları (%15 gözeneklilik)……...……..68

Şekil 6.9. Kaplama bileşimindeki hipofosfit oranının aşınmaya etkisi (%6 gözeneklilik)……..……..……..69

Şekil 6.10. Kaplama bileşimindeki hipofosfit oranının aşınmaya etkisi (%9 gözeneklilik)……....……..70

Şekil 6.11. Kaplama bileşimindeki hipofosfit oranının aşınmaya etkisi (%15 gözeneklilik)……..……..70

Şekil 6.12. Gözeneklilik oranlarına göre kaplamanın aşınma dayanımı…….....71

Şekil 6.13: Gözeneklilik oranına göre kaplama sertlik ölçüm grafiği…...……77

Şekil 6.14. Gözeneklilik oranına göre malzeme sertlik ölçüm grafiği.……..73

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Toz metalurjisinin tarihi gelişimi……..……5

Çizelge2.2.. Toz metalurjisi ürünlerinin özellikleri……...…….14

Çizelge 3.1. AN için indirgeyici kimyasallar…….…….20

Çizelge 3.2. Hipofosfit esaslı asidik an kaplama banyo kompozisyonları…….....22

Çizelge 3.3. Akımsız nikel kaplamalarda fosfor oranının kaplama Özelliklerine etkisi…….…….28

Çizelge 5.1. ASC 100.29 atomize demir tozunun fiziksel özellikleri……..…..……..46

Çizelge 5.2. Aşınma numuneleri için hazırlanan asidik akımsız nikel kaplama banyoların çalışma parametreleri……..……..49

Çizelge 5.3. Disk üzerindeki izler ve devir sayıları……...…54

Çizelge 6.1. Akımsız nikel kaplama ve aşınma deney numunelerinin yoğunlukları……..……..……55

Çizelge 6.2. % 6 Gözenekli numunelerin kaplama miktarları…….……...57

Çizelge 6.3. % 9 Gözenekli numunelerin kaplama miktarları…….……...59

Çizelge 6.4. % 15 Gözenekli numunelerin kaplama miktarları...……..…….62

Çizelge 6.5. Gözeneklilik oranlarına göre birim alana düşen kaplama miktarları…….……65

Çizelge 6.6. Mikro sertlik ölçüm sonuçları…….……72

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 5.1. Sinter fırını……..……..……48

Resim 6.1. %6 Gözeneklilik 35 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme)……..…58

Resim 6.2. %6 Gözeneklilik 29,7 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme)……..……58

Resim 6.3. %6 Gözeneklilik 25 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme)……..58

Resim 6.4. %6 Gözeneklilik 20 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme)…...…..…...59

Resim 6.5. %9 Gözeneklilik 35 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme)……..…...…60

Resim 6.6. %9 Gözeneklilik 29,7 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme)……..…60

Resim 6.7 %9 Gözeneklilik 25 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme)…….....61

Resim 6.8. %9 Gözeneklilik 20 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme).……..…...61

Resim 6.9 %15 Gözeneklilik 35 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme)…..……..62

Resim 6.10. %15 Gözeneklilik 29,7 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme).…….....63

Resim 6.11. %15 Gözeneklilik 25 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme)……..…...63

Resim 6.12. %15 Gözeneklilik 20 gr/lt hipofosfit miktarı (200 büyütme).……..…...63

1. GİRİŞ

Toz metalurjisi; sunduğu çeşitlilik açısından en kapsamlı şekillendirme ve üretim süreçlerine sahip metal işleme teknolojisidir. Toz metalurjisini (T/M) çekici kılan en önemli unsur yüksek kaliteye sahip karmaşık şekillerdeki parçaların istenilen toleranslarda kayıpsız ya da çok az kayıpla ekonomik olarak imal edilebilmesidir (1).

Toz metalurjisi 5000 yıl öncesine dayanan uzun ve büyüleyici bir tarihçeye sahiptir. Eski mısırlıların sünger demir üretimiyle başlayan süreç; birinci dünya savaşında ihtiyaca bağlı olarak gelişerek hız kazanmıştır. Özellikle otomotiv sanayisindeki büyük gelişmeler toz metal yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır. 1950'li yıllarda demir tozu ve çelik tozundan üretilen dişliler, kamlar piyasaya hâkim olurken, 1970'lilerde yüksek yoğunluk ve yüksek performansa sahip malzemeler ticari alanda boy göstermiştir. 1980'lere gelindiğinde hem toz özellikleri hem de T/M yöntemleri bir hayli gelişmiştir. Türkiye'de 1970'lerde önemi fark edilen T/M alanında çeşitli üretim çalışmaları başlamıştır (2).

Demir tozu, T/M parça üretiminde büyük miktarlarda kullanılmaktadır. Bunun nedeni; demir tozlarının sahip olduğu farklı kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle farklı işlemlerde kullanılmasıdır. Otomotiv sektöründe tercih edilen demir tozları, işlenebilme, presleme operasyonlarının kolaylığı ve maliyetinin düşük olması gibi üstünlüklere sahiptir.

Bir mühendislik işlemi olan akımsız nikel kaplama 1950'lilerde uygulanmaya başladığından beri hızlı bir gelişme göstermiş ve etkisi onaylanmış bir endüstriyel işlem konumuna gelmiştir. Bu tür kaplamalar mükemmel korozyon ve aşınma direncinden dolayı kullanılır. Lehim edilebilirlik, kaynak edilme kabiliyeti ve uniform kaplama özelliği bilinen üstünlüklerindendir. Ayrıca dekoratif amaçlı kullanım alanlarına da sahiptir.

İstenilen özellik ve kaplama yapılacak alt malzemenin boyutu ve kompozisyonu da göz önüne alınarak farklı banyo alternatiflerini barındıran akımsız nikel kaplama Amerika ve Avrupa'da yaygın hale gelmiştir.

Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında kaçınılmaz olan ve kompleks bir sistem özelliği gösteren aşınma, sanayide bir çok tribolojik sistemlerde görülen korozyon ve yorulmadan sonra üçüncü büyük problemdir. Bu nedenle günümüzde teknik sistemlerdeki araştırmalar sürtünmeyi ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları da yoğunlaştırılmıştır. Sürtünme ve aşınmanın azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken enerji kaybı da önlenmiş olur.

Üretilecek makine elemanlarının kullanım yerleri ve işlevleri göz önüne alınarak malzeme seçimi yapılırken; aşınma, sürtünme, korozyon, yorulma vb. çalışma sırasında gelebilecek kayıpları önleyici uygulamalar yapılmalıdır. Isıl işlemlerle malzeme yapısı güçlendirileceği gibi kaplamalarla malzeme yüzeyi, sertliği, parçaların farklı işlevlere adaptasyonu (kaynak, lehim, kör, çukur deliklerin kapanmasıyla yüzey pürüzlülüğü vb.) sağlanabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı demir esaslı toz metal parçaların akımsız nikel kaplama şartlarını incelemek ve farklı kaplama banyolarında elde edilen kaplama kalitesinin aşınma mekanizmasına etkisini belirlemektir. Bu amaçla yapılan deneylerde farklı yoğunluklarda hazırlanan demir esaslı T/M parçalar sodyum hipofosfit miktarı değişken parametre olarak hazırlanan banyolarda asidik akımsız nikel kaplandı. Kaplanan T/M parçalara aşınma testleri uygulanarak demir esaslı T/M parçaların kaplanabilirlik ve gözenekliliğin kaplama miktarına etkisi ve kaplamanın aşınma dayanımına etkisi incelendi.

2. TOZ METALURJİSİ

Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Sunduğu çeşitlilik açısından en kapsamlı şekillendirme ve üretim süreçlerine sahip bir teknolojidir (1). Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilmesi, toz metalurjisini cazip kılmaktadır (T/M); elementel metal tozların, tam ve/veya yarı ön alaşımlanmış metal tozların bağlayıcılar ve yağlayıcılarla birlikte harmanlanarak uygun pekiştirme yöntemleri ve sıcaklıklar kullanılarak arzu edilen şekilde üretilmeleri süreçlerini içeren oldukça kapsamlı ve çok disiplinli bir malzeme üretim yöntemidir (1). T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür.

Günümüzde toz metalurjisini endüstriyel üretim aşamalarının hemen hemen tümünde uygulanabilir hale getiren zorlayıcı nedenler vardır. Bu nedenler arasında;

- Malzemeden tasarruf edilmesi,
- Üretilen parçanın mikro yapısında ince tane boyutları ile kimyasal homojenizasyonun sağlanması,
- Tam yoğunluk
- Yüksek dayanım performansı

gibi faktörler sayılabilir (1).

Üretim aşamaları; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkları sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içerir. T/M nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kayıplarını ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, T/M konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme işlemlerinin yerini almaktadır.

2.1. Toz Metalurjisinin Tarihsel Gelişimi

Toz metalurjisinin tarihsel gelişimini incelersek, 5000 yıl öncesine dayanan uzun ve büyüleyici bir tarihçeyle karşılaşırız. Metalik parçaların üretiminde bilinen en modern ve aynı zamanda en eski üretim yöntemlerinden biridir. Eski mısırlılar alet yapmak amacı ile "sünger demir" üretimini gerçekleştirirken, bu ilkel üretim yönteminde demir oksit (Fe_2O_3), körüklerle hava üflenmesi sonucu taş kömürü ile ısıtılarak indirgenmiştir. Bu suretle üretilen sünger demir kütlesi daha sonra çekiçlenip ufalanmış ve tozlar preslenerek birleştirilmiştir. Toz metalurjisinin bu ilk ilkel uygulamaları sünger demirin öğütüldükten sonra hidrojen atmosferleri altında oksitlerin giderildiği günümüzdeki ticari demir esaslı toz metalurjisi üretim yöntemlerine de ilham kaynağı olmuştur (2).

Toz metalurjisindeki ilk ticari uygulamalar lamba flamanlarının üretilmesiyle başlamıştır. İlk üretilen flamanlar osminyum, zirkonyum, vanadyum, tantalyum ve tungsten'den ekstrüzyon yoluyla üretilip sinterlenen karbonlu malzemelerdir (3,4). 1900 ile birinci dünya savaşı yılları arasında infiltrasyon teknikleri, gözenekli yapılı malzemeler, demir esaslı malzemeler ve tungsten-nikel-bakır ağır alaşımları hızlı bir ilerleme kaydetmişlerdir.

İkinci dünya savaşı başlarında bilhassa ticari alanda demir tozları kullanımı iyice yaygınlaşmıştır. Demir esaslı tozlardan yapılan parçalar, orduların en çok kullandığı malzemelerdendir. Yine bu yıllarda modern T/M endüstrisinde demir ve bakır esaslı malzemeler otomotiv alanında büyük tonajlarda kullanılmıştır. İkinci Dünya savaşından sonra nükleer enerji teknolojisi ve havacılık teknolojisinin gelişmesiyle , tungten, niyobyum, titanyum, tantalyum, berilyum, zirkonyum, uranyum ve toryum gibi refrakter metal tozların kullanımı hız kazanmıştır (3,4). 1970'lerde tam olarak homojen, yoğun, ince taneli, segregasyonsuz ve yüksek mukavemetli malzemelerin üretilmeleri mümkün olmuştur. 1980'lerde ise birçok yeni ve toz işleme teknolojileri geliştirilmeye başlanmıştır. Bunlar hızlı katılaşma, mekanik alaşımlandırma ve toz enjeksiyon süreçleridir (2). Bu gelişmelerin sayesinde segregasyon, heterojenizasyon ve gözenek oluşumu gibi kötü etkenler minimize edilmiştir (3,4). T/M teknolojisinin

başlangıcından 1980'li yıllara kadar olan tarihi gelişimi Çizelge 2.1'de verilmiştir (4).

Çizelge 2.1. Toz metalurjisinin tarihi gelişimi (4)

Tarih	Gelişmeler	Kullanıldığı yer
M.Ö. 3000	Sünger demir tozuyla takım imali	Mısır/Afrika/Hindistan
M.S. 1200	Plantinyum kullanımı	Güney Amerika/İnka
1781	Plantinyum-Arsenik kullanımı	Fransa/Almanya
1790	Ticari alanda plantinyum-arsenik alaşımı kullanımı	Fransa
1822	İngot içerisinde Plantınyum Tozlarının şekillendirilmesi	Fransa
1826	Kompakt Plantinyum tozlarının yüksek sıcaklıklarda sinterlenmesi	Rusya
1829	Wallatson metodu ile sünger plantinyum tozlarının kompaktlanması	İngiltere
1830	Çeşitli metallerin kompaktlanması ve sinterlenmesi	Avrupa
1870	Kendinden yağlamalı yatakların imali	A.B.D.
1878-1900	Lamba flamanlarının imali	A.B.D.
1900	Kompozit malzemeler, poröz malzemeler	A.B.D.
1915-1930	Sementit karbürlerin kullanımı	Almanya
1920	Ticari alanda kendinden yağlamalı yatakların imali	A.B.D.
1940	Demir tozu teknolojisi	Orta Avrupa
1950-1960	Dövme T/M, dispersiyon sertleştirme, T/M işleme	A.B.D.
1970	H.I.P, T/M takim çelikleri	A.B.D.
1980	Injeksiyon dökme teknolojisi(M.I.M.)	A.B.D.

2.2. Toz Meturjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Diğer imal usullerinde olduğu gibi toz metalurjisininde belirli avantaj ve dezavantajları vardır.

Toz metalurjisinin avantajları;

1.Talaşlı işlem gereksiniminin azaltılması veya tamamen eliminasyonu,

2**.** Üretim hızının yüksek olması,

3. Karmaşık şekilli parçaların üretilebilir olması**,**

4. Çok geniş bir kompozisyon aralığı,

5. Özelliklerin geniş bir aralıkta değişimi,

6. Hurda miktarının azaltılması,

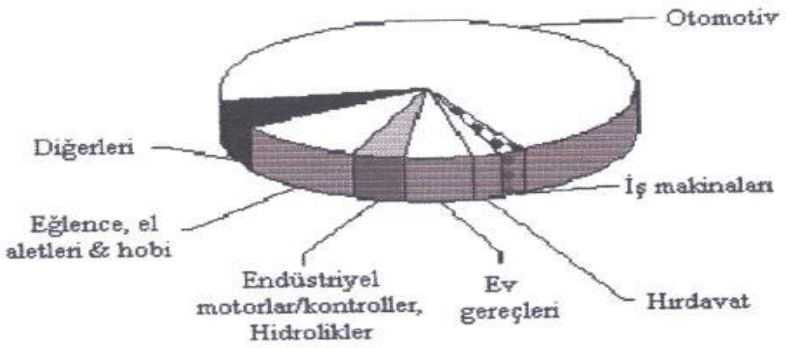
7. Ergime kayıpları yokluğu,

8. Aşınma dayanımının artırılabilmesi için gözeneklere istenilen yağlayıcı maddelerin uygulanabilirliği (5),
9. Seri üretim yapılabilirliği (6).
10. Yalnızca toz metalurjisi yöntemiyle üretilebilen kesici takım uçları.

Toz metalurjisinin dezavantajları;
1. Kalıp maliyetinin yüksek olması,
2. Metal tozlarının maliyetinin dövme ve döküm malzemelerinden daha pahalı olması,
3. Düşük mekanik özellikler,
4. Parça kesiti boyunca özelliklerin değişim göstermesi,
5. Tasarım sınırlamalarıdır.

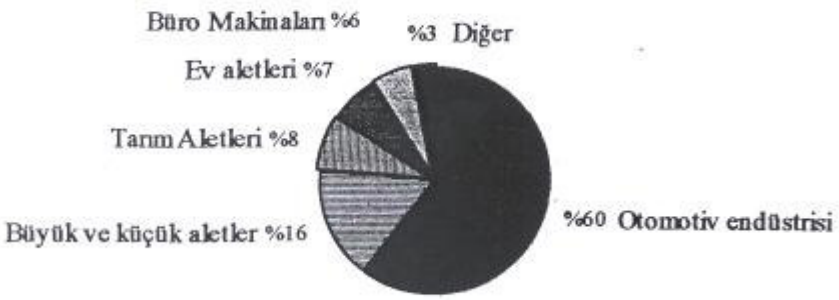
2.3. T/M İle Üretilen Parçaların Kullanım Alanları

Günümüzde toz metalurjisi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. T/M uygulamalarına bakıldığında; tungsten lamba flamentleri, dişçilik, dişli çarklar, yağlamasız yataklar, elektrik kontakları, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik gereçler, ofis makineleri parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, akü elemanları ve jet motor parçaları metal tozlarından üretilen parçalara örnek olarak verilebilir. Ayrıca, metal tozları boyalar, gözenekli betonlar, basılmış devre levhaları, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, baskı mürekkepleri, lehimleme aletleri ve katalizörlerin üretilmesinde de kullanılmaktadır T/M parçalarının 1999 yılında dünya genelindeki pazar payı Şekil 2.1'de verilmiştir. Bu pazarın %75 'ini otomotiv endüstrisi oluşturmaktadır. Avrupa yapımı arabalar 7 kg, Japon yapımı arabalar ise 5 kg T/M parçaya sahip olduğu halde, amerikan arabaları 16 kg'dan daha fazla T/M parça içermektedir (7). Ülkemizde yıllık 5 bin ton civarında metal tozu tüketilmektedir (1).



Şekil 2.1. T/M parçalarının 1999 yılında dünya gelenindeki pazar payı

T/M ürünü demir esaslı ürünler endüstrinin birçok dalında geniş hacimlerde kullanılmaktadır. Bilhassa diğer T/M ürünlerine göre daha üstün özelliklere sahip olması kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Otomotiv parçaları, el aletleri, çiftlik aletleri, büro malzemeleri ve havacılık alanında (fonksiyonel olmayan parçalar), askeri alanlarda demir esaslı T/M parçalar vazgeçilmez malzemelerdir. T/M endüstrisi içerisinde demir esaslı parçalar, diğer T/M parçalarına göre, kullanım hacmi açısından değerlendirildiğinde demir esaslı parçaların üstünlüğü görülmektedir. Şekil 2.2.'de demir tozlarının kullanım alanları görülmektedir (8,9,10,11).



Şekil.2.2. Demir tozlarının kullanım alanları (11).

2.4. Toz Metalurjisi Sürecinin Adımları

Toz metalurjisi (T/M) üretim süreçleri, genel anlamda düşünüldüğünde, oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır. Sırasıyla bu süreçler;

- Toz üretimi

- Karıştırma veya harmanlama
- Presleme ve/veya kalıplama
- Sinterleme
- İkincil operasyonlar (ısıl işlem, mekanik işlem).

2.4.1. Metalik tozların üretim yöntemleri

Hemen hemen bütün malzemeler toz haline getirilebilir, fakat tozları üretmek için seçilen metotlar malzeme özelliklerine bağlıdır (7). Metal tozların üretiminde temel olarak şu yöntemler uygulanır:

1.Kimyasal Üretim Teknikleri: Tüm metal tozları kimyasal teknikle üretilebilir. Tipik parçacık büyüklüğü ve şekli reaksiyon değişkenlerinin kontrolü ile büyük oranda sağlanabilmektedir. Kimyasal yöntemle üretilen tozların ebatları 5–10 µm ile 100–500 µm arasında ve değişik şekillerde olabilmektedir. Kimyasal yöntemle katı, sıvı veya buhar fazı tepkimeleri ile toz üretimi gerçekleşebilir. Bu sentezleme yöntemlerini dört gruba ayırmak mümkündür (2).

- Gaz Altında Katının Ayrışması: Metal toz üretiminin en klasik şekli metal oksitleri indirgeyici gaz ortamında indirgeyerek ayrıştırmaktır (12).

- Termal Ayrışma: Buhar fazında ayrışma ve yoğunlaşma süreçlerinin bileşimi ile metal tozlarını üretmek mümkündür. Bu süreçlerin bileşimindeki en temel örnekler demir karbonil $Fe(CO)_5$ veya nikel karbonil $Ni(CO)_4$ tepkimelerini içeren üretim yöntemleridir (2).

- Sıvıdan Çöktürme: Sıvı çözeltide nitrat, klorür ve sülfatlar olarak bulunan metalik tuzlar metalik çözelti veya çökelti metali üretmek için işleme tabi tutulabilirler. Çökeltiden yada çökelti fazı haline getirilen metalik tuzlar toz üretimi için uygun kaynak teşkil ederler. Tuz suda eritilir ve ikinci bileşik yardımı ile çökeltilir.

- Gazdan Çöktürme: Gaz bileşiklerinin oluşturduğu kimyasal tepkimeler sonucu reaktif metallerden ve nano ölçekli partiküllerden tozlar üretilir.

2.Mekanik Yöntemler: Mekanik yöntemlerle ekonomik olarak toz imali için, kimyasal bağları zayıf olan ve kayma sistemi az olan karışık kristalli yapılarda malzemeler ile çok sert ve kırılgan olan metal alaşımları ve seramikler kullanılır (5). Mekanik toz üretim yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

- Mekanik Öğütme: Öğütme ya da tanım itibarı ile sert metal topların çarpması sonucu darbe etkileri altında özellikle gevrek ve kırılgan esaslı malzemelerin ufalanarak toz haline getirilmesi işlemi, toz üretim yöntemleri içerisinde en eski ve en klasik olanıdır Bu şekilde üretilen başlıca metal tozları Al, Cu ve pirinçtir (2).

- Mekanik Alaşımlama (MA); 1966 yılında Amerika'da Inco Paul D. Merica araştırma laboratuarında gaz türbünü uygulamaları için oksitler ve γ^1 çökelekleri ile güçlendirilmiş nikel bazlı alaşım üretmek üzere geliştirilen bir metottur. Bu metot, yüksek enerjili değirmen kullanılarak, kontrollü mikro yapıya sahip kompozit metal tozları üretmek için yapılan bir katı hal işlemidir (13).

3. Elektroliz Teknikleri: Yüksek iletkenliğe sahip metal tozları üretmenin bir başka yöntemi de elektroliz bir hücrenin katot çubuğunda metal tozlarını çöktürmektir (14).

4. Atomizasyon: Günümüzde üretilen metal tozlarının %80'i atomizayon yöntemiyle imal edilmektedir. Atomizasyon bir sıvı metalin 100–150 μm ,den daha az boyutlarda sıvı damlacıkları oluşturacak şekilde parçalanması ve bu parçacıkların ani ve aşırı soğuması ile toz haline gelmesi olarak tanımlanır (2). Atomizasyon yöntemi ile toz üretimi şu yöntemlerle gerçekleştirilmektedir.

- Su Atomizasyon Yöntemi
- Gaz Atomizasyon Yöntemi
- Yağ Atomizasyonu Yöntemi
- Vakum Atomizasyonu Yöntemi

5. Dönen Elektrot Prosesi Yöntemi
6. Eriyik Döndürme Yöntemi

2.4.2. Tozların özellikleri

Çeşitli yöntemlerle üretilen tozların sıkıştırılması, pişirilmesi ve elde edilen malzemelerin mekanik özellikleri, orijinal tozun büyüklüğüne, şekline, yapısına ve kimyasal bileşimine bağlıdır (13). Tozların görünür yoğunluğu, önemli bir parametredir. Görünür yoğunluk tozlardaki boşluk derecesi ve toz şeklinin bir fonksiyonudur. Toz şeklinin karmaşıklaşması ve gözenekliliğin artması görünür yoğunluğu düşürür. Görünür yoğunluğun düşmesi ise presleme aşamasında hacim azalmasına neden olur ve böylece soğuk kaynak miktarının artırır. Böylece yüksek ham mukavemetli parça elde edilmiş olur. Parçanın sinterleme verimi de soğuk kaynak miktarının artmasından dolayı artacaktır. Belirli basınçta elde edilen yoğunluk ve preslenebilirlik de önemli bir toz özelliğidir (15). Taneler küçüldükçe ve şekilleri küreselden uzaklaştıkça görünür yoğunluk azalır (13).

2.4.3. Toz karıştırma ve harmanlama

Metalik tozlar, yağlayıcılar ve isteğe bağlı alaşım elementleri homojen bir karışım elde etmek için karıştırılır. Karışım içerisine genellikle % 0,5–1,5 arası yağlayıcı eklenir. Metalik stearit ve parafin en çok kullanılan yağlayıcılardır. Yağlayıcı kullanmanın ana amacı, toz kütleleri ile takım yüzeyleri ve kalıp duvarları arasındaki sürtünmeyi azaltmak, tozların sıkıştırma esnasında kaymalarını sağlamaktır. Bunlar parçanın tabanından tavanına kadar düzgün bir yoğunluğun oluşmasına yardımcı olur (15).

Grafit tozu preslemede yağlayıcılık görevi ve sinterleme esnasında karbon kaynağı olarak alaşımlandırma fonksiyonu gibi iki işlevi aynı anda yerine getirilebilir. Uygulamaların çoğunda, toz karışım yer çekimi etkisiyle kalıbı doldurur, fazla kısımlar alınır ve tozu sıkıştırmak için pres kapatılır. Toz miktarı için hacim veya ağırlık esasına göre bir başlangıç ölçüsü oluşturulur (16).

Tozlara yağlayıcı katmaksızın kalıp çeperlerinin yağlanması ile de tozlar preslenebilir. Tozlarda yağlayıcı katmanın bir miktar dezavantajları da vardır. İlave edilen yağlayıcılar sinterleme esnasında ayrışacaktır. Ayrışma ürünleri fırında önısıtma esnasında gaz halinde dışarı atılır (17).

2.4.4. Presleme

Toz metalurjisindeki en önemli adım preslemedir. Metal tozların, özel olarak hazırlanmış çelik kalıp içinde basınç etkisiyle blok bir hale getirilir. Presleme işlemi sırasında kullanılan kalıplar basit geometrik şekillerde olabileceği gibi, geometrik sınırlamaların çerçevesinde karmaşıkta olabilir (2). Presleme işlemi için genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik presler kullanılmaktadır (16).

Sıkıştırma işlemi esnasında toz partikülleri önce uygulanan kuvvet yönünde hareket ederler. Toz sıvı gibi akmaz; kalıp yüzeyi ile partiküller arasında sürtünme neticesi bir reaksiyon kuvveti gelişir. Bu kuvvet uygulanan kuvvete eşit bir değere ulaşana kadar sıkışma eksenel yönde devam eder. Daha sonra partiküller yatay yönde hareket ederler. Basınç bir darbe şeklinde uygulanırsa, maksimum yoğunluk zımbanın hemen altında meydana gelir ve zımba ile temas eden yüzeyden itibaren artan mesafe ile birlikte azalır. Bu yüzden darbe şeklinde uygulanan basınç sonucu üniform olmayan bir yoğunluk dağılımı ile sonuçlanır.

Çift aksiyonlu presler ile daha homojen yoğunluğun sağlanması mümkündür. Aynı zamanda bu yöntemle daha kalın ürünlerin kalıplanabilmesi sağlanabilir. Yoğunlaştırma ve sıkıştırma işleminde kenar duvarların sürtünmesi anahtar bir faktör olduğundan presleme ile elde edilen yoğunluk kalıplanan parçanın kalınlığı ve genişliğinin bir fonksiyonudur (16).

2.4.5. Sinterleme

Preslenmiş parçalar kontrollü bir atmosferde ve yüksek sıcaklıkta istenilen nihai özelliklerin elde edilmesi amacıyla ısıl işleme tabi tutulurlar. Amaç makro düzeyde

özelliklerin geliştirilmesidir. Parçacıklar arası mekanik bağlar kimyasal nitelik kazanır (18).

Sinterleme operasyonlarının birçoğu üç aşamalıdır; bunlar yanma ve temizleme, yüksek sıcaklık ve soğutmadır. Yanma ve temizleme işleminde bağlantıyı zayıflatacak yağ ve bağlayıcılar hava ile yakılarak sistemden uzaklaştırılır. Bu bölgede ısıtma hızı düşüktür. Yüksek ısıtma hızları gözeneklerdeki hava ve buharlaşan yağlayıcılardan dolayı yüksek iç basınç oluşturarak parçaların dağılmasına yol açar. Şayet preslenmiş ürünler önemli miktarda buharlaşabilen malzeme ihtiva ediyorsa sinterleme sonrası ürünler gözenekli ve geçirgen bir hale dönüşür (19).

Yüksek sıcaklık sonunda sinterlemenin ana mekanizması olan yüzey ve hacim difüzyonu gerçekleşir (15).

Soğutma işleminde ise ürünler kontrollü bir atmosfer ortamında kontrollü bir şekilde soğutularak oksidasyon ve ısıl şok önlenir (19). Sinterleme sonucunda ürünün mukavemeti, ham mukavemetinin 100 katından daha yüksek değerlere ulaşır.

Sinterleme sırasında kullanılan sinter atmosferleri;

- Hidrojen
- Azot
- Hidrojen- azot karışımı
- Hidrokarbon
- Vakum
- Argon
- Helyum'dur.

Sinterleme sonrası işlemeler; pişirme sırasında boyut değişimini düzeltmeye yarayan kalibrasyon, yüksek yoğunlukta malzeme istendiği zaman dövme, kaynak ve sıvı emdirme işlemleridir.

2.4.6. İnfiltrasyon

Blok içerisindeki birbiri ile bağlantılı gözenekler, ana metalin sinterleme sıcaklığından daha düşük bir ergime sıcaklığına sahip bir alaşımla doldurulur. Mesela, bakır esaslı alaşımlar sinterleme esnasında demir esaslı parçalara sızarlar. İnfiltrasyon işlemi parçaları sızdırmaz yapar ve mekanik özelliklerde artışa sebep olur. Ancak boyut hassaslığı azalır. İnfiltrasyon işlemi bazı ısıl işlemleri kolaylaştırılır. Mesela, birbirine bağlı gözenek kalmadığı için yüzey sertleştirme işleminde sertlik derinliği kontrolü kolaylaşır (15).

2.4.7. Yağ emdirme

Sinterlenmiş parçalara yağ ve diğer metalik olmayan malzemeler emdirilerek korozyona karşı koruma artırılır. Kendi kendine yağlamalı yataklar, sinterlenmiş gözenekli yataklara yağ emdirilmesi sonucu ve sadece T/M yöntemi ile üretilir.

2.4.8. İkinci presleme

İstenilen mekanik ve manyetik özelliklerin sağlanmasında gerekli olan parça yoğunluğunu elde etmek için bir gözenek azaltma işlemi olan ikinci presleme kullanılır. Preslenmiş parçanın 700-800°C arasında ön sinterlenmesi ile yağlayıcılar yanar ve yeniden kristalleşme meydana gelir. Pekleşme ve iç gerilimler kaldırıldığında malzeme sünekliğini tekrar kazanır. İkinci preslemeden sonra parçalar ikinci defa sinterlenir.

2.4.9. Talaşlı imalat

Sinterlenmiş parçaların üretilmesindeki en önemli çekicilik karmaşık şekiller ve dar toleransa sahip parçaların üretilmesi olmasına rağmen, bazı sınırlamalar bulunur. Bundan dolayı frezeleme, delik delme, (presleme doğrultusuna dik delikler), diş açma gibi talaşlı imalat genellikle aynı bileşimdeki döküm-dövme alaşımlarınkinden daha kolaydır (15).

Karmaşık ve büyük T/M parçalar birleştirme ile üretilebilir. Difüzyonla birleştirme, sinter birleştirme ve lazer kaynağı ile birleştirme teknikleri vardır. Üretilen toz metalurjisi parçalara ihtiyaç duyulduğunda, korozyondan korunma kaplama ile gerçekleştirilir (20).

2.5. Toz Metalurjisi Ürünlerinin Özellikleri

Toz metallerin özellikleri boyut, kompozisyon, şekil, pres basıncı, sinterleme sıcaklığı ve benzeri gibi çok sayıda değişkene bağlıdır. Çekme mukavemetleri 70 MPa ile 1250 MPa arasındadır. Çizelge 2.2'de toz metalurjisi ürünlerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Toz metalurjisi ürünlerinin özellikleri (21)

MALZEME	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)	UZAMA (%)
Demir	100–275	2–5
Çelik	230–490	0,5–3,5
Bakır Alaşımlı Çelik	140–614	0,5–7
Isıl İşlemli Çelik	200–1200	1,5–10,5
Bronz	55–124	1–2,5
Prinç	110–270	13–27

2.6.1. T/M ürünü demir esaslı parçaların üretiminde kullanılan tozlar ve bu tozların özellikleri

Demir esaslı T/M ürünleri; demir-grafit, demir–bakır, demir-bakır-grafit toz karışımlarından üretilir (8, 21). Bu ürünler üretilirken değişik metotlarla hazırlanmış tozlar kullanılır. Her toz üretim işleminden, farklı özelliklere sahip toz elde edilir. Toz özellikleri ise direkt olarak; tozların presleme davranışını, sinterleme davranışını ve son ürün özelliklerini etkiler. Toz özellikleri iyi bilindiği ve uygun imalat işlemi seçildiğinde ancak istenilen ürün özellikleri elde edilebilir.

Demir tozlarının üretiminde en çok tercih edilen toz üretim yöntemleri şunlardır:

- Kimyasal yöntemler: Demir oksit cevherlerinin uygun nitelikli redüktiflerle indirgenmesiyle sünger yapılı demir tozları elde edilir. Bu yöntemle elde edilen

demir tozları gayet gözenekli ve sünger yapılıdır. Düzensiz yapılı bu tozlar içerisinde %0,01–0,1 arasında karbon bulunur. Bu tozların tane boyut dağılımı ise 40–425 µm arasındadır (21).

- Elektrokimyasal yöntemler: Elektrolizle elde edilmiş demir tozları ise diğer demir tozları içerisinde en temiz ve yüksek saflıkta olanıdır. Bu tozlar içerisinde empürite miktarı yok denecek kadar az olup düzensiz biçime sahiptirler. Görünür yoğunluk ve yaş mukavemet değerleri iyidir (22).

- Atomizasyon yöntemleri: Demir tozları genellikle su atomizasyon yöntemiyle üretilirler. Bu yöntemle üretilen demir tozlarının saflıkları orta derecelidir. Su atomizasyonu ile üretilen demir tozlarının içerisinde yaklaşık %0,01 karbon bulunur (21). ASTM B243 standardına göre 'karıştırma' terimi iki ya da daha fazla malzemeden oluşan birbirine karıştırılması anlamına gelirken, 'harmanlama' aynı malzemeden oluşan tozların karıştırılması anlamındadır (15).

Demir gibi yumuşak metallerin tozlarının hızlı ve şiddetli karıştırılması deformasyon sertleşmesine neden olur. Bu sertleşme ise tozun sıkışabilirlik özelliğinin düşmesine yol açar. Bu nedenle yumuşak toz karışımlarının hazırlanmasında bu durum göz önünde tutulmalı, hızlı ve şiddetli karıştırmalardan kaçınılmalıdır. Toza ilave edilen yağlayıcılar oluşan bu ısınsın etkisiyle kısmen ergidiklerinden partikül topaklaşması meydana gelir. Topaklaşma ise tozun serbest akma özelliğini bozar (23).

Karıştırma işleminden sonra tozların basınç etkisiyle sıkıştırma yani presleme işlemi yapılır. Demir gibi yumuşak metal tozları nispeten düşük basınçlarda yeterli bir mukavemet kazanabilirken, sert tozlar için daha yüksek basınçlara ihtiyaç duyulur (24). Demir esaslı parçaların preslenmesinde genel olarak, rijit kalıplarda tek yönlü veya çift yönlü presleme, soğuk izostatik presleme (CIP) ve sıcak izostatik presleme (HIP) teknikleri kullanılmaktadır. Bu kalıplarda aranan birçok özellik, rijit kalıplarda preslemeyle elde edilebilir. Rijit kalıplarda preslemenin ticari anlamda ekonomik oluşu, imalatçı firmaları bu yönde kanalize etmektedir.

2.6.2. Demir–grafit blokların sinterlenmesi ve sinterleme şartlarının mekanik özelliklere etkisi

Demir - grafit parçalar demir esaslı T/M ürünleri içerisinde önemli bir yere sahiptirler. Demir esaslı ürünlerin yaklaşık %40-50'sini demir-grafit parçaları oluşturur. Bu parçalara grafit ilavesinin temelde dört önemli nedeni vardır. Bunlar:

- Parçaların mekanik özelliklerini iyileştirmek için
- İşlenebilirlik özelliklerini iyileştirmek için
- Parçaların ölçü toleranslarını muhafaza etmek için
- Sinterleme sırasında sinter atmosferi ile reaksiyona girerek azalan karbon miktarını dengelemek için (11).

Demir-grafit parçaları genellikle 900°C ile 1120°C sıcaklık aralığında sinterlenirler, fakat bazı hallerde 1175°C gibi yüksek sıcaklıklara çıkılabilir. Bu parçaların sinterleme süreleri 5–120 dakika arasında değişebilir.

3. AKIMSIZ NİKEL (AN) KAPLAMA

Akımsız nikel (AN) kaplama, bir elektrik akımı kullanılmaksızın kaplama banyosu içinde nikelin ayrıştırılmasıyla yapılır. Kaplama; hipofosfit, aminobor veya borhidrat bileşikleri vasıtasıyla nikelin otokatalitik kimyasal indirgenmesi sonucu metal yüzeylerinde toplanır (25).

AN kaplamanın dünyada ticari kullanımı 1950'li yıllarda başlamış ve hızla artmıştır. Parlak nikel banyoları daha da mükemmelleştirilmiş, düzeltici tesiri yüksek banyolar keşfedilmiş ve bilhassa kaplamaların fiziksel özellikleri iyileştirilmiştir. Akımsız nikel kaplama birçok uygulama alanına sahiptir. Petrol, kimyasallar, plastikler, optik, baskı, madencilik, uzay ve havacılık, nükleer, otomotiv, elektronik, bilgisayar, tekstil, kâğıt ve gıda alanları sayılabilir (26).

AN kaplama, elektrik akımı kullanmadan nikel iyonlarının otokatalitik kimyasal indirgeme yöntemi ile elde edilerek metal yüzeyine kaplama yöntemidir. Kaplama tekniğindeki farklılık sadece elektrik akımı kullanılmaması değildir. Bu yöntemle elde edilen kaplamada nikel % 88-% 95 (ağırlıkça) oranında olup beraberinde metal olmayan elementleri de yüzeye bağlar. Nikel iyonları ve birlikte sürüklenen fosfor gibi metal olmayan maddelerle birlikte kaplanırken "metal cam" adı verilen amorf tabaka oluşturur. Mikroyapı incelendiğinde tüm metallerde mevcut olan tanelerin ve tane sınırlarının olmadığı görülür. Kaplama dokusu kristal ya da toz dokusunda olmadığından zamanla kristal yapıdaki boşlukların meydana getireceği galvanik hücrelerin oluşmasına imkân vermez. Diğer elektronik yöntemle kaplanmış kaplamalar gibi kendini kurban eden bir kaplama olmayıp, malzemeyi ortamdan tam olarak izole eden bariyer bir kaplamadır. Amorf dokusundan ve pasifliğinden dolayı saf nikel ve krom alaşımları ile karşılaştırıldığında süper korozyon direncine sahiptir (27).

Bir mühendislik işlemi olan akımsız nikel kaplama, mükemmel korozyon ve aşınma direncinden dolayı kullanılır. Ayrıca, lehimlenebilir bir yüzey sağlamak amacıyla alüminyuma ve yağlanabilirlik, parçayı bırakma gibi özellikleri geliştirmek amacıyla

kalıp modellere sıkça uygulanmaktadır (25). Akımsız nikel kaplamaların geniş bir kullanım alanına sahip olmasının diğer bir nedeni de dekoratif amaçlı olmasıdır (28).

3.1. AN Kaplamanın Avantajları

Birçok kaplamanın sağlayamadığı özellikleri bir arada bulundurması AN kaplamayı cazip hale getirmektedir. Sağladığı avantajları sıralamak gerekirse:

1- Mükemmel korozyon ve aşınma direnci,
2- Üniform kaplama kalınlığı,
3- Kaplama sertliğinin çeşitli işlemlerle kontrol edilebilmesi,
4- Lehimlenebilirlik,
5- Yağlayıcılık,
6- Manyetik özellikler,
7- Düşük işçilik maliyeti 'dir (29).

AN kaplama işlemi düşük sıcaklıklarda uygulandığından kaplanan malzemenin özelliklerini olumsuz yönde etkilemez ve metal olmayan malzemeler, özellikle plastikler üzerine kaplama imkânı sağlar (24). Ayrıca kaplama hızı ve kalınlığı banyo sıvısı ile temas eden parçanın bütün yüzeylerinde hemen hemen aynıdır (26).

3.2. AN Kaplamanın Sınırlılıkları

AN kaplamanın avantajlarının yanı sıra sınırlılıkları da vardır. Bunları sıralamak gerekirse:

1- Yüksek kimyasal maliyet,
2- Kırılganlık (Sertliği yüksek kaplamalar da),
3- Nikel-fosfor kaplamaların düşük kaynak kabiliyeti,
4- Önemli miktarda kurşun, kalay, kadminyum ve çinko ihtiva eden parçaların AN kaplamlardan önce bakır kaplanması gereklidir,
5- Elektrolitik metotlarla karşılaştırıldığında düşük kaplama oranıdır (29).

3.3. AN Banyo Bileşimi ve Karakteristikleri

AN; nikel iyonlarının katalitik bir yüzey üzerine, kontrollü kimyasal indirgenmeleri ile üretilir. Kaplama, kaplanmış yüzeylerde de nikeli indirgeyerek kaplama oluşturur ve yüzey, AN çözeltisiyle temas halinde olduğu sürece reaksiyon devam eder. Kaplama bir elektrik akımı olmaksızın uygulama yapıldığından, kaplama kalınlığı, malzemenin yeni çözeltiyle temas halindeki tüm alanında uniformdur.

AN çözeltileri; her biri önemli bir fonksiyonu yerine getiren, farklı kimyasalların karışımıdır. AN çözeltileri şunları içerir:

- Bir nikel kaynağı, genellikle nikel sülfat,
- Nikelin indirgenmesi için elektron sağlayacak bir indirgen,
- Enerji (ısı),
- Reaksiyona uygun boş nikelin kontrolü için kompleks oluşturucular (kenetleyiciler),
- Kaplama sırasında salıverilen hidrojenin neden olduğu pH değişimlerine direnç göstermek için pH ayarlayıcılar,
- Reaksiyon hızının artmasına yardımcı hızlandırıcılar (katalizörler),
- İndirgenmenin kontrolüne yardımcı inhibitörler (stabilizatörler),
- Tepkime yan ürünleri sayılabilir (29).

3.4. AN Kaplama Banyosunda Nikelin Kaynağı

AN kaplama banyolarında nikeli elde etmek için nikel klorür ($NiCl_2$) ve nikel sülfat ($NiSO_4$) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun dışında hidrazin esaslı AN kaplama banyolarında nikel sülfat ve nikel klorürün yanı sıra nikel asetatta kullanılır (25).

3.5. İndirgeyici Kimyasallar

Kaplamanın birçok özelliğinin sağlanmasında indirgeyicilerin önemi büyüktür. AN banyoların hazırlanmasında farklı kimyasal indirgeyiciler kullanılmaktadır. Çizelge

3.1'de AN kaplama banyolarında kullanılan indirgeyici kimyasal ve kimyasal formülleri görülmektedir. Günümüzde sağladığı çeşitli avantajlar nedeniyle sodyum hipofosfit yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. AN için indirgeyici kimyasallar (30).

İndirgeyici Madde	Kimyasal Formülü
Sodyum Hipofosfit	NaH_2
Sodyum Borhidrit	$NaBH_4$
Dimetilamin Borhidrit (DMAB)	$(CH_3)_2NH.BH_3$
Dietilamin Borhidrit (DEAB)	$(C_2H_5)_2NH.BH_3$
Hidrazin	$H_2N.NH_2$

Kaplamada kullanılan indirgeyici kimyasallara bağlı olarak kaplama bileşiminde ve özelliklerinde değişikler meydana gelmektedir.

3.5.1. Sodyum hipofosfit banyoları

Ticari olarak kullanılan akımsız nikelin çoğunluğu, sodyum hipofosfit indirgenmiş çözeltilerde kaplama reaksiyonu gerçekleştirirlir. Bu çözeltilerin bor bileşikleri veya hidrazin ile indirgenmiş çözeltilere olan temel üstünlükleri:

(a) Düşük maliyet,
(b) Daha yüksek kontrol kolaylığı,
(c) Kaplamanın daha iyi korozyon direncidir.

Hipofosfit indirgenmiş akımsız nikel kaplama çözeltilerinde oluşan kimyasal reaksiyonlar için çeşitli reaksiyon mekanizmaları ileri sürülmüştür. Bu tepkime mekanizmalarından en geniş kabul görenler şu denklemlerle ifade edilir:

$$3NaH_2PO_2 + 3H_2O + NiSO_4 \xrightarrow{Isı} 3NaH_2PO_3 + H_2SO_4 + 2H_2 + Ni^0 \quad (3.1)$$

$$(H_2PO_2)^- + H_2O \xrightarrow{Katalizör, Isı} H^- + (HPO_3)^= + 2H_{abs} \quad (3.2)$$

$$Ni^{++} + 2H_{abs} \rightarrow Ni + 2H^+ \quad (3.3)$$

$$2H \rightarrow H_2 \quad (3.4)$$

$$H_2PO_2^- + H_2\,O \xrightarrow{katalitik,ısı} H_2PO_3^- + H_2 \quad (3.5)$$

$$(H_2PO_2)^- + H_{abs} \rightarrow H_2O + OH^- + P \quad (3.6)$$

$$3H_2(PO_2)^- \xrightarrow{katalitik,ısı} (H_2PO_3)^= + H_2O + 2OH^- + 2P \quad (3.7)$$

Denklem 1'de nikel sülfatın ($NiSO_4$), sodyum hipofosfit (NaH_2PO_2) ile indirgenme reaksiyonu görülmektedir. Katalitik bir yüzey ve yeterli enerji olduğu durumda, hipofosfit iyonları, ortofosfata oksitlenir. Dışa verilen hidrojenin bir kısmı katalitik yüzeye emilir (Denklem3.2). Banyo içerisinde bulunan ve +2 değerlikli olan nikel iyonu hidrojenden elektron alarak nötr hale geçer ve nötr nikel yüzeye yapışarak kaplama metalini oluşturur (Denklem3.3). Yine ortamda bulunan hidrojen atomları birleşerek gaz (H2) haline gelerek banyodan uzaklaşır (Denklem3.4). Hipofosfitin büyük kısmı katalitik olarak, ortofosfat ve gaz hidrojene oksitlenir (Denklem3.5). Eşzamanlı olarak, emilen hidrojenin bir kısmı, hipofosfitin az bir miktarını katalitik yüzey üzerinde su, hidroksil iyonu ve fosfora indirger (Denklem3.6). Denklem 7'de ise fosfor oluşumu gözlenmektedir.

İlk akımsız nikel formülasyonları amonyaklı olmakta ve yüksek pH değerinde gerçekleştirilmekteydi. Sonraları, asit çözeltilerinin alkalin çözeltilerine çeşitli üstünlükleri olduğu bulundu. Bunlar arasında;

a- Daha yüksek kaplama oranı,
b- Daha iyi kararlılık,
c- Daha yüksek kontrol kolaylığı
d-Yükseltilmiş kaplama korozyon direnci sayılabilir (25).

Buna göre, çoğu hipofosfit indirgenmiş akımsız nikel çözeltisi 4 ve 5 pH değerleri arasında işletilir. Asidik kaplama çözeltileri bileşenleri Çizelge 3.2'de verilmiştir (30)

Çizelge 3.2. Hipofosfit esaslı asidik AN kaplama banyo kompozisyonları (30)

Kimyasallar	**Miktar (g/L)**								
Nikel klorür	30	26						30	
Nikel sülfat			17	33	20	30	28	21	21
Sodyum hipofosfit	10	24	14	20	24	36	24	24	24
Asetik asit			12						
Amonyum sitrat						15			
Sodyum asetat							17		
Glikolik asit	35					15		30	
Sodyum glikolat					15	15			
Laktik asit		27				5		2	28
Malik asit				18	18	5			
Peopionik asit		2,2							
Siksünik asit(Na-S)				16					
Alkali (pH için)	NaOH	NaOH	NaOH		NaOH	NaOH		NaOH	
Stabilizer (mg/lt)		Pb(2)	MbO_3 (10)	Pb(2)	Pb(1)	MbO_3 (5)	MbO_3 (10)	Pb(1)	Tiyoüre (1)
pH değeri	4-6	4,6	5,2-2,6	4-6	5,2	4,8	4,6	4,5	4,3-4,6
Sıcaklık (^0C)	87-90	93	93-95	85-95	95	90	82-86	95	88-95

3.5.2. Aminobor banyoları

Aminoborların, ticari akımsız nikel kaplama çözeltilerinde kullanımı genelde iki bileşik ile sınırlandırılır:

(a) N-dimetilamin boran $(DMAB) - (CH_3)_2 NHBH_3$ ve

(b) N-dietilamin boran $(DEAB) - (C_2H_5)_2 NHBH_3$

Aminobor indirgenmiş akımsız nikel çözeltileri, genelde 6 ve 9 pH değerleri arasında değişmesine rağmen, geniş pH aralıklarında formüle edilmişlerdir. Bu banyolar için işletme sıcaklıkları 50°C den 80°C'a kadar (120°F'dan 180°F'a) olmakta fakat 30°C (90°F) gibi düşük sıcaklıklarda da kullanılabilmektedirler. Buna göre, aminobor banyoları, birincil uygulama alanları olan plastiklerin ve ametallerin kaplanmasında çok kullanışlıdırlar. Kaplama oranı pH ve sıcaklık ile değişim gösterir fakat genelde 7 ile 12 µm/h (0.3 ile 0.5 mil/h) arasındadır. Bu banyolardan oluşan kaplamanın bor kapasitesi %0.4 ile %0.5 arası değişir.

3.5.3. Sodyum borhidrat banyoları

Borhidrat iyonu, akımsız nikel kaplama için uygun olan en güçlü indirgeyicidir. Sodyum borhidrat tercih edilmesine rağmen herhangi suda çözünür borhidrat kullanılabilir. Asit çözeltileri veya nötr çözeltilerde, borhidrat iyonlarının hidrolizi çok çabuk gerçekleşir. Bununla birlikte, kaplama çözeltisinin pH değeri 12–14 arasında tutulursa nikel borit oluşumu önlenir ve reaksiyon ürünü temel olarak elementel nikeldir. 1 mol sodyum borhidrat, yaklaşık olarak 1 mol nikel indirgeyebildiğinden, 1kg nikelin indirgenmesi için 0.6 kg sodyum borhidrat gerektirmektedir. Borhidrat indirgenmiş akımsız nikelden elde edilen kaplamalar % 3-% 8 bor içerirler.

Nikel hidroksit çökelmesini önlemek için, 12–14 pH arası etkili olan, etilendiamin gibi kompleks oluşturucular kullanılmalıdır. Bununla birlikte, bu gibi güçlü

kompleks oluşturucular kaplama oranını düşürürler. 90-95°C gibi bir işletme sıcaklığında (195-205°F), ticari banyoların kaplama oranları 25-30 µm/h'dur. İndirgeme safhasında, çözelti pH'ı azalır ve bir alkali hidroksitin sabit ilavelerini gerektirir. Banyo pH değerinin 12'nin altına düşmesine izin verildiği halde, kendiliğinden çözelti ayrışımı oluşur. Yüksek pH değerlerinde işletimden dolayı, borhidrat kaplama banyoları alüminyum alt malzemeleri için kullanılamaz (25, 31, 32)

3.5.4. Hidrazin banyoları

Akımsız nikel kaplama üretiminde hidrazin de kullanılmaktadır. Bu banyolar 90-95°C (195-205°F) ve 10-11 pH değerlerinde işletilirler. Kaplama oranları yaklaşık 12 µm/h dur. Bununla birlikte, hidrazinin yüksek sıcaklıklardaki kararsızlığından dolayı, bu banyolar değişken ve zor kontrollü olma eğilimi gösterirler. Hidrazin indirgenmiş çözeltilerden oluşan tabaka %97-%99 nikel olmasına rağmen, metalik görünüşe sahip değildir. Kaplama gevrek ve yüksek gerilimli olmakla beraber, zayıf korozyon direncine sahiptir. Hipofosfit ve bor ile indirgenmiş nikellere benzemeksizin, hidrazin indirgenmiş çözeltiden elde edilen sertlik ısıl işlem ile arttırılamaz. Günümüzde, hidrazin ile indirgenmiş akımsız nikel ticari alanda çok az kullanılmaktadır (25).

3.6. Kompleks Oluşturucular

Akımsız nikel çözeltilerinin kendiliğinden ayrışmasını önlemek ve reaksiyonun sadece katalitik yüzeyde olmasını kontrol etmek için kompleks oluşturucular ilave edilir. Kompleks oluşturucular, reaksiyona hazır haldeki serbest nikel miktarının kontrol edilmesi için eklenen organik asitler veya bunların tuzlarıdır. Bunlar çözeltinin dengelenmesi ve nikel fosfatın çökelmesini geciktirici yönde hareket ederler. Kaplama çözeltisinde dengeyi sağlamanın yanı sıra indirgeyici reaksiyon sonucu oluşan hidrojen iyonlarının artmasıyla pH değerinin hızlı düşmesini engeller. Hidrojenin nötralize edilmesi için ayrıca amonyak, hidroksitler veya karbonatlar periyodik olarak ilave edilmelidirler.

3.7. Hızlandırıcılar

Kompleks oluşturucular kaplama hızını düşürür ve kaplama oranının ekonomik olmayacak kadar yavaş olmasına neden olurlar. Bunun engellenmesi için hızlandırıcı ya da bileşke adı verilen organik katkılar kaplama çözeltisine küçük miktarlarda sıkça ilave edilirler. Hızlandırıcılar, hipofosfit molekülündeki hidrojen ve fosfor atomları arası bağı gevşeterek, molekülün katalitik yüzeye daha kolay emilimini sağlayacak şekilde fonksiyon görürler. Hızlandırıcılar, hipofosfit iyonunu aktif hale getirir ve Denklem–1 ile verilen tepkimeyi hızlandırırlar. Hipofosfit indirgenmiş çözeltilerde en sık kullanılan hızlandırıcı süksinik asittir. Bununla birlikte, diğer karbonik asitler, çözülebilir flüoridler ve bazı çözücüler de kullanılmıştır (25).

3.8. İnhibitörler

Bir akımsız nikel kaplama banyosundaki indirgeme reaksiyonu kontrol edilmelidir. Böylece kaplama, tahmin edilen bir oranda ve sadece kaplanacak olan alanda gerçekleşir. Bunun sağlanması için, stabilizatörler olarak da bilinen inhibitörler ilave edilir. İnhibitörler olmadan, akımsız nikel kaplama çözeltileri, saatler ya da günlerce sadece beklenmedik bir şekilde ayrışmak için işleyebilirler. Ayrışma genelde, çözeltideki koloidal, katı çekirdek vasıtasıyla başlatılır. Bu parçacıklar, ortamda yabancı bir madde (toz ya da patlayıcı madde gibi) bulunmasının sonucu olabileceği gibi, ortofosfatın çözünürlük limitini aşmasıyla da banyoda oluşabilir. Kaynak ne olursa olsun, parçacıkların geniş yüzey alanı indirgenmeyi katalize eder ve bu kendiliğinden hızlanan zincirleme bir reaksiyona ve ayrışmaya öncülük eder. Genellikle bundan hemen önce, arttırılmış hidrojen dönüşümü ve tüm çözelti boyunca görülebilen, düzgün bölünmüş, siyah bir çökeltinin belirmesi gözlenir. Bu çökelti nikelle birlikte, nikel fosfat veya nikel boritten oluşur.

Kendiliğinden ayrışma, çözeltiye çok az miktarlarda katalitik inhibitörler katılmasıyla kontrol edilebilir. Bu inhibitörler, çözeltide bulunan her parçacık tarafından emilir ve bunların yüzeylerinde nikelin indirgenmesini önler.

İnhibitör ilavesinin, kaplama banyosu ve tabakası üzerinde zenginleştirici etkileri kadar zararlı etkileri de olabilir. Küçük miktarlarda, bazı inhibitörler kaplama oranını ve/veya kaplama parlaklığını arttırır, diğerleri, özellikle metaller ve sülfür bileşikleri, iç gerilme, poroziteyi arttırarak sünekliği düşürürler. Dolayısıyla, kaplamanın korozyon ve aşınma direncini azaltırlar (25, 31, 33).

Kullanılan inhibitör miktarı kritik bir noktadır. Yalnızca 1mg/L (4 mg/gal) civarı HS^- iyonu bulunması kaplamayı tamamen durdururken, 0.01 mg/L (0.04 mg/gal) derişimindeki iyon etkili bir inhibitördür.

3.9. Tepkime Yan Ürünleri

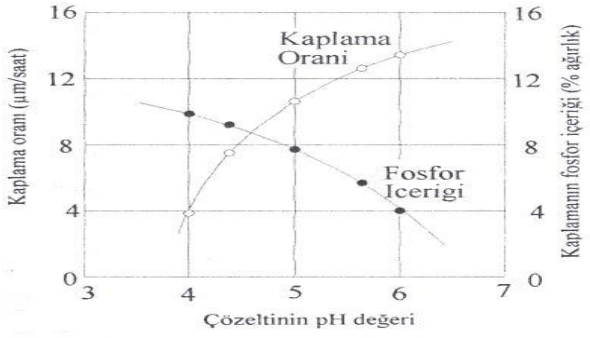
Akımsız nikel kaplama sırasında; indirgenmenin yan ürünleri ortofosfat veya borat ve hidrojen iyonları, esas malzemeden çözünen metaller kadar çözeltide birikir. Bunlar kaplama banyosunun performansını etkileyebilir.

Ortofosfat, Nikelin indirgenmesiyle ortofosfat iyonu (HPO_3^-) çözeltide birikir ve çözelti içerisindeki oranı arttıkça genelde kaplama oranında az miktarda azalma ve kaplamanın fosfor kapasitesinde az miktarda bir artış olur. Ayrıca ortofosfat iyonu, nikel ve fosfor ile kaplanarak, yüksek gerilimli, gözenekli bir kaplama oluşturur.

Boratlar, Borhidratın indirgenmesinden dolayı metaborat iyonunun (BO_2) veya aminoborların indirgenmesinden dolayı borik asitin (H_3BO_3) birikmesi, akımsız nikel kaplama banyoları üzerinde az bir etkiye sahiptir. Aminobor indirgenmiş çözeltileri ile borik asit çözünürlüğünün, kompleks bir aminoboratın oluşumu süresince aminin bulunması vasıtasıyla arttırılması mümkün olabilir.

Hidrojen İyonları (H^+), (indirgenme tepkimesi ile üretilen), banyo pH'ının düşmesine neden olur. Bununla birlikte, üretilen hidrojenin miktarı, kullanılmakta olan indirgene bağlıdır. Banyo pH değeri, hem çözülme işlemi hem de kaplama bileşimi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Bu, 82°C (180°F) daki, 33g/l (4.4 oz/gal)

nikel sülfat ve 20g/l sodyum hipofosfit içeren bir banyodaki değişken çözelti pH değerlerinin sonucu oluşan kaplama oranı ve kaplamanın fosfor kapasitesini gösteren Şekil 3.1'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Çözelti pH'nın kaplama oranına ve kaplamanın fosfor içeriğine etkisi

pH değişimlerinin yavaşlatılması ve işletim koşulları ile kaplama özelliklerinin sabit tutulmasına yardımcı olmak için akımsız nikel çözeltilerinde dengeleyiciler ilave edilir. En sık kullanılan dengeleyiciler arasında asetat, propiyonat ve süksinit tuzları sayılabilir.

3.10. Enerji

Bir akımsız nikel çözeltisindeki enerji ve ısı miktarı, kaplama özelliklerini etkileyen en önemli değişkenlerden biridir. Bir kaplama banyosunun sıcaklığı onun enerji miktarının bir ölçüsüdür.

Sıcaklık, asit hipofosfit indirgenmiş çözeltilerin kaplama oranı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Kaplama oranı, 65°C (150°F) altındaki sıcaklıklarda genelde çok düşüktür. Fakat sıcaklığın yükselmesi ile hızlı bir artış gösterir (27).

3.11. Akımsız Nikel-Fosfor Kaplamaların Özellikleri

Uygulamada, nikel fosfor kaplamalar uniform, sert, nispeten gevrek, yağlı, kolay lehimlenebilir ve yüksek korozyon direncine sahip malzemelerdir. Düşük

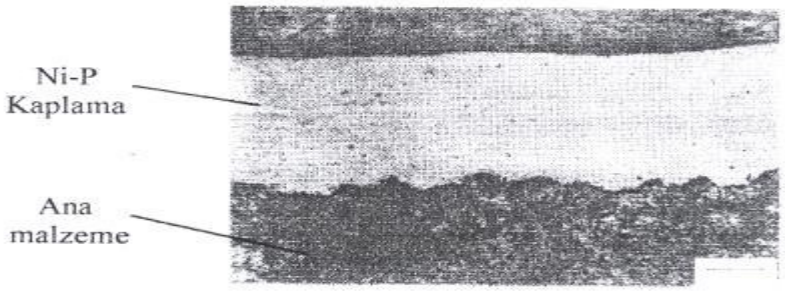
sıcaklıklarda işleme tabi tutularak, yüksek seviyede çökelme dayanımı kazandırılabilirler ve ticari sert krom kaplamalara eşit derecede aşınma direnci gösterirler. Bu özellikler kombinasyonu, kaplamayı birçok zorlu uygulama için çok uygun bir malzeme yapmakta ve daha pahalı malzemeler veya daha az hazır halde olan alaşımlar yerine kullanılmasını mümkün kılmaktadır (29). Çizelge 3.3'de AN kaplamalarda fosforun nikelle yaptığı bileşik oranlarının kaplamanın özelliklerine yaptığı etki gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Akımsız nikel kaplamalarda fosfor oranının kaplama özelliklerine etkisi (34).

Kaplama Özellikleri	**Akımsız Nikel Alaşımı**			
	Düşük Fosforlu P		Orta Fosforlu P	Yüksek Fosforlu P
	%1–5		%5–9,5	%10–13
	pH Değeri			
	8–10	5–7	4,5–5,5	4,5–5,5
Lehimlenebilir	×	×	×	×
Pirinç Kaynağı	×	×	×	×
Basma Gerilmesi	-	-	-	×
Yüksek Sertlik	×	×	-	-
Yüksek Sıcaklık Dayanımı	×	×	×	-
Aşınma Direnci	×	×	-	×
Korozyon Direnci	-	-	×	×
Manyetiklik	×	×	×	-

3.11.1. Akımsız nikel- fosfor kaplamanın yapısı

Hipofosfit indirgenmiş elektriksiz nikel, mühendislik malzemesi olarak kullanılan az sayıdaki metalik camlardan biridir. Kaplama çözeltisinin formülasyonuna bağlı olarak bu ticari kaplamalar, %6-%12 arası nikelde çözünmüş fosfor ve diğer elementlerden %27 kadar içerebilir. Uygulamada, bu kaplamalardan birçoğu amorftur, kristal veya faz yapıları yoktur. Bununla birlikte, devamlılıkları bileşimlerine bağlıdır. %10'dan fazla fosfor ve %0.05'den az yabancı maddelerden içeren kaplamalar tipik olarak süreklidir. Bu kaplamalardan birinin kesiti Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Akımsız nikel-fosfor kaplamanın kesit alanı

Daha düşük fosfor kapasiteli kaplamalar, özellikle ağır metaller veya sülfür bileşikleri ile dengelenmiş banyolar ile elde edilenler, genellikle gözeneklidirler. Bu kaplamalar, çatlaklar ve delikler ile ayrılmış amorf metal sütunlarından meydana gelir. Bu süreksizliklerin varlığı, özellikle süneklik ve korozyon direnci üzerinde olmak üzere, kaplama özellikleri üzerinde ciddi etkilemelere neden olur.

Akımsız nikel-fosfor kaplamalar 220-260°C (430-500°F) üzerindeki sıcaklıklara kadar ısıtılırsa yapısal değişiklikler oluşmaya başlar: Alaşımda, öncelikle nikel fosfat parçacıkları (Ni_3P) oluşur. Daha sonra, 320°C (610°F) üzerindeki sıcaklıklarda kaplama kristalize olmaya ve amorf karakterini kaybetmeye başlar. Isıtılmaya devam edildiğinde, nikel fosfat parçacıkları toplanır ve iki fazlı bir alaşım oluşur. %8'den fazla fosfor içeren kaplamalarda bir nikel fosfat matrisi oluşur, oysa daha az miktarda fosfor içeren saf nikel, kaplamalarda hemen hemen birincil baskın fazdır. Bu değişiklikler, kaplamanın sertlik ve aşınma direncinde hızlı bir artışa neden olur, fakat korozyon direnci ve sünekliğinin azaltılmasına yol açar (25, 35, 36).

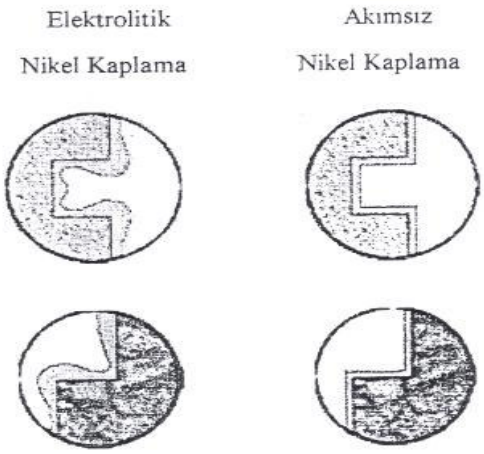
3.11.2. İç gerilim

Akımsız nikel kaplamalarındaki iç gerilim, temel olarak kaplama bileşiminin bir fonksiyonudur. Fosfor miktarı az olan kaplamalarda, kaplama ve ana malzeme arası termal genleşme farkından dolayı 15-45 MPa arası değişen çekme gerilimleri oluşur. Bu kaplamalarda yüksek seviyede gerilim, çatlama ve gözenekliliği artırır.

220°C (430°F) üzeri sıcaklıklardaki ısıl işlemler sırasındaki yapısal değişimler, akımsız nikel kaplamalarda 0.4-0.6 ya varan hacimsel büzülmeye neden olur (37). Hacimsel büzülme, kaplamadaki çekme gerilimini artırırken basma gerilimini azaltmaktadır (25).

3.11.3. Uniformluk

Akımsız nikelin, özellikle yararlı bir özelliği, uniform kaplama kalınlığıdır. Elektro kaplama ile yapılan kaplamalarda, parça şekli ve parçanın anoda yakınlığına bağlı olarak, kalınlık önemli ölçüde değişim gösterebilir. Bu değişimler kaplamanın son performansını etkileyebilir ve kaplama sonrası ek bir son işleme gerek duyulabilir. Akımsız nikel ile parçanın yeni kaplama çözeltisi ile temastaki her kesitinde kaplama oranı ve kaplama kalınlığı aynıdır. Bir parçanın dış tarafında yarık ve kör delikler aynı kaplama miktarına sahiptirler. Şekil 3.3'de AN kaplanma ile elektrolitik kaplama kalınlıklarının karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.3. AN kaplama ile elektrolitik nikel kaplamanın kalınlıklarının karşılaştırılması

3.11.4. Yapışma (yüzeye bağlanma)

Akımsız nikel kaplamaların birçok metale yapışması mükemmeldir. Katalitik metallerle oluşan ilk yer değiştirme reaksiyonu, banyoların ortak kabiliyeti olan mikroskop altı kirleri giderebilme özelliğiyle birlikte, kaplamanın alt malzemeye

mekanik bağlar ile beraber olduğu kadar, metalik bağlarla da bağlanabilmesine olanak sağlar. Düzenli temizlenmekte olan çelik veya alüminyum alt malzemelerine yapılan kaplamanın bağ dayanımının, en az, 300-400MPa olduğu bulunmuştur.

3.11.5. Fiziksel özellikler

Akımsız nikel kaplamaların yoğunluğu, fosfor kapasiteleriyle ters orantılıdır. %10-%11 fosfor içeren kaplamalardan, düşük fosforlu tabakalar için yoğunluk yaklaşık 8.5 gr/cm³'den, 7.75 gr/cm³'e kadar değişim göstermektedir (25, 35, 38, 39). Bu kaplamaların ısıl ve elektriksel özellikleri ayrıca bileşim ile de değişim göstermektedir. AN kaplamalar bakır ve gümüş gibi genel iletkenlere göre çok daha az iletkendirler.

Isıl işlemler fosforun alaşımdan çökelmesini sağlayarak, iletkenliğini 3 veya 4 kat arttırabilirler (25, 40). Ayrıca kaplama çözeltisinin formülasyonu da iletkenliği etkileyebilir. Sodyum asetat ve süksinik asit karıştırılmış banyolarla yapılan testler, elektrik direncini sırasıyla 61 $\mu\Omega$ cm ve 84 $\mu\Omega$ cm düşürmüşlerdir (25).

Ayrıca fosfor içeriğinin de akımsız nikelin ısıl genleşmesi üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Yüksek fosforlu kaplamaların temel genleşme katsayısı, yaklaşık olarak çeliğinkine eşittir.

3.11.6. Mekanik özellikler

Akımsız nikel kaplamaların mekanik özellikleri diğer cam tabakalarınkine benzer özelliktedir. Yüksek mukavemet, sınırlı süneklik ve yüksek bir elastik modülüne sahiplerdir. Ticari kaplamaların nihai çekme mukavemeti 700MPa'lı aşar ve kaplamanın, aşırı kullanım sonunda bile deforme olmadan dayanabilmesini sağlar (41).

Akımsız nikel kaplamaların sünekliği ayrıca bileşim ile de değişim göstermektedir. Yüksek fosfor ve yüksek saflıktaki kaplamalar yaklaşık %1 ile %1.5 (uzama olarak)

arası sünekliğe sahiptir. Bu, birçok mühendislik malzemesinden daha az sünek olmasına rağmen, birçok kaplama uygulaması için yeterli düzeydedir. İnce tabaka filmleri, kırılma olmaksızın kendi etraflarında tamamıyla bükülebilirler. Düşük fosforlu kaplamalarda veya metalik ya da sülfür kalıntıları içeren kaplamalarda, süneklik yüksek oranda azalır ve sıfıra yaklaşabilir (36, 37).

Sertleştirme tipi ısıl işlemler, elektriksiz nikel tabakaların hem mukavemetini hem de sünekliğini azaltırlar. 220°C üzeri sıcaklıklara maruz bırakıldığında, mukavemette %80 ile %90 azalma olurken, süneklik ortadan kalkabilir (42).

3.11.7. Sertlik ve aşınma direnci

Sertlik ve aşınma direnci birçok uygulama için çok önemli özelliklerdir. Kaplamayla beraber, akımsız nikel kaplamaların mikrosertliği yaklaşık 500 ile 600 HV arasıdır ve bu yaklaşık olarak 48 ile 52 HRC 'ye eşit ve birçok sertleştirilmiş alaşım çeliğine eşdeğerdir. Isıl işlem bu alaşımların yaşlanma sertleşmesine neden olur ve birçok ticari sert krom kaplamaya eşdeğer olan 1100HV'ye kadar yüksek sertlik sağlanabilir (25, 36). 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 (27).

3.11.8. Korozyon direnci

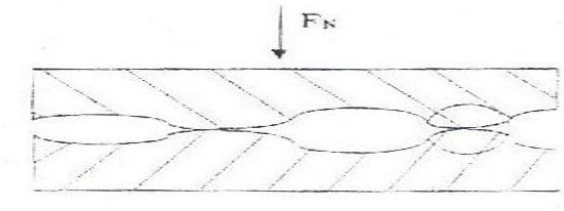
Akımsız nikel, esas malzemeyi çevreden ayırarak koruyan bariyer bir kaplamadır. Amorf yapısı ve pasifliğinden dolayı, kaplamanın korozyon direnci mükemmeldir ve çoğu ortamda, saf nikel veya krom alaşımlarına üstündür. Amorf alaşımlar, tane veya faz sınırlarından bağımsız olmaları ve üzerlerinde oluşup yüzeylerini pasivize eden camsı filmlerden dolayı eşdeğer polikristalin malzemelere göre daha yüksek aşınma direncine sahiptirler (25, 43, 44, 45).

Bir akımsız nikel kaplamanın korozyon direnci, bileşiminin de bir fonksiyonudur. Çoğu kaplama doğal olarak pasiftir ve birçok ortamda aşındırmaya karşı çok dirençlidir. Bununla birlikte, pasiflik dereceleri ve korozyon dirençleri, fosfor kapasiteleri ile önemli derecede etkilidir. %10 dan fazla fosforlu alaşımlar, daha az fosfor içerenlere göre aşındırmaya karşı daha dirençlidirler (40, 44). Bu kaplamalar asidik ortamlarda daha etkilidir.

4. SÜRTÜNME ve AŞINMA

Cisim veya cisimler birbiri ile temasta oldukları cisimlere göre hareketli veya hareketsizdirler. Sürtünme; birbiri ile temas halindeki yüzeylerin ve birbiri üzerinde hareket eden ya da hareket ihtimaline karşı gösterilen direnç olarak tanımlanır (46, 47). DIN50281'e göre sürtünme, "birbirleri üzerinde kayan, yuvarlanan veya kaymalı yuvarlanan elemanların izafi hareketlerini yavaşlatan (dinamik sürtünme) veya engelleyen (statik sürtünme) mekanik direnç "olarak tarif edilir (48). Sürtünme hareketi, kayma, yuvarlanma veya kayma yuvarlanma sürtünmesi şeklinde olabilir. Temel sürtünme konuları şunlardır;

1-Katı cisimler arasındaki sürtünme, görünen temas alanından, yani sürtünme kuvveti sürtünen yüzeyler arasındaki temas alanından bağımsızdır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi sürtünme görülen geometrik yüzeyden bağımsız olup, gerçek temas alanın oluşturan pürüzlere bağlıdır. Gerçek temas alanı, temas halindeki tüm pürüzlerin alanları toplamına eşittir.



Şekil 4.1. Gerçek temas alanı

2-Sürtünme kuvveti, cisimlere gelen dik kuvvet ile doğru orantılıdır ve aralarında sürtünme katsayısı olarak bilinen sabit bir oran mevcuttur. Bu sürtünme katsayısı, sürtünme kuvvetini belirleyen en önemli faktördür.

$$\mu = F_S / F_N$$

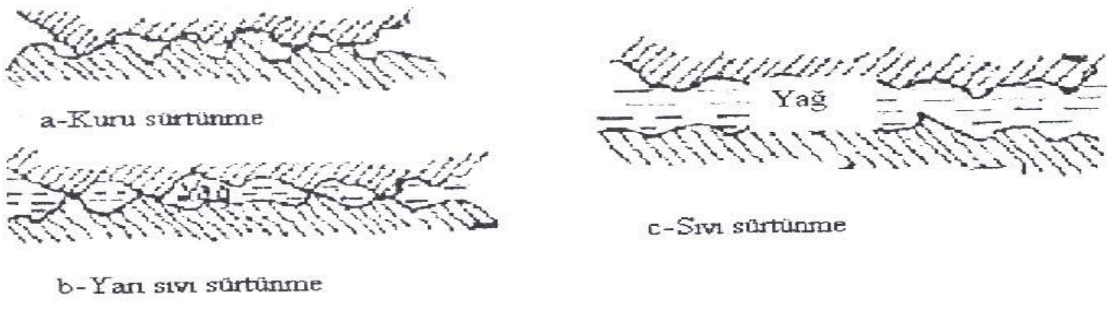
F_N = Temas eden yüzeylerdeki dik kuvvet

F_S = Temas eden yüzeyleri birbiri üzerinde kaymaya başladığı ya da durduğu andaki kuvvettir.

3-Kinetik sürtünme kayma hızından bağımsızdır. Bu kural Coulomb tarafından 1785 yılında açıklanmıştır (48). Sürtünme katsayısı kayma mesafesi ve süresine, sertliğe, temas yüzeyinin ortalama tane büyüklüğüne ve yüzey pürüzlülüğü gibi etkenlere bağlıdır. Bu katsayı ortak kayma mesafesi ve süresi ile belirli bir değere kadar artar ve daha sonra yaklaşık sabit bir değerde devam eder (49). Gerçekte birbiri ile temas eden yüzeyler görünen geometrik yüzeyden daha küçüktür. Bu nedenle sürtünme görünen yüzeyden bağımsız, fakat gerçek temas alanını oluşturan pürüzlere bağlıdır. Temas eden parçalarda oluşan basınç, birbirine değen pürüz noktalarında malzemenin akma sınırını aşabilmekte ve böylece de gerçek değme yüzeylerindeki pürüzler normal kuvvetin etkisi ile sıkışarak deforme olurlar ve bunun sonucunda temas yüzeyleri de büyür. Temas eden yüzeylerin büyümesi ile birbirlerine yaptıkları basınçta o oranda büyür (50).

4.1. Sürtünme Çeşitleri

Sürtünme, kuru, yarı sıvı (sınır) ve sıvı sürtünme olarak üçe ayrılmaktadır. Birbirlerine göre bağıl harekette olan yüzeyler doğrudan temasta olduğu durumdaki sürtünme şekli kuru sürtünme, yağlayıcı madde veya ara eleman yüzeyleri birbirinden ayırıyorsa sıvı, yüzeyler birbirinden tamamen ayrılmıyorsa ise yarı sıvı sürtünme olarak adlandırılır (49,48).



Şekil 4.2. Sürtünme çeşitleri

4.2. Aşınma

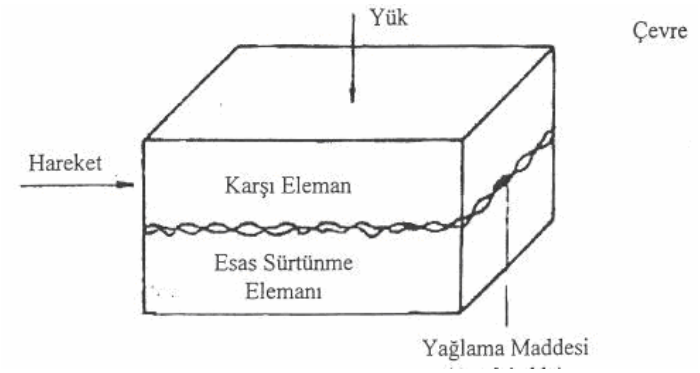
Sürtünme sonucu meydana gelen aşınma; iki cismin birbirlerine göre izafi hareketleri sırasında temas halindeki yüzeylerden mekanik veya kimyasal etkenlerden dolayı istenilmediği halde oluşan malzeme kaybıdır (51). ISO 320'ye göre aşınma, katı cismin yüzey bölgesinden tribolojik zorlama sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır (50). Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında aşınma ve buna bağlı olarak malzeme kaybı kaçınılmazdır. Sanayide korozyon ve yorulmadan sonra 3. büyük sorundur. Tedbir alınmadığı takdirde, büyük maddi kayıplara ve enerji israfına sebep olan bir sorundur. Yapılan araştırmalara göre makine parçalarının bozulma sebebinin % 75'ini sürtünen yüzeylerin aşınması oluşturmaktadır (52).

4.2.1. Tribolojik sistemler

Teknik anlamda aşınma, cisimlerin yüzeylerinde mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopup ayrılması nedeniyle istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir (50). Malzemelerde oluşan yıpranma olayının aşınma sayılabilmesi için aşağıdakilerin oluşması gerekmektedir.

- Mekanik bir etkenin olması
- Sürtünmenin (bağıl hareket) olması
- Yavaş ve devamlı olması
- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi
- İsteğimiz dışında meydana gelmesi

Aşınma; ne bir malzeme ne de bir malzemenin yüzey özelliğidir (53). Aşınma bir sistem özelliğidir ve sistem bütünlüğü içinde ele alınmalıdır. Sürtünme ve aşınma tribolojik sistem içinde incelenmektedir. Triboloji; sürtünme, yağlama ve aşınma kavramlarını kapsamaktadır. Triboloji; birbiri ile temas halindeki iki nesnenin veya elemanın hareket etmesiyle oluşan etkileşimin teknolojisi veya bilimi olarak tanımlanmaktadır (54). Şekil 4.3'de tribolojik sistem şematik olarak ifade edilmiştir.



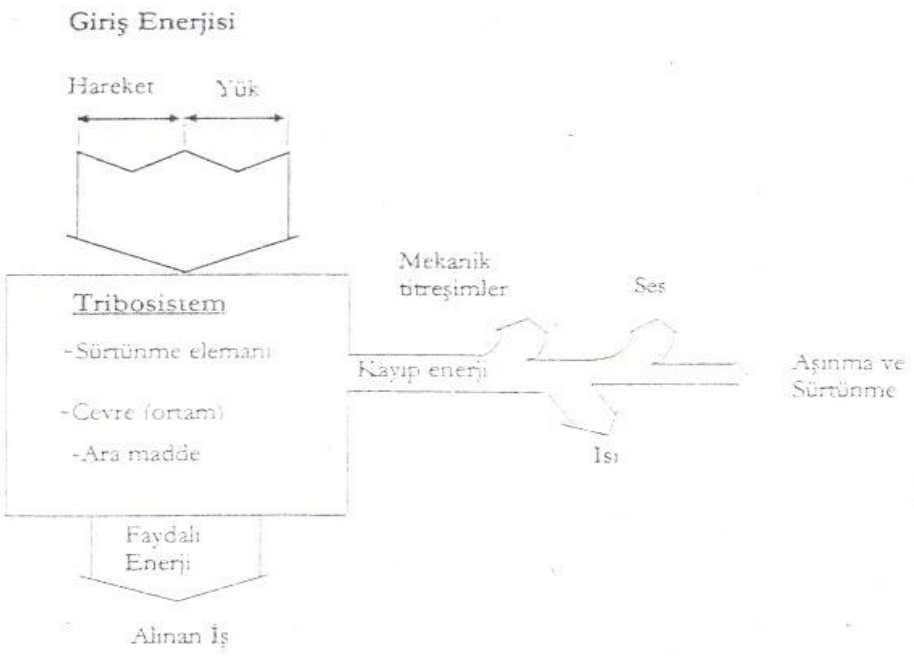
Şekil 4.3. Tribolojik sistem

Buna göre tribolojik sistem;

- Ana Malzeme
- Karşı Malzeme
- Ara Malzeme
- Çevre şartları, yük, hareket elemanlarından meydana gelir (48, 55, 56).

Aşınması incelenen malzeme "ana malzeme", genellikle katı haldedir. Genel olarak sertliği yüksek olan malzemeler, sertliği az olan malzemelere göre daha az aşınmaktadır. Yani sertliği yüksek olan malzemenin aşınma dayanımı daha yüksektir. Karşı malzeme ise katı, sıvı, gaz halde olabilir. Aşınma çeşidine göre ara malzeme ve çevre şartları da sistem elemanları arasında yer alır (50). Çevre şartlarından kaynaklanan sıcaklıkta aşınmayı etkileyen önemli bir faktördür. Sıcaklık artıkça aşınmadan kaynaklı malzeme kayıpları artmaktadır.

Tribolojik sistemde yük ve hareket sisteme giren enerjilerdir. Sistemden çıkan enerji giren enerji miktarı eşit değildir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi giren enerjinin hepsi işe dönüşmez. Siteme giren ve çıkan enerji farkı bize sürtünme enerjisini verir. Sürtünme enerjisi de ses, ısı, aşınma ve mekanik titreşimler olarak birçok enerjiye dönüşür (51).



Şekil 4.4. Tribosisteme giren ve çıkan enerji dağılımları (50).

4.2.2. Aşınmanın temel unsurları

Aşınma olayı; sürtünen cisimlerin birbirlerine göre yaptıkları izafi hareketin şekli ve cinsinden etkilenmektedir. Bunlar; kayma, yuvarlanma, çarpma vb. şeklinde olabilir. Hareketin yönü, alınan yol aşınmayı etkileyen faktörlerdendir. Sürtünen iki elemanın yüzey yapısı da aşınmayı etkilemektedir. Gerçek temas alanı görülen temas alanından daha küçüktür. Çünkü hassas işleme yöntemleri ile işlenen katı malzeme yüzeyleri hiçbir zaman düz değildir (57). Gerçek temas alanı temasta olan pürüzlerin toplam alanıdır. Gerçek temas alanlarının büyüklüğü aşınma ile doğru orantılıdır. Malzemeye uygulanan kuvvetin (yük) şekli, yönü de gerçek temas alanını etkilemektedir (53).

4.3. Aşınma Çeşitleri

Bir tribolojik sistemin elemanları arasındaki zorlamalar neticesinde meydana gelen aşınmanın değişik türleri ve bundan dolayı da farklı sınıflandırılmaları gerekmektedir (54, 56). Aşınmanın miktarına göre hafif ve şiddetli aşınma olarak yapıldığı gibi

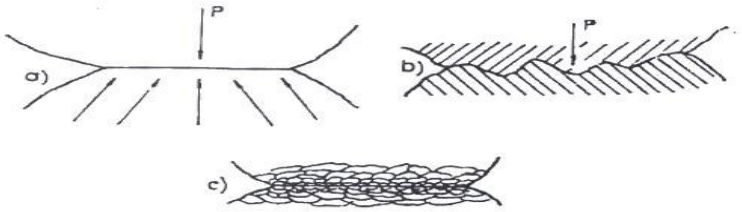
tribolojik sistem, doğrudan etkileyen mekanik, kimyasal ve termal olarak da sınıflandırılabilir (53, 58).

Aşınma, yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, malzeme, ürünün yüzey bitirme işlemi ve sertlik gibi özelliklerin değiştirilmesinden etkilenmektedir (1). Aşınmanın meydana gelmesi ve sürekliliği için gerekli faktörlerin tribolojik sistem içerisinde yaptığı kimyasal ve fiziksel etkilerin iletilmesine göre çok çeşit aşınma mekanizması vardır (50, 59, 60).

1- Adhesiv Aşınma
2- Abrasiv Aşınma
3- Yorulma Aşınması
4- Diffüzyon Aşınması
5- Tribo-oksidasyon Aşınması
6- Erozyon ve Kativitasyon Aşınması
7- Yenme Aşınması

4.3.1. Adhesiv aşınma

Adhesiv aşınma en çok karşılaşılan aşınma türüdür. Bu aşınma, birbirleriyle temas halinde bulunan iki metalin yüzeylerinde oluşan yüksek basıncın etkisiyle sıcaklığın yükselmesi sonucu yüzeylerde bir kaynama meydana gelir. Çalışma sırasında bu kaynaklar birbirinden ayrılırken, metal yüzeylerinden ufak parçacıklar kopar. Bu şekilde meydana gelen aşınma adhesiv aşınmadır (60, 61). Özellikle kayma sürtünmesi yapan, metalografik yapıları birbirine benzeyen iki metalin yüzeyleri arasında adhesiv çekim kuvveti söz konusudur. Temas eden yüzeylerin birbirine yapışma eğilimi her iki malzemenin yüzey atomları arasında mevcut olan çekme kuvvetinden ileri gelir (62). Şekil 4.5.adhesiv aşınmada oluşan kaynak bağı görülmektedir

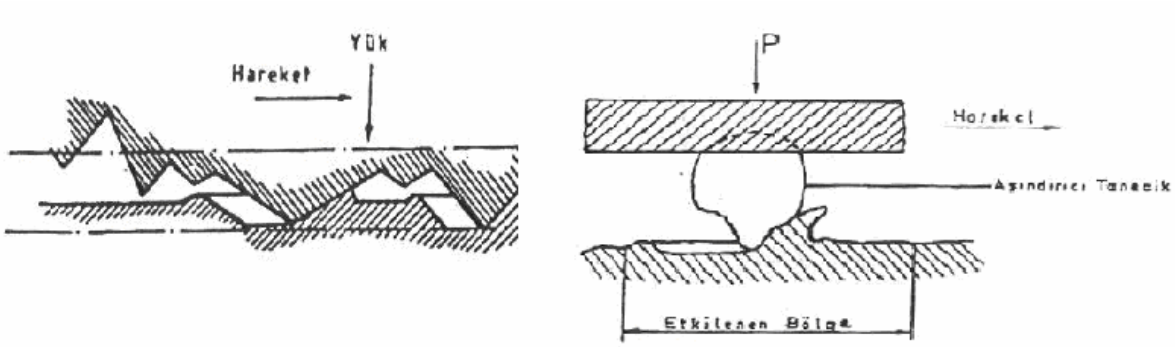


Şekil 4.5. Adhesiv aşınmada oluşan kaynak bağı
a) Temas etme b) Plastik deformasyon c) Kaynama

4.3.2. Abrasiv aşınma

Abrasiv aşınmada; sürtünen malzemeler arasında mevcut olan sert parçacıkların veya malzemelerden sert olanın yüzey pürüzlerinin diğer malzeme yüzeyinde kaynaklama oluşturmadan çizerek küçük parçacıklar kaldırması sonucu oluşan malzeme kaybıdır. Abrasiv aşınma iki elemanlı veya 3 elemanlı olabilir. İki cisimli abrasiv aşınmada dışarıdan gelen toz, talaş veya eş çalışan malzemelerin yüzeyinde oksidasyon sonucu oluşan sert parçacıkların etkisi ile meydana gelir.

Üç elemanlı abrasiv aşınmada iki metal arasına giren sert tanecikler, malzeme yüzeyinde çizikler oluşturarak aşınmayı meydana getirilir. Araya giren tozlar, parçalanan tanecikler, oksit tabakaları ile üç cisimli abrasiv aşınma haline dönüşür (59, 60). Şekil 4.6'da iki ve üç cisimli aşınma mekanizması olarak görülmektedir.



Şekil 4.6. İki ve üç cisimli abrasiv aşınma mekanizması (49)

Abrasiv aşınmada malzeme kaybı; basıncın etkisiyle plastik şekil değiştirme sonucu talaş kaldırmadan çizik oluşumu ya da mikro talaşlar kaldırarak metal parçacıkların ayrılması şeklinde oluşur.

4.3.3. Yorulma aşınması

Metallerde oluşan yorulma olayı, tekrarlanan zorlamalar sonucu zamanla oluşur. Bu tip aşınma, yüzeylerde çok küçük çukurcuklar veya kılcal çatlaklar şeklinde başlar. Sürtünmenin etkisiyle yüzeyde plastik şekil değiştirme dolayısıyla pekleşme oluşur ve malzeme gevrekleşir. Bu elastik ve plastik şekil değiştirmelerin devamında mikro çatlak oluşumu ve çatlakların büyümesi gerçekleşerek parçacıklar kopar. (63). İki tür yorulma aşınması vardır. Bunlardan birincisi, çukurlar çok küçük olup büyüyemezler ve yüzeye yayılmazlar. İkinci tür yorulma aşınmasında ise, çukurlar zamanla büyür ve hasara yol açarlar. Yorulma aşınması, yuvarlanma hareketi yapan rulmanlı yataklarda, dişli çarklarda ve kam mekanizması gibi yüzeylerde oluşur. Yapılan araştırmalar da pullanmayı başlatan çatlağın bazen yüzeyde bazen de yüzeyin altında kendini gösterdiği tespit edilmiştir (50, 60).

4.3.4. Difüzyon aşınması

Birbirleriyle temas halinde bulunan yüzeyler arasında sürtünmeden dolayı bir sıcaklık yükselmesiyle birlikte temas yüzeyinde bulunan ortamların kristal kafes içinde atom yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket ederek difüzyon meydana gelir. Sıcaklığın yükselmesi ve yeterli zaman sonunda sürtünme yüzey bölgesinde atom ve moleküllerin çevreye transfer olması ya da karşı sürtünme elemanına difüzyon esasına dayanır (46, 55, 56, 60). Bu aşınma mekanizması genellikle; fren balatalarında, uzay araçlarında ve takım tezgâhlarında görülür (52).

4.3.5. Tribo-oksidasyon aşınması

Yüzeyler hava ile reaksiyona girerek aşınmanın şiddetli olmasını önleyen oksit ve diğer tabakaları oluşturur. Bununla birlikte özellikle kimyasal maddeler ile temas eden yüzeyler bu maddelerle reaksiyona girerek ince fakat sert tabakalar oluştururlar. Uygulanan yük altında bu sert tabakalar sert parçacıklar düşerek aşınma parçacıklarını meydana getirirler. Temiz kalan temas yüzeylerinde reaksiyon sonucu olarak tekrar bir sert tabaka oluşur, yük altında tekrar kırılır ve olay bu şekilde devam eder (57). Bu olaya tribolojik zorlama esnasında meydana gelmesinden dolayı sürtünme oksidasyonu veya tribo- oksidasyonu denir. Malzemenin bölgesel olarak aşırı zorlanan yerlerinde, fiziksel veya kimyasal değişimler sonucunda meydana gelen aşınmadır. Genelde uzay araçlarının sıcaklığa dayanıklı kabuğunda ve fren balatalarında görülür.

4.3.6. Erozyon ve kavitasyon aşınması

Erozyon; ortam ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozulma olayı olarak tanımlanır (59). Erozyon, içinde katı tanecikler ihtiva eden bir sıvının katı cismin yüzeyine çarpması ile meydana gelir. Erozyon (yıkama veya hidroabrasiv aşınma) akıcı maddelerin oluşturduğu aşınmadır. Sıvı ve gazlar akış sırasında yüzeyden parçacıklar kopması ve girdaplar etkisi ile dalgalı bir yüzeyin meydana gelmesine neden olur. Özellikle doğrusal akımın saptırıldığı ve bozulduğu yerlerde aşınma yüksek olmaktadır (64). Aşındırıcı parçaların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliğe çarpma açısının değeri, erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen en önemli faktörlerdir (63).

Akan sıvılarda, ani basınç düşmesi sonucu gaz kabarcıklar veya boşlukların oluşmasına kavitasyon denir. Sıvı içindeki bu boşluğun darbe şeklinde kapanması sonucunda (gaz kabarcıklarının patlaması) ani bir basınç ve sıcaklık artışı olur ve buna bağlı olarak doğan kimyasal etkileşimlerle malzemede oluşan hasarlar, çukurlaşmalar ve küçük çatlamalarla plastik deformasyonlar şeklinde görülür. Kavitasyon nedeniyle oluşan aşınma, artan malzeme sertliği ile azalmaktadır (57).

Kavitasyon aşınması genellikle su türbinleri, su pompaları, buhar türbinlerinde görülür.

4.3.7. Yenme aşınması

Birbirlerine kuvvetle temas eden iki metal yüzeyi arasında düşük genlikli titreşim hareketinden dolayı; yüzeylerde bulunan pürüzler, yüzeyden koparak aşınmayı meydana getirirler. Yüzeyden kopan parçacıklar oksitlenerek aşındırıcı tane haline gelerek abrasiv aşınma miktarını artırır (59, 60). Yenme aşınması abrasiv aşınmanın şiddetli bir çeşididir. Genellikle iş makinelerinde, sıkı geçmelerde, kama ve cıvata bağlantılarında meydana gelir.

4.4. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneylerinin değerlendirilmesi; aşınma sebebiyle temas eden parçalardan birinde veya her ikisinde de (aşınan-aşındıran) hacim veya ağırlık kaybı esas alınarak yapılır. Aşınma miktarının ölçülmesi sırasında her ölçme sisteminde olduğu gibi yeterli hassasiyet, kolay ve seri uygulanabilirlik, ekonomik ve standartlaştırılmış bir ölçme yapılması istenir. Laboratuar şartlarında yapılan deneylerde, ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model, basit geometrik şekilde üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinde yapılabilir (46). Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

1-Yağlamalı ve yağlamasız ortamda ana ve karşı malzemenin adhesiv (metal-metal) aşınmanın değerlerinin ölçüldüğü deneylerdir.

2-Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma deneylerinin ölçüldüğü deneyler; aşınma diski, aşınma tablası, aşınma kabı, aşınma tekerleği, püskürtme lülesi deneyleridir.

Aşınma ölçüm yöntemleri; ağırlık farkı yolu ile ölçme, kalınlık ölçme metodu, iz değişim metodu, radyo izotop metodudur.

4.4.1. Ağırlık farkı yolu ile ölçme

Ölçme aletinin oldukça hassas olması, ekonomik olması nedeniyle çok sık kullanılan bir yöntemdir. Deney numunelerinin ölçülmesinin fazla zaman almaması, bu yöntemin avantajı, deney numunelerinin yerindeyken ölçüm yapılmaması ise bu yöntemin dezavantajıdır. Ağırlık kaybının ölçülmesi için 10^{-4} veya 10^{-5} hassasiyetindeki teraziler kullanılmaktadır.

Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünmeye göre, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı, (gr/km) veya (mg/m) olarak ifade edilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesap edilecekse (gr/cm^2) gibi bir birimle ifade edilir. Bu tanımlara göre; en çok kullanılan ağırlık kaybı ölçme metodunda kullanılan bağıntı şudur (46).

$Wa = \frac{\Delta G}{dMs}$ ($mm^3.N^{-1}.m^{-1}$) Burada;

Wa= Aşınma oranı($mm^3.N^{-1}.m^{-1}$)

ΔG=Ağırlık kaybı (mg) S = Kayma Mesafesi(m)

M = Yükleme Ağırlığı (N) d = Aşınan malzemenin Yoğunluğu (g/ cm^3) olarak verilmiştir. Aşınma oranının ters değeri aşınma direnci alarak ifade edilir.

Wr =1/Wa ($N.m./mm^{-3}$)

4.4.2. Kalınlık farkı metodu

Aşınma sırasında meydana gelen boyut değişiminin ölçülmesi; başlangıç değeri ile karşılaştırması suretiyle tespit edilir. Kalınlık olarak tespit edilen değerden yola çıkılarak, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık hassas ölçme aletleri ile ± 1µm duyarlılıkta olmalıdır.

4.4.3. İz değişim yöntemi

Sürtünen yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile geometrisi belirli bir iz oluşur. Deney boyunca karakteristik bir boyutunun değişimi ölçülür. Uygulamalarda en çok Vickers veya Brinell sertlik ölçme aletleri kullanılır.

4.4.4. Radyo-izotop ölçme metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi yöntemin avantajlarıdır. Ekonomik olmaması sebebiyle ancak özel amaçlarla kullanılabilir (52).

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Toz Metal Numunelerin Hazırlanması

Numuneler, Höganas ASC 100.29 ticari demir tozu ile hazırlanmıştır. ASC 100.29 demir tozunun önemli özelliği yüksek saflık ve sıkıştırılabilirlik oranına sahip atomize demir tozu olmasıdır. Genellikle yüksek yoğunluklu ve manyetik parça üretiminde kullanılmaktadır (65). Çizelge 5.1'de ASC 100.29 atomize demir tozunun fiziksel özellikleri verilmiştir.

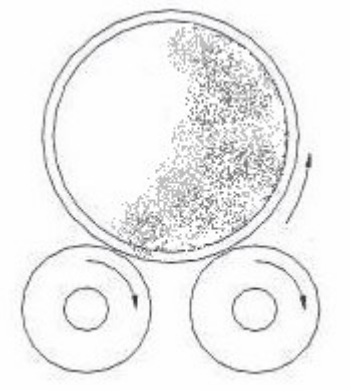
Çizelge 5.1. ASC 100.29 atomize demir tozunun fiziksel özellikleri

Yaklaşık partikül boyut oranı (µm)	20–180
Görünür yoğunluk (g/cm^3)	2,96
Akış hızı (50 g/s)	24
Karbon (%)	0,002

Numuneler hazırlanırken demir tozunun içine bağlayıcı olarak ağırlıkça % 0,5 oranında grafit eklenmiştir. Grafitin bir diğer özelliği de toz içerisinde yağlayıcı etki göstermektedir.

5.1.1. Tozların karıştırılması

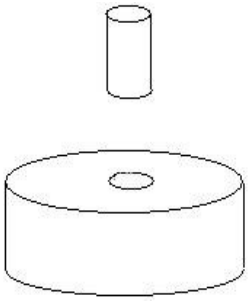
Demir ve grafit tozları 0,0001 g hassasiyetinde tartıldıktan sonra silindirik cam kap içerisine alındı. 1000 g demir tozu içerisine 5 g grafit ilave edildi. Tozlar silindir tahrikli karıştırıcıda 45 dakika süreyle 175 dev/dak hızla döndürülerek karıştırıldı (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Tozların karıştırılmasında kullanılan karıştırıcı

5.1.2. Toz karışımının preslenmesi

Presleme işlemi için 60 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 5.2.). Hazırlanan toz karışımı, Şekil 5.3'te görülen silindirik kalıpta, tek yönlü olarak preslendi.



Şekil 5.3. Tozların preslenmesinde kullanılan kalıbın şematik gösterimi

Farklı yoğunluk oranı elde etmek için aynı toz miktarında 127 MPa, 382 MPa, 1910 MPa olmak üzere 3 farklı basınç uygulandı. Her yoğunluk oranında 10 numuneden oluşan çapları ve yükseklikleri 10 mm olan silindirik 30 numune hazırlandı.

Her aşamada numune yoğunluklarının birbirine yakın değerde hazırlanması önemli olduğundan, her numune için kullanılan toz miktarının eşit elde edilmesinde hassas ölçü kabı kullanılmıştır. Preslenen numunelerin boyutları 0,01 mm ve ağırlıkları

0,0001 g hassasiyetle belirlenerek ham yoğunlukları tespit edildi. Numunelerin yoğunluk oranları aşağıdaki şekilde hesaplandı.

d= M/V (Formül1)

d= Yoğunluk M= Kütle V= Hacim

% YO= (d×100)/7,86 (Formül2)

YO= Yoğunluk Oranı

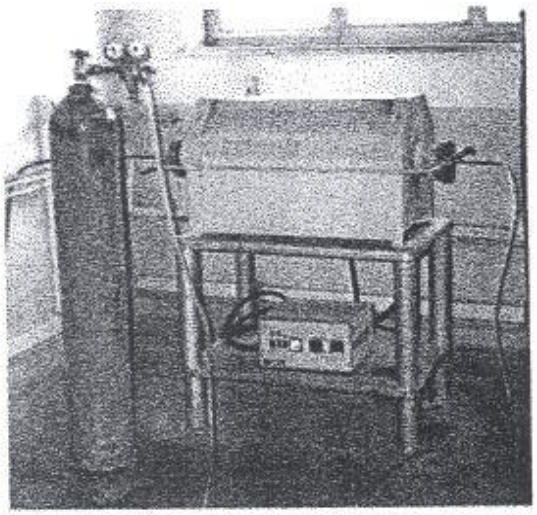
% GO= 100-YO (Formül 3)

GO= Gözeneklilik Oranı

7,86 = Sabit sayı (Demirin Özkütlesi)

5.1.3. Toz blokların sinterlenmesi

Numunelerin sinterlenmesi için yatay eksenli laboratuar tipi maksimum 1400 °C sıcaklık kapasiteli ve atmosfer kontrollü fırın kullanıldı. Sinterleme için kullanılan fırın Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Resim 5.1. Sinter fırını

Numuneler akan argon atmosferinde 5°C/dak hızla 1100 °C'ye kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta 45 dakika sinterlendi. Daha sonra aynı soğuma hızı ve atmosfer altında oda sıcaklığına kadar soğutuldu.

5.2. Numunelerin Akımsız Nikel ile Kaplanması

Kaplama çözeltisinin seçiminde litaratür kaynaklarından elde edilen çözeltiler üzerinde deneme yapıldı. Kaplama kalitesi ve uygunluğu açısından asidik akımsız nikel kaplama seçildi. Çalışmamızda hipofosfit oranının kaplama miktarına ve aşınma dayanımına etkisini tespit etmek için farklı 4 banyo bileşimi hazırlandı ve numuneler 1 saat süreyle kaplama işlemine tabi tutuldu. Çizelge 5.2'de asidik akımsız nikel kaplama banyosu ve 4 farklı hipofosfit oranlarıyla hazırlanan banyo bileşimleri ve çalışma parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Aşınma numuneleri için hazırlanan asidik akımsız nikel kaplama banyoların çalışma parametreleri

Banyo 1	Nikel Klorür	23,8 g/l
	Sodyum Hipofosfit	35 g/l
	Asetik Asit	34,4 g/l
	Sodyum Hidroksit	pH için
	pH	5
	Sıcaklık	80 °C
Banyo 2	Nikel Klorür	23,8 g/l
	Sodyum Hipofosfit	29,7 g/l
	Asetik Asit	34,4 g/l
	Sodyum Hidroksit	pH için
	pH	5
	Sıcaklık	80 °C
Banyo 3	Nikel Klorür	23,8 g/l
	Sodyum Hipofosfit	25 g/l
	Asetik Asit	34,4 g/l
	Sodyum Hidroksit	pH için
	pH	5
	Sıcaklık	80 °C
Banyo 4	Nikel Klorür	23,8 g/l
	Sodyum Hipofosfit	20 g/l
	Asetik Asit	34,4 g/l
	Sodyum Hidroksit	pH için
	pH	5
	Sıcaklık	80 °C

5.2.1. Kaplama işlemi öncesi yüzey işlemleri

Kaplama işlemi öncesi kaplanacak yüzeyin durumu, kaplama kalitesine etki eden en önemli faktörlerden biridir. Kaplama sırasında reaksiyonun sorunsuz gerçekleşmesi için kaplanacak malzeme yüzeyinde kaplamanın yapışmasını ve çözeltinin yüzeyle temasını önleyerek reaksiyonun meydana gelmesine engel olabilecek kalıntıların giderilmesi gerekmektedir.

Aşınma deneyleri için hazırlanan numuneler sinterleme sonrası yüzeydeki var olan kir ve kalıntıların giderilmesi için mekanik temizleme işlemine tabi tutuldu. Numuneler telli polisaj makinesi (RPM 3600) kullanılarak kir ve kalıntılar temizlendi. Telli polisaj işleminden sonra 220 numara granür (demir) emdirilmiş keçe kullanılarak numuneler parlatıldı. Bu işlemin ardından numune yüzeylerinde mevcut olabilecek yağ ve diğer kalıntıların giderilmesi amacıyla numuneler metanolle yıkandıktan sonra saf suda yıkanıp kurutuldu.

Kaplama işlemi ile kaplanan malzeme miktarının tespiti amacıyla kaplama öncesi ağırlıkları 0,0001 g hassasiyetle tartıldı. Numunelerin kaplama banyosunda daldırılarak kaplanmasını kolaylaştırmak amacıyla tüm numuneler telle bağlandı.

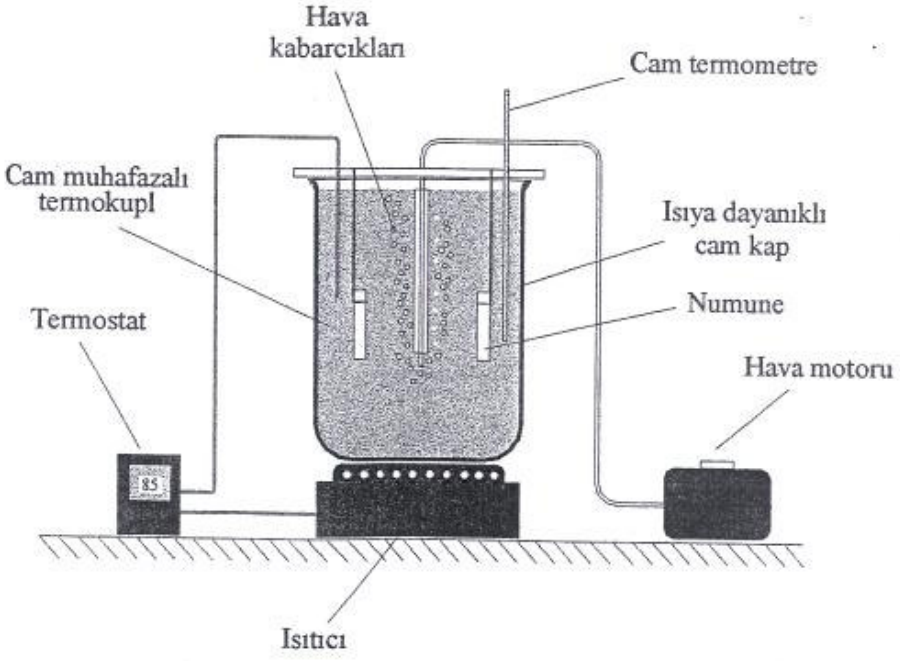
5.2.2. Asidik akımsız nikel kaplama çözeltilerinin hazırlanması

Kaplama banyo çözeltisinin hazırlanmasında kullanılan bütün kimyasallar ticari saflıktaki kimyasallardır. Kimyasallar 0,0001 g hassasiyet ile tartılarak saf su içerisine ilave edildi. Tüm kimyasallar çözününceye kadar karıştırıldı. Karıştırma işleminin ardından pH değerini ayarlama amacıyla uygun miktarda pH ayarlayıcı madde ilave edildi. Karışım içerisine pH ayarlayıcı olarak saf suda çözünmüş %10'luk sodyum hidroksit çözeltisi ilave edildi. Her farklı hipofosfit oranlarında aynı işlem basamaklarıyla kaplama banyoları hazırlandı.

5.2.3. Akımsız nikel kaplama deney düzeneği

Deney düzeneği hazırlanırken, ticari alanlardaki uygulama düzenekleri ve kaplama şartları göz önünde bulundurulmuştur. Özellikle ısıtma sistemi, sıcaklığın eşit dağılımını sağlayacak, kimyasal reaksiyona girmeyecek deney düzenek elemanlarından oluşması gerekmektedir.

Akımsız nikel kaplama için hazırlanan düzenekte 2000 ml kapasiteli ısıya dayanaklı cam kap kullanıldı. Cam kap içerisindeki çözeltiyi ısıtmak için gerekli ısıtma tertibatı kimyasaldan bağımsız olarak düzenlenmiş olup 150 °C sıcaklıkta çalışabilecek ve ±1°C sıcaklık hassasiyeti sağlayan termostat kullanıldı. Kaplama deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

Numunelerin sürekli taze çözelti ile temasını sağlamak ve indirgeme reaksiyonu sırasında çıkan ve yüzeyde toplanan hidrojen gaz kabarcıklarının uzaklaştırılması için karıştırıcı kullanıldı.

Akımsız nikel kaplama işleminde kaplama özellikleri üzerinde büyük etkisi olan pH değerinin kontrolünü sağlamak için Pehanon pH kâğıtları kullanıldı. Asidik AN çözeltisinin pH değerinin 5 pH sınırı içinde tutulması için her 5 dakikada çözeltinin pH değerinin ölçümü yapıldı.

5.2.4. Numunelerin asidik akımsız nikel kaplanması

Farklı gözeneklilikte hazırlanmış numuneler akımsız nikel kaplamanın aşınma dayanımına etkisini tespit etmek amacıyla kaplama işlemine tabi tutuldu. Kaplama işlemi için her biri farklı çalışma parametrelerine sahip 4 kaplama banyosu hazırlandı. Hazırlanan akımsız nikel kaplamaların çalışma parametreleri Çizelge 5. 3'de verildi.

Kaplama işlemi boyunca 3 parametre sabit tutulmuştur. Birincisi kaplama banyo sıcaklığıdır. Sıcaklığın kaplama boyunca değişken olması kaplama çözeltisinde bozunma, istenilen kaplama kalınlığının ve kaplamanın parlaklığının elde edilmesini olumsuz etkiler. Bir diğer sabit olması gereken parametre ise pH değeridir. Reaksiyon sırasında nikelin indirgenmesiyle hidrojen (H^+) açığa çıkmaktadır. Bu nedenle kaplamanın pH değeri düşer. pH değerinin kontrolü için kaplama işlemi boyunca her 5 dakikada bir pH kontrolü yapılarak gerektiğinde banyo sıcaklığı etkilenmeden az miktarlarda saf suda çözünmüş sodyum hidroksit ($NaOH^-$) çözeltisi katıldı.

Kaplamayı etkileyen bir diğer parametrede çözeltinin tazeliğidir. Kaplama işlemi sırasında kaplama çözeltisi zamanla azalmaktadır. Buharlaşan çözeltiye ilave yapılarak tazeliği ve etkinliği korunmaya çalışıldı. Ayrıca kaplama işlemi sırasında oluşan reaksiyon ürünleri sonucunda kaplama çözeltisinin bileşiminde bozunma oluşabilmektedir. Bu yüzden her defasında yeni kaplama çözeltisi hazırlanarak kaplama yapıldı.

Her kaplama banyosunda aynı gözeneklilik oranına sahip 2'şer aşınma numunesi 1 saat kaplama işlemine tabi tutuldu. Kaplamadan önce ve kaplamadan sonra

numuneler 0,0001 g hassasiyetteki terazide tartılarak kaplanan malzeme miktarı tespit edildi.

5.3. Aşınma Deneyleri

AN kaplamanın ve hipofosfit miktarının T/M parçaların aşınma özelliklerine olan etkisinin anlaşılabilmesi amacıyla farklı yoğunluktaki kaplanan ve kaplanmayan numuneler aynı yük ve mesafede aşınma deneyine tabi tutuldu. Aşınma deneyi için G.Ü.T.E.F. Döküm-Model Anabilim Dalı'da bulunan aşınma cihazı kullanıldı.

Aşınma dayanımının ölçülebilmesi için, dönen çelik diskler üzerinde adhesiv aşınma deneyleri yapıldı. Aşınmadan önce numuneler 0,0001 g hassasiyetteki terazide tartıldı. Numuneler için hazırlanan tutucu aparat pense takılarak disk üzerine paralel temas sağlandı. Diskleri el yağı ve kirlerden arındırarak disk ile numune arasında yağlanma etkisinin oluşmasını önlemek amacıyla, diskler deney öncesi alkolle temizlendi.

Deneyler 20 N'luk sabit yük kullanılarak yapıldı. Her numunenin 50 m'lik mesafe sonundaki malzeme kaybı ölçülerek toplam 350 m mesafe boyunca aşınma deneyine tabi tutuldu. Aşınma deneyleri aynı parametrelere sahip en az 2'şer numune üzerinde tekrarlandı.

5.3.1. Aşınma mesafesi ölçümü

Aşınma işleminde uygulanan her deney disk üzerinde farklı iz oluşturmaktadır. Deneyler sabit kayma hızında yapıldığı için her izde çap değişmektedir. Çevresel hızdan dolayı kayma hızı da değişecektir. Bu yüzden disk üzerindeki numunelerin temas ettikleri izlere göre devir sayıları da değişmektedir. Her diskte 5 deney yapılabilmektedir. Buna göre her iz çapı ve devir sayıları Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Disk üzerindeki izler ve devir sayıları

İz numarası	İz çapı (mm)	Devir sayıları(dev/dak)
1	50	35,3
2	70	25,3
3	90	19,7
4	110	16,2
5	130	13,7

5.4. Kaplama Kesitlerinin Mikroskobik İncelenmesi

Farklı kaplama banyolarında kaplanan numuneler aşınma deneylerinden sonra sıcak gömme yapıldı. Ardından SİC zımpara kâğıdı kullanılarak sırasıyla 400, 600, 800 ve 1200 numaraya kadar zımparalandı. Daha sonra elmas pasta (3 µm) kullanılarak yüzeyleri parlatıldı. Nitrik asit 5 ml, etonol 95 ml çözeltisiyle dağlanarak optik mikroskopta kaplama kesitlerinin fotoğrafları çekildi.

5.5. Mikrosertlik ölçümleri

Mikrosertlik ölçümleri Türk Traktör Fabrikasının Metalografi Laboratuarında yapıldı. Mikrosertlik ölçümü için Instron marka mikrosertlik ölçüm cihazı kullanıldı. Numunelerin kaplama, kaplama ve malzeme sınır bölgesi ve ana malzeme mikrosertlikleri 10 g'lık yük ile ölçüldü.

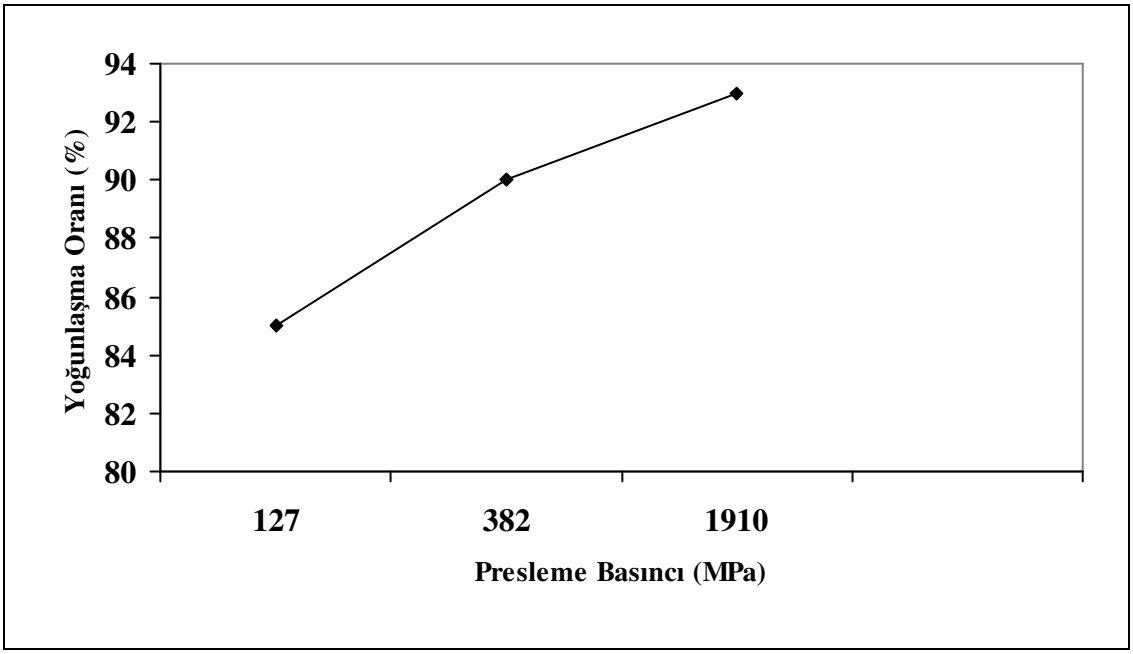
6. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

6.1. Aşınma Numunelerinin Gözeneklilik Oranları

Uygulanan basınç miktarlarına göre numunelerin gözeneklilik ve yoğunluk oranları Çizelge 6.1. ve Şekil 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Akımsız nikel kaplama ve aşınma deney numunelerinin yoğunlukları

Numune No	Presleme Basıncı (MPa)	Yoğunluk (%)	Gözeneklilik Oranı(%)	Ortalama Gözeneklilik
1	1910	93,16	6, 84	≈ 6
2	1910	93,12	6,88	
3	1910	92,94	7,06	
4	1910	93,47	6,53	
5	1910	93,89	6,11	
6	1910	93,11	6,89	
7	1910	92,93	7,07	
8	1910	93,11	6,89	
9	1910	92,95	7,05	
10	1910	93,11	6,89	
11	382	90,84	9,16	≈ 9
12	382	90,98	9,02	
13	382	90,80	9,20	
14	382	90,78	9,22	
15	382	90,60	9,40	
16	382	90,82	9,18	
17	382	90,45	9,55	
18	382	90,50	9,50	
19	382	90,68	9,32	
20	382	90,60	9,40	
21	127	84,90	15,10	≈ 15
22	127	85,13	14,87	
23	127	85,18	14,82	
24	127	84,92	15,08	
25	127	85,04	14,96	
26	127	84,98	15,02	
27	127	84,95	15,05	
28	127	85,02	14,98	
29	127	84,97	15,03	
30	127	84,50	15.50	



Şekil 6.1. Aşınma deney numunelerinde presleme basıncının yoğunlaşma oranına etkisi.

Şekil ve çizelgede görüldüğü üzere 127 MPa basınçta % 85 yoğunluk oranı elde edilirken bu oran 382 MPa'da % 91'e çıkmakta ve 1910 MPa'da ise ancak % 93'e çıkabilmektedir. Uygulanan basınç çok fazla artmasına rağmen yoğunluk artışı sınırlı kalmaktadır. Bu sonuç pek çok uygulamada normal olarak ulaşılan bir değerdir.

Tozlarda yoğunluk artışı akma ve sürtünme sonucu oluşan deformasyon mekanizması ile olmaktadır. Soğuk olarak sıkıştırılan tozlarda uygulanan basınç sonucu deformasyon sertleşmesi oluşmakta ve akma gerilmesi yükselmektedir. Dolayısıyla basınç çok fazla artırılsa bile yoğunluk belli bir oranı geçmemektedir. Yoğunluğu daha fazla artırmak ve tam yoğunluk elde edebilmek için sıcak presleme veya sıcak izostatik presleme gibi işlemler yapılmalıdır.

6.2. Kaplama Miktarı

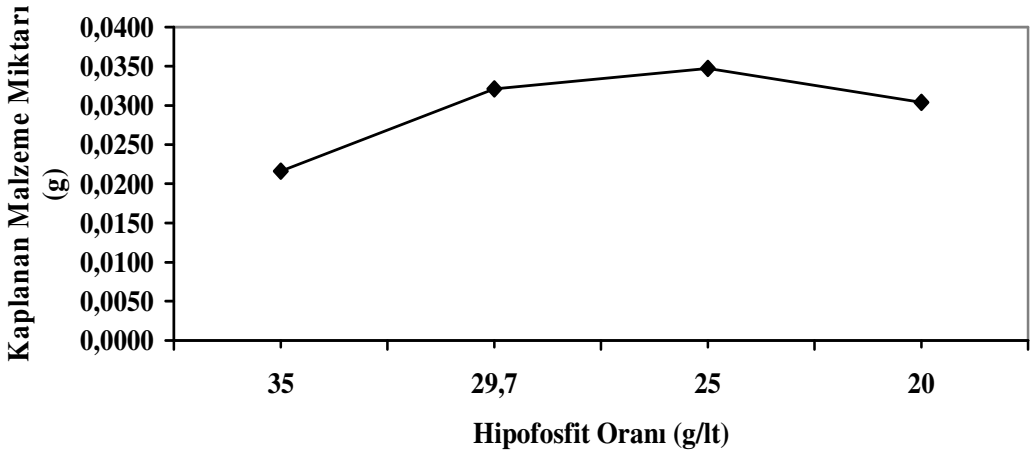
6.2.1. Sodyum hipofosfit oranının kaplama miktarına etkisi

% 6 gözeneklilik oranına sahip numunelerde kaplanan malzeme miktarı Çizelge 6.2'de ve Şekil 6.2'de verilmiştir. % 6 gözeneklilik oranındaki numunelerde 35 g/lt

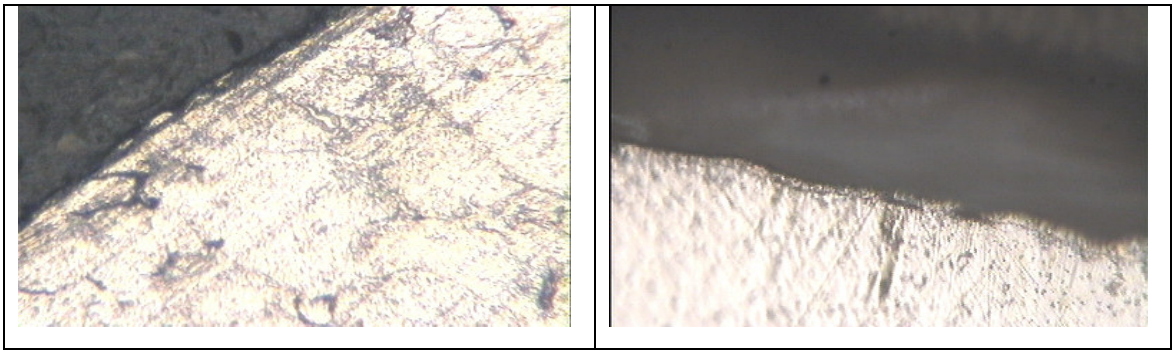
hipofosfit oranındaki kaplamanın mikro yapısı Şekil 6.3., 29,7 g/lt hipofosfit oranındaki kaplamanın mikro yapısı Şekil 6.4., 25 g/lt hipofosfit oranındaki kaplamanın mikro yapısı Şekil 6.5. ve 20 g/lt hipofosfit oranındaki kaplamanın mikro yapısı Şekil 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.2. % 6 Gözenekli numunelerin kaplama miktarları

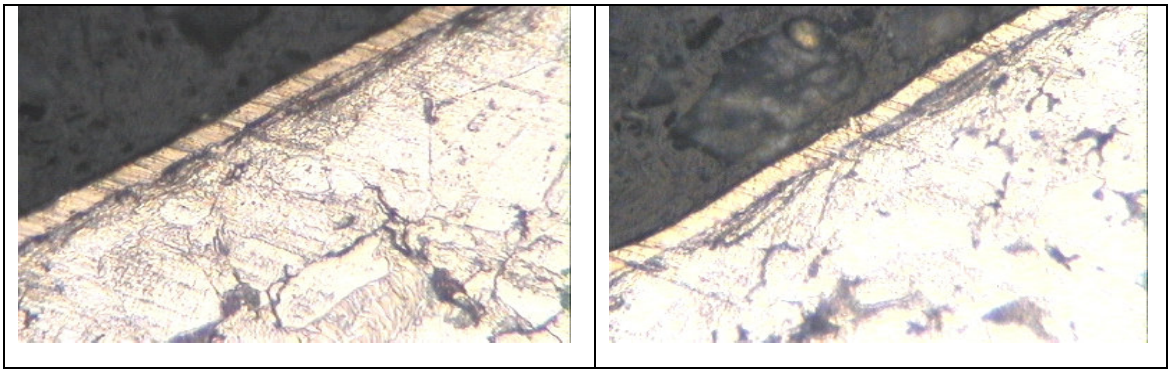
% 6 Gözenekli Numunelerin Kaplama Miktarı				
Kaplamadaki Hipofosfit Miktarı (g/lt)	**Numune No**	**Kaplamadan Önce (g)**	**Kaplamadan Sonra (g)**	**Ortalama Kaplama Miktarı (g)**
35	3	6,8740	6,8959	0,0216
	4	6,8757	6,8970	
29,7	1	6,8514	6,8831	0,0321
	2	6,8325	6,8650	
25	5	6,8710	6,9060	0,0347
	6	6,8736	6,9080	
20	7	6,5221	6,5524	0,0304
	8	6,8878	6,9183	



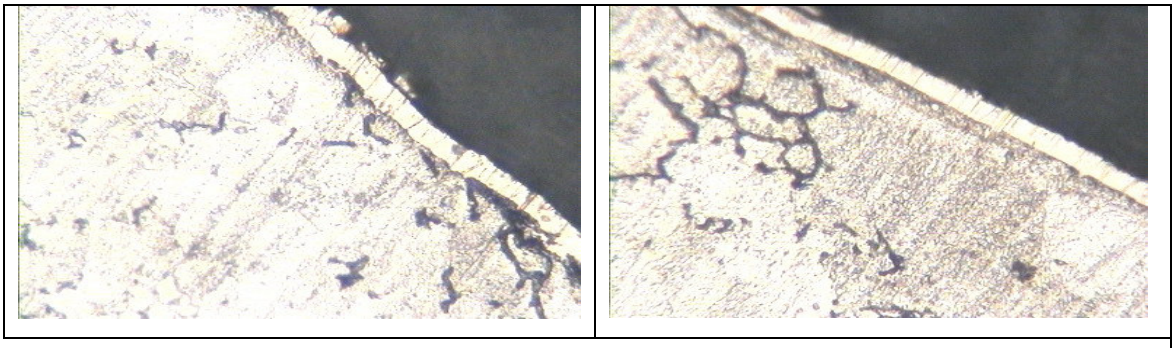
Şekil 6.2. Hipofosfit oranının kaplanan malzeme miktarına etkisi (%6 gözeneklilik)



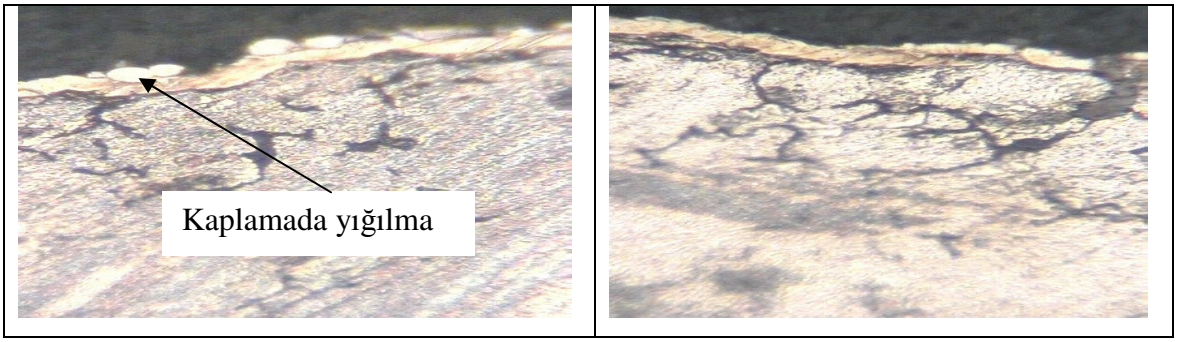
Resim 6.1. %6 Gözeneklilik 35 g/lt hipofosfit miktarı ×200 büyütme



Resim 6.2. %6 Gözeneklilik 29,7 g/lt hipofosfit miktarı ×200 büyütme



Resim 6.3. %6 Gözeneklilik 25 g/lt hipofosfit miktarı × 200 büyütme

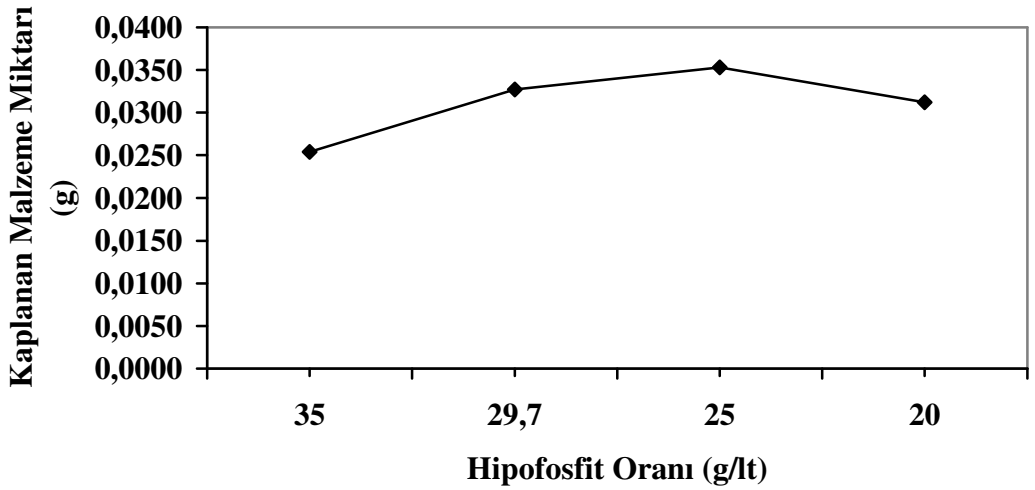


Resim 6.4 %6 Gözeneklilik 20 g/lt hipofosfit miktarı × 200 büyütme

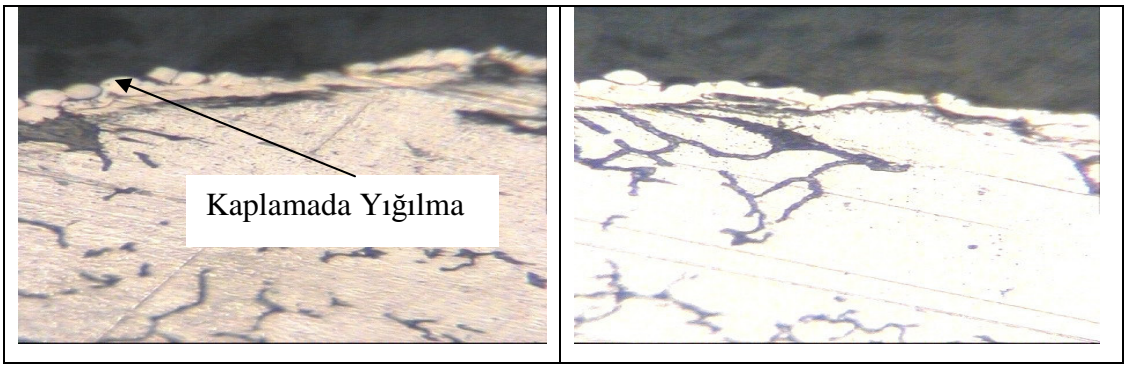
% 9 gözeneklilik oranına sahip numunelerde kaplanan malzeme miktarı Çizelge 6.3. ve Şekil 6.3'de verilmiştir. % 9 gözeneklilik oranındaki numunelerde kaplama miktarları kaplama banyosundaki sodyum hipofosfit miktarına göre Resim 6.5., Resim 6.6., Resim 6.7. ve Resim 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. % 9 Gözenekli numunelerin kaplama miktarları

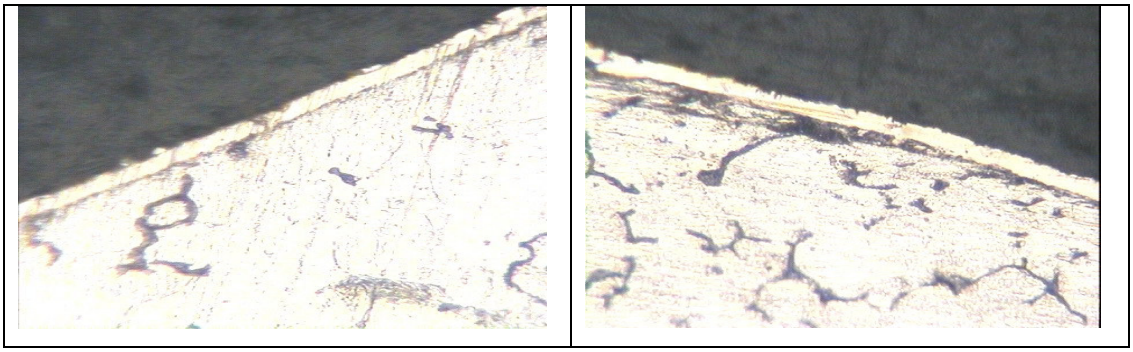
% 9 Gözenekli Numunelerin Kaplama Miktarı				
Kaplamadaki Hipofosfit Miktarı (g/lt)	**Numune No**	**Kaplamadan Önce (g)**	**Kaplamadan Sonra (g)**	**Ortalama Kaplama Miktarı (g)**
35	13	6,8502	6,8743	0,0254
	14	6,8396	6,8664	
29,7	11	6,8543	6,8867	0,0327
	12	6,8543	6,8872	
25	15	6,8535	6,8890	0,0353
	16	6,8609	6,8961	
20	17	6,8662	6,8984	0,0312
	18	6,8901	6,9204	



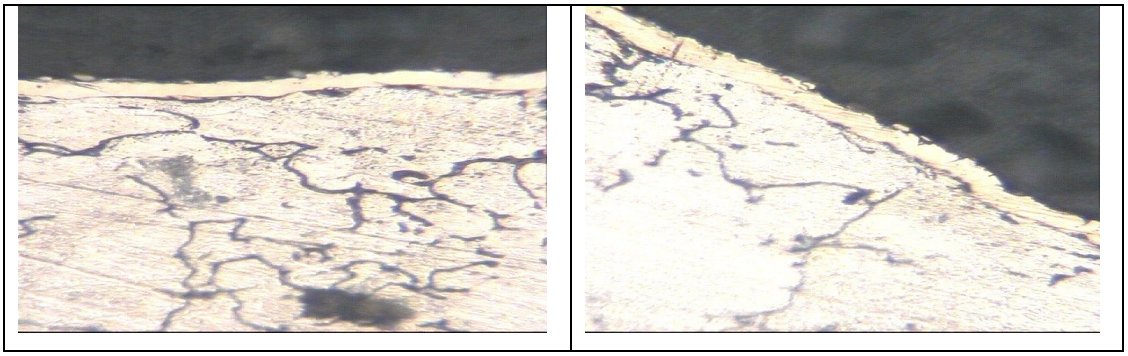
Şekil 6.3. Hipofosfit miktarının kaplanan malzeme miktarına etkisi (%9 gözeneklilik)



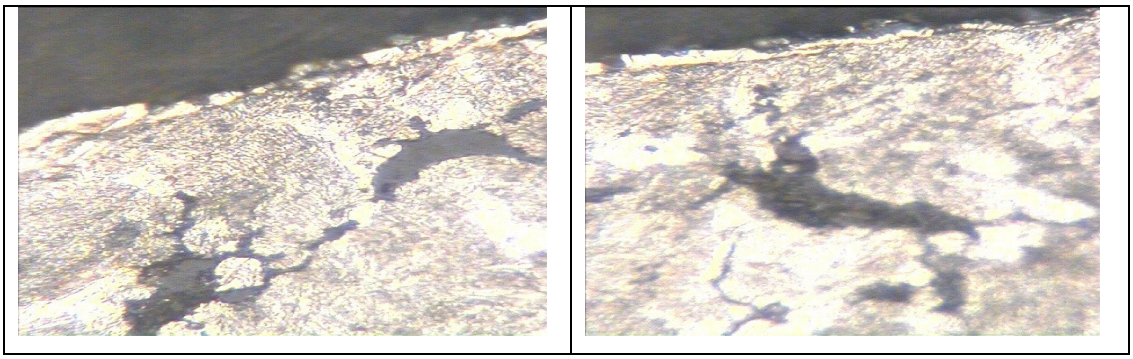
Resim 6.5. %9 Gözeneklilik 35 g/lt hipofosfit miktarı × 200 büyütme



Resim 6.6. %9 Gözeneklilik 29,7 g/lt hipofosfit miktarı × 200 büyütme



Resim 6.7 %9 Gözeneklilik 25 g/lt hipofosfit miktarı × 200 büyütme

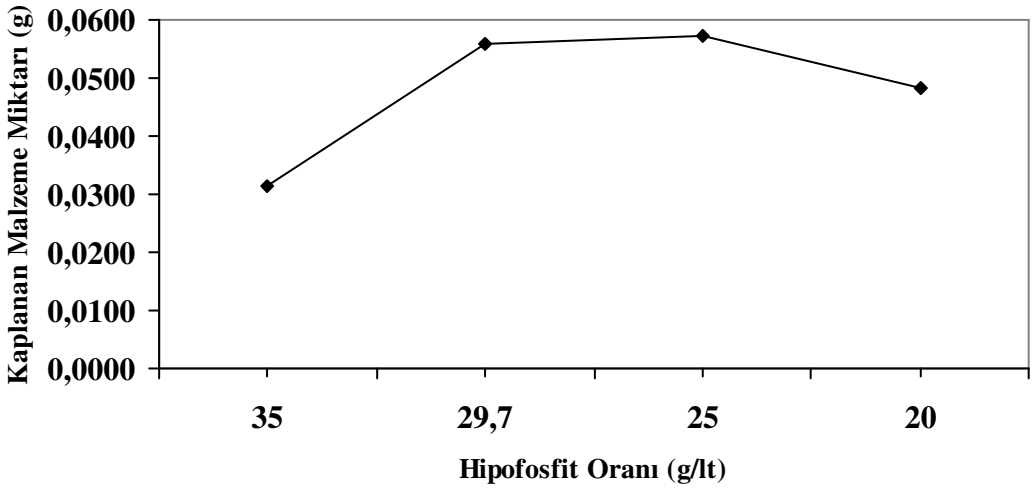


Resim 6.8. %9 Gözeneklilik 20 g/lt hipofosfit miktarı × 200 büyütme

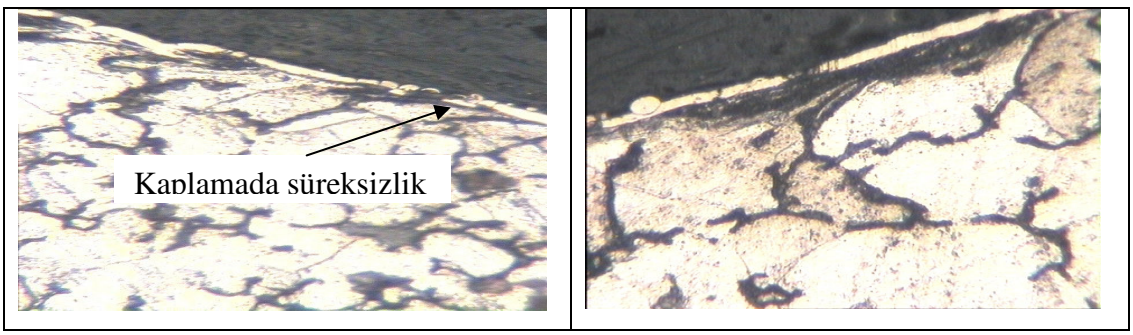
% 15 gözeneklilik oranına sahip numunelerde kaplanan malzeme miktarı Çizelge 6.4. ve Şekil 6.4.'de verilmiştir. % 15 gözeneklilik oranındaki numunelerde 35 g/lt sodyum hipofosfit miktarındaki kaplamanın mikro yapısı Resim 6.9'de, 29,7 g/lt sodyum hipofosfit miktarındaki kaplamanın mikro yapısı Resim 6.10'de, 25 g/lt sodyum hipofosfit miktarındaki kaplamanın mikro yapısı Resim 6.11'de, 20 g/lt sodyum hipofosfit miktarındaki kaplamanın mikro yapısı Resim 6.12'de belirtilmiştir.

Çizelge 6.4. % 15 Gözenekli numunelerin kaplama miktarları

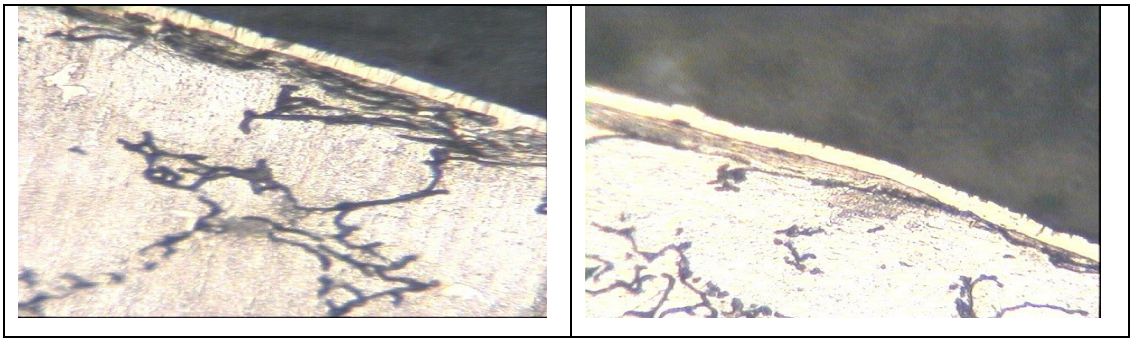
% 15 Gözenekli Numunelerin Kaplama Miktarı				
Kaplamadaki Hipofosfit Miktarı (g/lt)	**Numune No**	**Kaplamadan Önce (g)**	**Kaplamadan Sonra (g)**	**Ortalama Kaplama Miktarı (g)**
35	3	6,8664	6,8952	0,0314
	4	6,8695	6,9035	
29,7	1	6,8028	6,8435	0,0560
	2	6,9275	6,9989	
25	5	6,8928	6,9437	0,0571
	6	6,9093	6,9695	
20	7	6,8882	6,9278	0,0483
	8	6,9106	6,9676	



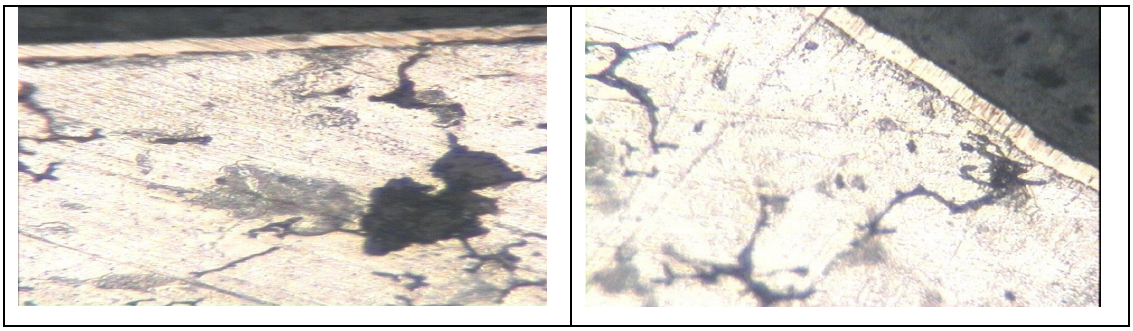
Şekil 6.4. Hipofosfit miktarının kaplanan malzeme miktarına etkisi (%15gözeneklilik)



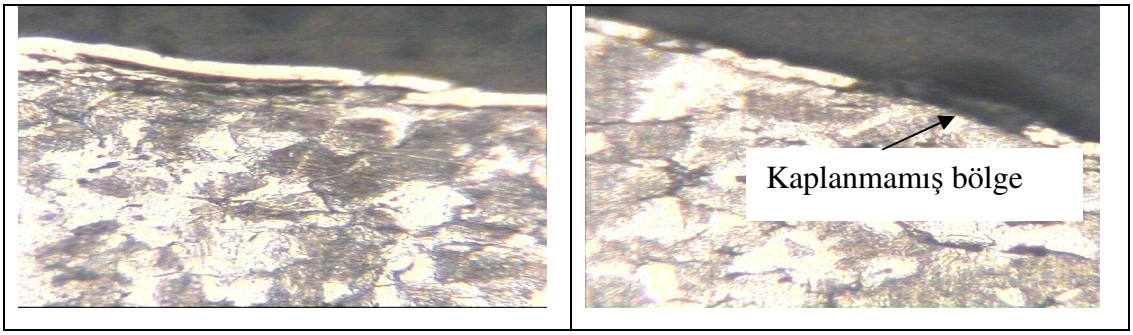
Resim 6.9. %15 Gözeneklilik 35 g/lt hipofosfit miktarı × 200 büyütme



Resim 6.10 %15 Gözeneklilik 29,7 g/lt hipofosfit miktarı × 200 büyütme



Resim 6.11. %15 Gözeneklilik 25 g/lt hipofosfit miktarı × 200 büyütme



Resim 6.12. %15 Gözeneklilik 20 g/lt hipofosfit miktarı × 200 büyütme

Sodyum hipofosfitin kaplama banyosu içerisindeki görevi, nikeli indirgeyerek kaplanacak yüzey üzerinde toplanmasını sağlamaktadır. Bunu yaparken sodyum hipofosfitten ayrışan bir kısım fosfor nikel ile birlikte kaplanan yüzeylerde çökelmektedir. Dolayısıyla yüksek sodyum hipofosfit miktarlarında kaplama miktarının yüksek olması beklenir. Hâlbuki en yüksek kaplama miktarı 25 g/lt hipofosfit miktarında elde edilirken en düşük kaplama miktarı 35 g/lt sodyum hipofosfit miktarında elde edilmiştir.

Kaplama sırasındaki reaksiyon sonucu hidrojen gazı açığa çıkmaktadır. Gaz çıkışı özellikle numune yüzeyinde oluşmakta ve açıkça gözlemlenmektedir. Hipofosfit miktarı arttıkça reaksiyon oluşumunun arttığı buna bağlı olarak da gaz çıkışın arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca kaplamadan sonra banyo incelendiğinde yüksek hipofosfit miktarlı banyolarda, kabın dibinde metal parçacıkların olduğu görülmüştür.

Kaplama miktarının yüksek sodyum hipofosfit oranlarında, düşük çıkmasının nedeni; yüzeyde biriken gaz kabarcıklarının indirgenen metalin yüzeyle buluşmasını engellemesi olabilir. Her ne kadar banyo sırasında karıştırmayla gaz kabarcıkları yüzeyden uzaklaştırılmaya çalışıldıysa da yoğun gaz çıkışı nedeniyle, gazın uzaklaştırılması düşük sodyum hipofosfit miktarlarındaki kadar sağlanamamış ve indirgenen metal yüzeye yapışmadan banyo dibine çökelmiştir.

Düşük sodyum hipofosfit miktarlarında ise gaz çıkışının daha az olduğu gözlemlenmiş ve buradan reaksiyonun nispeten yavaş olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca düşük sodyum hipofosfit miktarlarında banyo dibinde çökelen metale rastlanmamıştır.

Düşük sodyum hipofosfit miktarında (20 r/lt) ise uygun hızda reaksiyon oluşumunu sağlayacak kadar hipofosfit miktarın olmadığı sanılmaktadır. Bu durum kaplama sırasında çok az gaz çıkışıyla da desteklenmektedir. En uygun miktarın 25 g/lt olduğu tespit edilmiştir.

Mikro yapı resimleri incelendiğinde sodyum hipofosfit miktarının kaplama kalınlığını ve kaplamanın yapısını etkilediği görülmektedir. Sodyum hipofosfit miktarı 35 g/lt olan kaplama çözeltisinde kaplanan numunelerde; kaplama kalınlığı en az miktardadır. Ayrıca Resim 6.1., Resim 6.5. ve Resim 6.9'e bakıldığında kaplamanın bazı bölümlerinde yığılmaların olduğu, kaplanmamış bölgelerin oluştuğu görülmüştür.

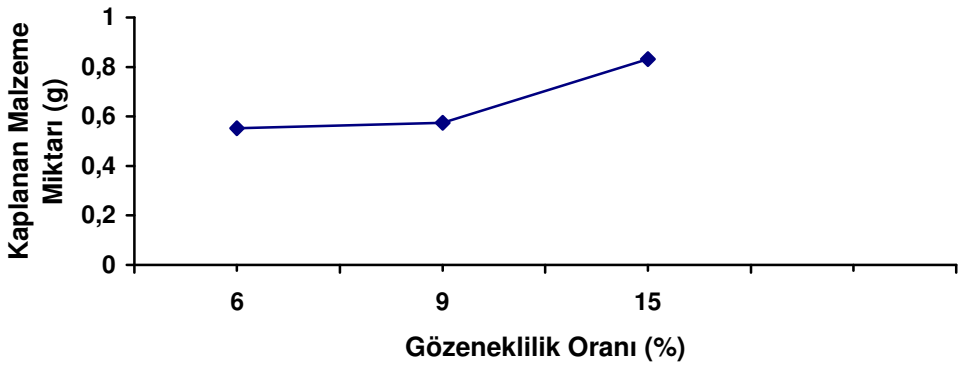
Sodyum hipofosfit oranı 29,7 g/lt ve 25 g/lt olan kaplamalarda, AN kaplamanın özelliği olan uniform yapı görülmektedir.

6.2.2. Gözeneklilik oranının kaplama miktarına etkisi

Kaplanan malzeme miktarı sodyum hipofosfit miktarlarına göre farklı gözenekli numunelerde benzer sonuçlar vermiştir (Şekil 6.2., Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.). Ancak kaplama miktarı, gözeneklilik oranlarına göre aynı sodyum hipofosfit miktarında az da olsa değişmeler göstermiştir. Çizelge 6.5. ve Şekil 6.5'de gözeneklilik oranlarına göre birim alana düşen kaplama miktarları verilmiştir.

Çizelge 6.5. Gözeneklilik oranlarına göre birim alana düşen kaplama miktarları

Sodyum Hipofosfit Miktarı (g/lt)	**Kaplama Miktarı**		
	% 6 Gözeneklilik Oranındaki Numuneler	**% 9 Gözeneklilik Oranındaki Numuneler**	**% 15 Gözeneklilik Oranındaki Numuneler**
35	0,402	0,468	0,54
29,7	0,597	0,605	0,964
25	0,646	0,651	0,993
20	0,566	0,576	0,831



Şekil 6.5. Gözeneklilik oranına bağlı kaplanan malzeme miktarı (sodyum hipofosfit miktarı 25 g/lt)

Çizelge 6.5. incelendiğinde 25 g/lt sodyum hipofosfit miktarlı banyolarda % 6 gözenekli numunede 0, 646 g/dm^2 kaplama miktarı var iken, bu miktar % 9 gözenekli numunede 0, 651 g/dm^2, % 15 gözenekli numunede ise 0, 993 g/dm^2' dir. Diğer gözeneklilik oranlarında ise benzer sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 6.5. ve

Şekil 6.5'de anlaşıldığı gibi gözenek miktarı arttıkça kaplanan malzeme miktarında bir artış olmaktadır. Mikroyapı resimleri incelendiğinde (Resim 6.3., Resim 6.7., Resim 6.11.) kaplama kalınlıklarının hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. bu durum bazı literatür verilerine de uygundur (67).

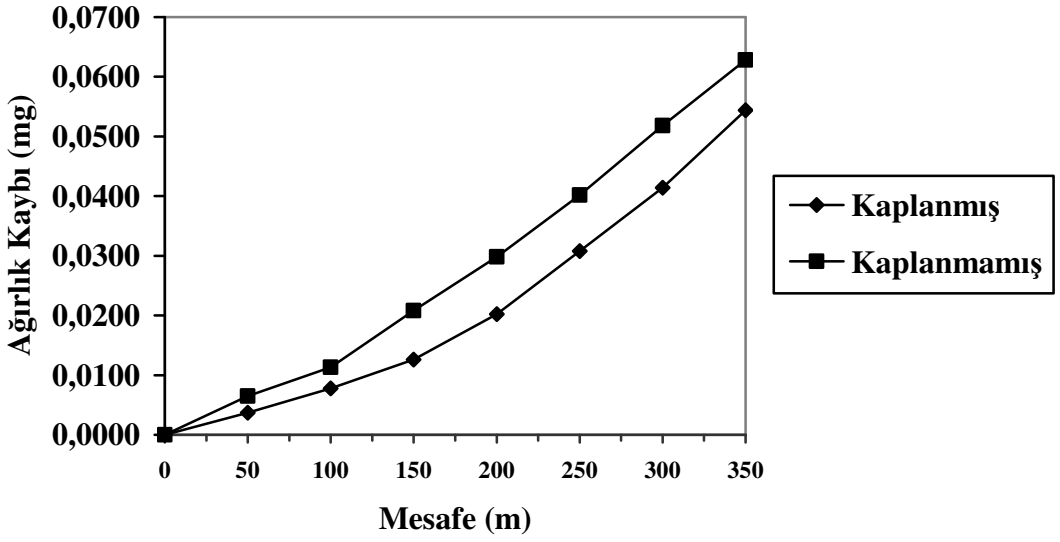
Kaplama kalınlıklarının aynı olmasına rağmen kaplama miktarındaki artış yüzeye açık, iyi temizlenmiş gözeneklere bağlanmıştır. Daha önce yapılan benzer çalışmalarda da benzer nedenlere atıf yapılmıştır (67). Gözeneklilik miktarının artmasıyla kaplama kalitesinde bir düşmenin olduğu yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (68). Bu çalışmada da toz metal ana numunenin gözenelilik miktarları arttıkça kaplama kalitesinin düştüğü, kaplamadaki süreksizliklerin arttığı Resim 6.9., Resim 6.10., Resim 6.11., Resim 6.12'da görülmektedir.

Kaplama miktarındaki artışın nedeni, yüzeye açık, iyi temizlenmiş gözeneklerin yüzey alanını artırmasıdır. Dolayısıyla görünürdeki yüzey alanları eşit olmasına rağmen yüksek gözenekli numunelerde iyi temizlenmiş gözenekler yüzey alanı gibi davranarak kaplanan yüzey alanını arttırmış ve buna bağlı olarak da kaplanan malzeme miktarında az da olsa bir artış meydana getirmiştir.

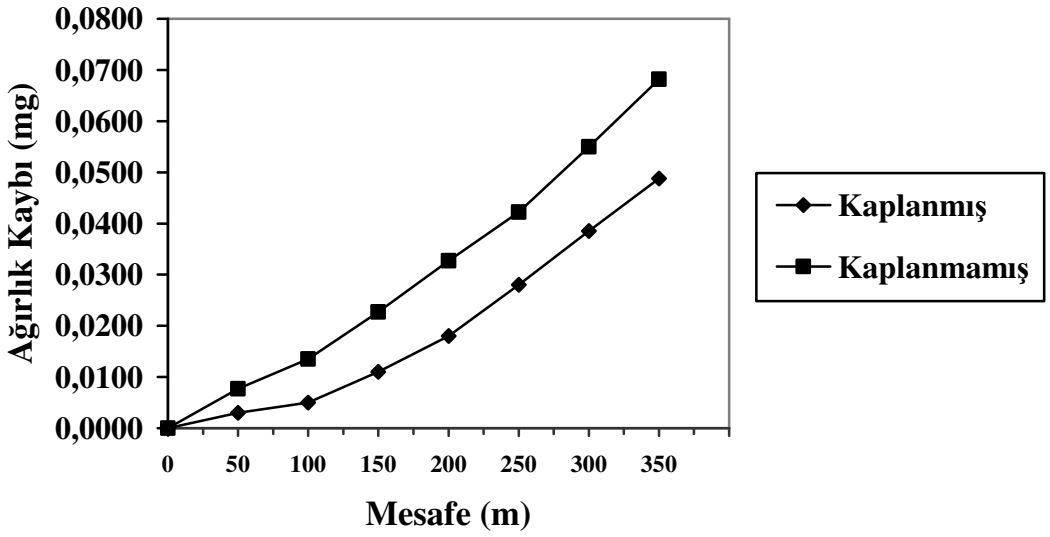
Gözeneklilik oranına göre kaplama kalitesindeki düşüşün nedeni ise iyi temizlenmemiş gözeneklere bağlanmaktadır. Her ne kadar iyi temizlenmiş gözeneklere kaplama çözeltisi girerek sürekliliği sağlasa da, iyi temizlenmemiş gözenekler ise kaplamada gözeneklere ve süreksizliklere neden olarak kaplama kalitesini düşürmektedir**.**

6.3. Aşınma Özellikleri

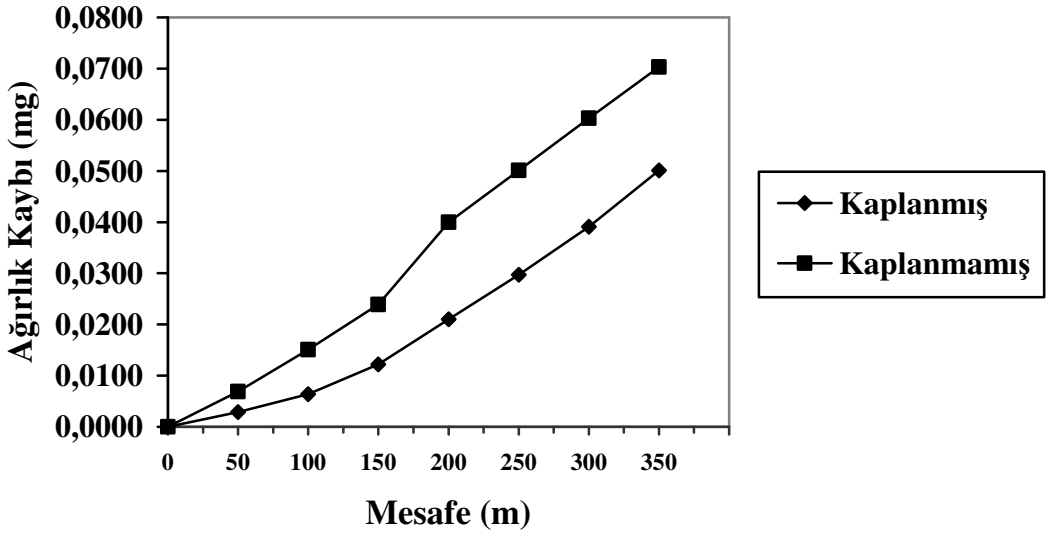
Kaplanmış ve kaplanmamış farklı gözeneklik oranına sahip numunelerin aşınma sonuçları Şekil 6.6., Şekil 6.7. ve Şekil 6.8'de verilmiştir. Her gözeneklilik oranında 2 numune (9,10,19,20,29,30 numaralı numuneler) kaplanmadan aşınma deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 6.6. Asidik AN kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin aşınma deney sonuçları (%6 gözeneklilik)



Şekil 6.7. Asidik AN kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin aşınma deney sonuçları (%9 gözeneklilik)



Şekil 6.8. Asidik AN kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin aşınma deney sonuçları (%15 gözeneklilik)

Şekil 6.6'da aynı gözeneklilik oranına sahip kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin aşınma deneyi sonuçları belirtilmiştir. % 6 gözeneklilik oranına sahip kaplanmamış numune 50 metreden itibaren aşınmaya başlamış ve her aşamada aşınma miktarı artarak devam etmiştir.

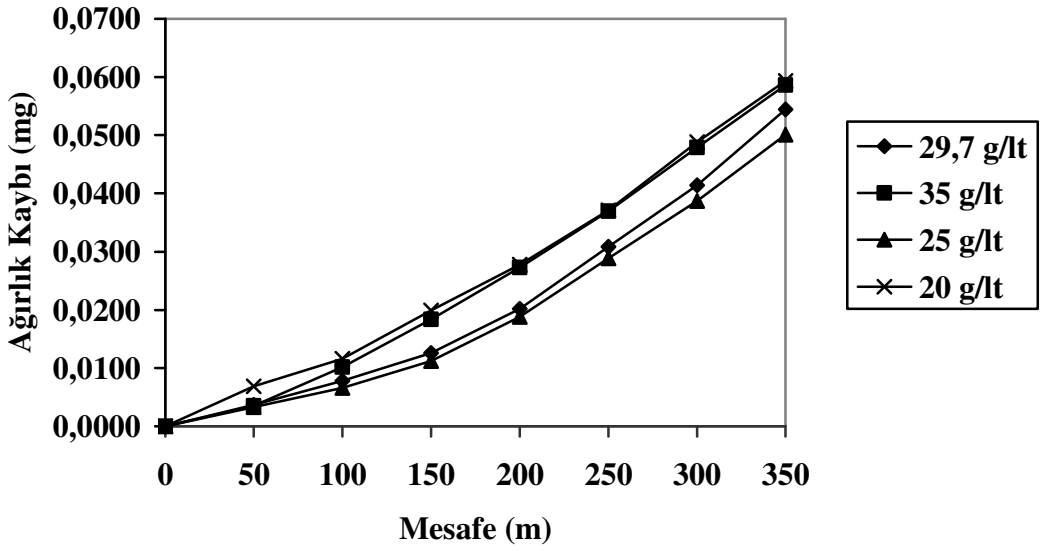
Kaplanmış numunede ise ilk 150 metre boyunca aşınma miktarı oldukça az olmuştur. 150 metreden sonra aşınma miktarı artmıştır. Yüzeydeki kaplama 150 metrede aşınarak kaybolmasına rağmen numunenin çevresini saran kaplama aşınma miktarının kaplanmamış numuneye nazaran daha az olmasını sağlamıştır.

Şekil 6.7'da gözeneklilik oranı % 9 olan kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin aşınmasını inceleyecek olursak, kaplanmamış numune aşınma deneyi boyunca ağırlık kaybı sürekli artmıştır. Kaplanmış numunenin aşınmasını inceleyecek olursak; 0–150 metre arasındaki aşınma miktarı kaplanmamış numuneye göre azdır. 150 metreden sonra aşınma miktarı artarak aşınma devam etmiştir.

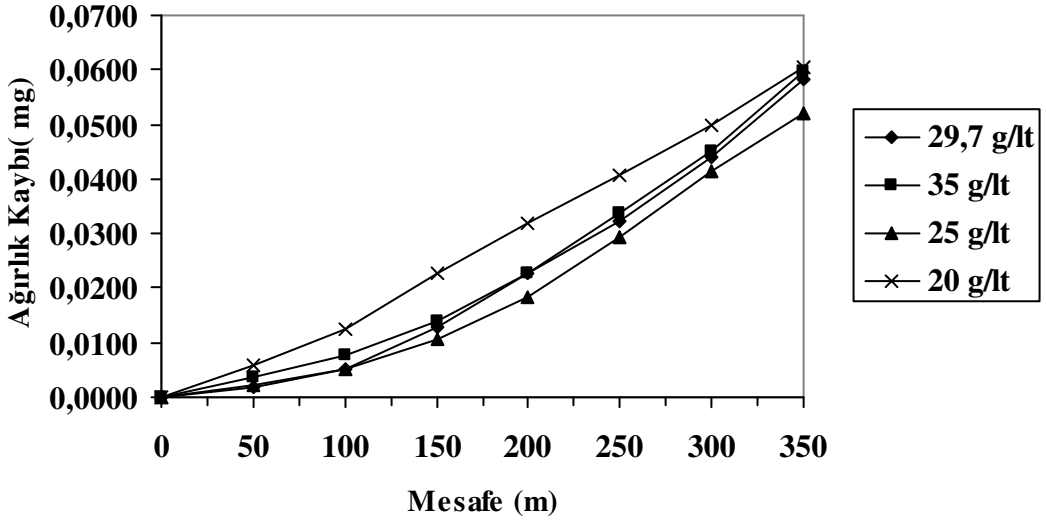
Gözeneklilik oranı % 15 olan kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin aşınma sonuçları diğer gözeneklilik oranlarına sahip numunelerin deneysel sonuçlarından

farklı olduğu görülmektedir. Aşınma miktarlarına bakıldığında 350 metre sonunda kaplanmış numune kaplanmamış numuneye göre daha az aşınmıştır (Şekil 6.8)

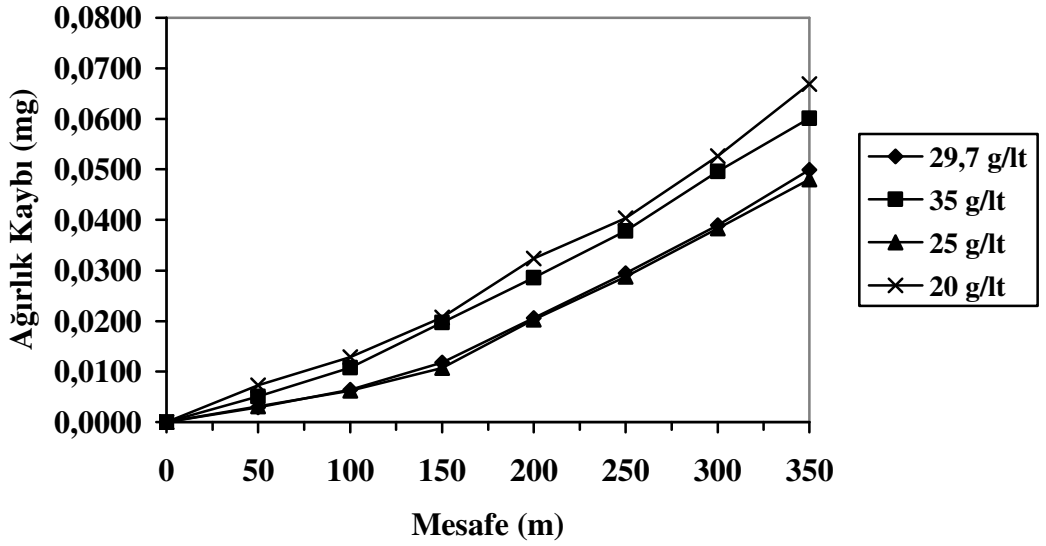
Çözeltilerdeki sodyum hipofosfit miktarının kaplanan malzeme miktarına ve kalınlığına etki ettiği şekillerle belirtmişti. Aynı gözeneklilik oranına sahip numunelerin farklı sodyum hipofosfit miktarı ile hazırlanmış çözeltilerin de kaplamanın aşınma dayanımı üzerindeki etkisi Şekil 6.9., Şekil 6.10. ve Şekil 6.11.'da gösterilmiştir.



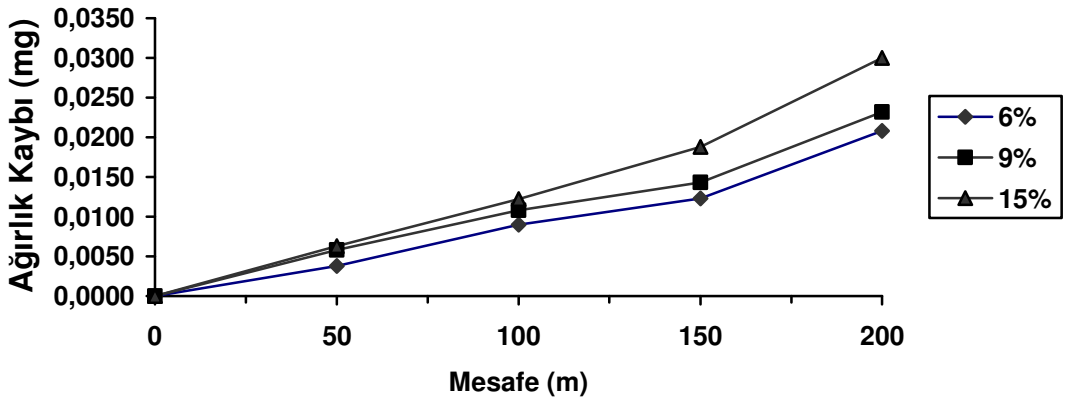
Şekil 6.9. Kaplama bileşimindeki sodyum hipofosfit miktarının aşınmaya etkisi (%6 gözeneklilik)



Şekil 6.10. Kaplama bileşimindeki sodyum hipofosfit miktarının aşınmaya etkisi (%9 gözeneklilik)



Şekil 6.11. Kaplama bileşimindeki sodyum hipofosfit miktarının aşınmaya etkisi (%15 gözeneklilik)



Şekil 6.12. Gözeneklilik oranlarına göre kaplamanın aşınma dayanımı

Şekil 6.9., Şekil 6.10., Şekil 6.11., Şekil 6.12., incelendiğinde sodyum hipofosfit miktarı 25 g/lt olan çözeltilerde kaplanan numunelerin aşınmaya karşı daha dirençli olduğu görülmektedir. % 6 gözenekli numunelerde kaplamanın aşınmaya karşı en dirençli olduğu ve bu değeri en yüksek 25 g/lt sodyum hipofosfit içeren kaplama banyosunda elde edildiği görülmektedir.

Kaplamanın aşınmaya karşı direnci % 15 gözenekli numunelerde en düşüktür. Kaplamanın sertlik değerlerine bakıldığında (Çizelge 6.6. ve Şekil 6.13.) genel olarak bu sonucu destekleyici değerler elde edilmiştir. En yüksek aşınma direncinin elde edildiği % 6 gözenekli 25 g/lt sodyum hipofosfit miktarındaki banyoda kaplanmış numunelerin mikroyapıları incelendiğinde kaplamanın en üniform ve sıkı bir bağ oluşturduğu görülmektedir. Diğer gözeneklilik oranlarındaki numuneler arasında en yüksek sertliği de yine 25 g/lt sodyum hipofosfit miktarındaki çözeltilerde kaplanmış numunelerde elde edilmiştir. % 6 gözeneklilik oranındaki numunelerde sodyum hipofosfit miktarı 35 g/lt ve 20 g/lt olan çözeltilerde kaplanmış numunelerde ilk 100 metre sonunda bazı bölgelerde kaplama koparak ana malzeme aşınması başlandığı görülürken 25 g/lt sodyum hipofosfit miktarına sahip çözeltide kaplanan numunelerde katmanların oluştuğu, kaplamanın halen var olduğu gözlemlenmektedir. Diğer gözeneklilik oranlarında da hemen hemen aynı mikroyapı sonuçları ortaya çıkmaktadır. Gözeneklilik oranı arttıkça kaplamanın kalitesi düşmekte, kaplamanın yapısı da gözenekliliğe bağlı olarak değişmektedir. Çünkü

gözenek içinde kalan gazlar dışarı çıkmakta ve kaplamayı yüzeyden uzaklaştırarak kaplama yapısını olumsuz etkilemektedir..

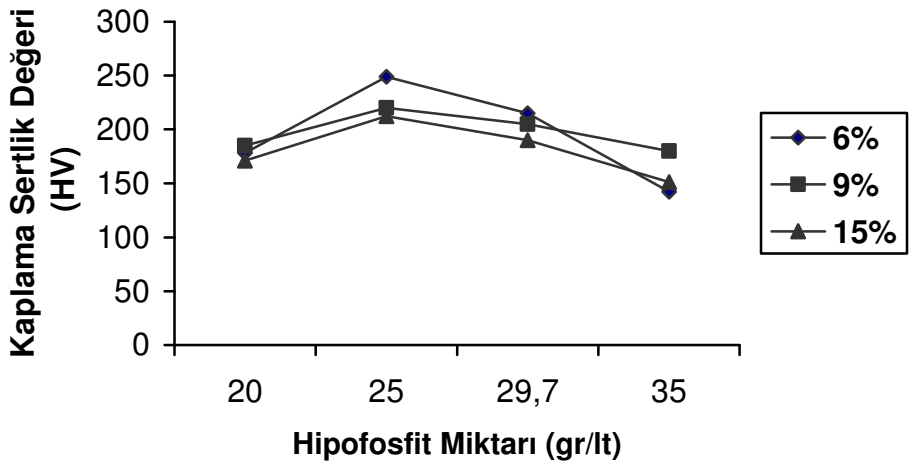
Şekil 6.12'de aşınma deneyinde kaplamanın tamamen yüzeyden aşınarak koptuğu mesafeye kadarki aşınan malzeme miktarının ortalaması gözeneklilik oranına göre gösterilmiştir. % 6 gözenekli kaplanmış numunelerin aşınma dayanımı en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

6.5. Kaplamanın ve Ana Malzemenin Sertlik Değerleri

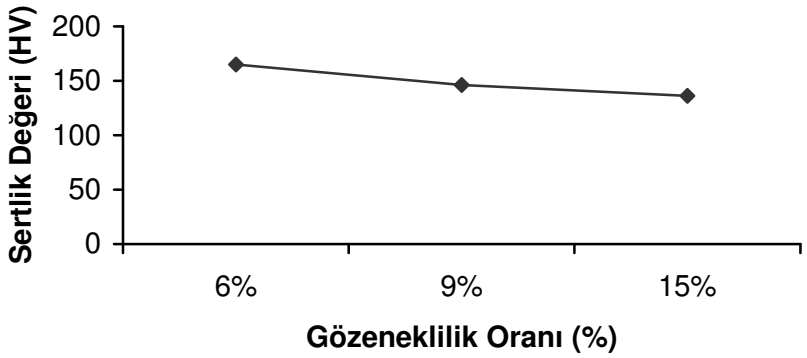
Kaplamada, ana malzemede ve bunların ara yüzeyinde yapılan mikrosertlik ölçme sonuçları Çizelge 6.5., Şekil 6.13. ve Şekil 6.14'te verilmiştir.

Çizelge 6.6. Mikro sertlik ölçüm sonuçları

	Kaplamadaki Sodyum Hipofosfit Miktarı (g/lt)	Kaplama Sertliği (HV)	Kaplama – Malzeme Sınır Sertliği (HV)	Malzeme Sertliği (HV)
% 6 Gözeneklilik	20 g/lt	178	189	160
	25 g/lt	249	213	165
	29,7 g/lt	215	195	168
	35 g/lt	152	171	164
% 9 Gözeneklilik	20 g/lt	195	182,5	144
	25 g/lt	220	200	153
	29,7 g/lt	215	193	140
	35 g/lt	180	181	145
%15 Gözeneklilik	20 g/lt	171	167,5	126
	25 g/lt	212,2	189	138
	29,7 g/lt	190	182	136
	35 g/lt	141	151	132



Şekil 6.13. Gözeneklilik oranına göre kaplama sertlik ölçüm grafiği



Şekil 6.14. Gözeneklilik oranına göre malzeme sertlik ölçüm grafiği

Çizelge ve şekiller incelendiğinde en yüksek sertlik değerinin genel olarak kaplamalarda çıktığı görülmektedir. Bazı numunelerde ara yüzey sertlikleri fazla çıkmasına rağmen ortalama değerlerde kaplamanın daha sert olduğu görülmektedir. En yüksek sertlik değerleri bütün gözeneklilik oranlarında 25 g/lt sodyum hipofosfitli banyolarda yapılan kaplamalarda elde edilmiştir. Çizelge 6.6. ve Şekil 6.13. incelendiğinde 25 g/lt hipofosfit miktarındaki çözeltilerde % 6 gözenekli numunelerde kaplamanın sertliği 249 HV, % 9 gözenekli numunelerde 220 HV ve %15 gözeneklilik oranında 212.2 HV olduğu görülmüştür. Gözeneklilik oranı arttıkça sertlikte düşme meydana gelmiştir. Bunun nedeni gözeneklilik oranı arttıkça gözenekler içinde kalan gazların miktarı da artmış ve kaplama sırasında bu gazlar

dışarı çıkarak kaplama çözeltisi içerisinde sertlik oluşturan fosforu malzemeye kaplama yerine çözelti kabının dibine çökelmesine yol açmış dolayısıyla sertlik gözenekliliğe bağlı olarak azalmıştır.

Şekil 6.14. incelendiğinde ise ana malzemedeki sertliğin gözeneklilik oranına göre düştüğü görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında kaplama sertliğinin, kaplamadaki sodyum hipofosfit miktarı ve ana malzemenin gözeneklilik oranı ile değiştiği görülmektedir. Mikroyapı resimlerinde de görüldüğü gibi (Resim 6.3.) düzenli ve sürekli, kaplama kalitesi % 6 gözenekli ana malzeme ve 25 g/lt'li banyolarda elde edilmektedir. % 9 gözenekli numunelerde iki değerin fazla çıkması deney şartlarına bağlanmıştır. Kaplamalardaki fosfor oranının artışı kaplama sertliğini artırdığı literatürde belirtilmiştir (68). 25 g/lt'lik banyolarda reaksiyon kinetiği ve reaksiyon şartlarının (gaz çıkışı, gaz uzaklaştırma gibi) kaplamadaki fosfor miktarının artmasına neden olduğu sanılmaktadır. Böylece sertlik değeri en yüksek bu miktarda çıkmaktadır.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

T/M tekniği ile üretilen demir esaslı parçalar akımsız nikel kaplama yöntemi ile uygun şekilde kaplanabilmektedir. Ancak kaplama banyosundaki sodyum hipofosfit miktarı ve kaplanan malzemenin gözeneklilik oranı kaplanan malzeme miktarını ve kaplama kalitesini etkilemektedir. Kaplanan malzeme miktarı kaplanan malzemenin gözeneklilik oranı ile artmakta fakat kaplama kalitesinde ise nispeten düşme olmaktadır. Akımsız nikel kaplamayı diğer kaplama yöntemlerinden ayıran en önemli özelliği, kaplama çözeltisinin malzemenin temiz olan her yüzeyine nüfuz ederek kaplamanın her noktada yapılmasını sağlamasıdır. Toz metalurjisi ile üretilmiş parçalarda yüzeye açık gözenekler kaplanacak yüzey alanını arttırmakta ve kaplama miktarı yüzey alanına bağlı olarak artmaktadır. Kaplanan malzeme miktarında az da olsa bir artmaya rağmen kaplamada görülen bazı gözenek ve süreksizliklerin nedeni T/M ile üretilmiş parçalardaki yüzeye açık gözeneklerin yeteri kadar temizlenememesidir. T/M ile üretim sırasında parça yüzeylerinde ve yüzeye açık gözeneklerde yağ, kir ve oksit gibi kaplama özellikleri için zararlı kalıntılar oluşmaktadır. Ayrıca kaplama öncesi yapılan mekanik temizleme sırasında da bu tür zararlı kalıntıların oluşması ve gözenekleri doldurması mümkündür. Yapılan kimyasal temizleme sırasında ise bu zararlı kalıntılar giderilememekte, kimyasal temizleme çözeltisi ulaşamamakta veya kimyasal temizleme için kısa süre verildiği için temizleme için yeterli zaman olmamaktadır. Dolayısıyla yağ, kir veya oksit kalan gözenekler kaplama kalitesini olumsuz yönde etkilemekte ve kaplamada süreksizlikler oluşmaktadır. En yüksek kaplanan malzeme miktarı ve en iyi kaplama kalitesi 25 g/lt sodyum hipofosfitli kaplama banyolarında elde edilmiştir. Kaplanan malzeme miktarı ve kaplama kalitesi, kaplama sırasındaki sıcaklık, banyo pH'ı, reaksiyon hızı, banyo bileşimi ve kaplanan malzeme yüzeyi gibi etkenlere bağlıdır. Diğer değişkenler sabit tutularak banyo bileşimindeki sodyum hipofosfit miktarı değiştirildiğinde reaksiyon hızında bir değişme olmaktadır. Sodyum hipofosfit, nikel tuzu içindeki nikelin indirgenerek kaplanan malzeme üzerinde çökelmesini sağlar. Dolayısıyla sodyum hipofosfit miktarı ile reaksiyon hızında bir artış söz konusudur.

Bu durum deneyler sırasında gaz çıkışı ile gözlemlenmiştir. Hızlı reaksiyon oluşumu ile fazla gaz çıkışı olurken bu gazlar metal yüzeyinde uzaklaştırılamamakta ve indirgenen nikel ile kaplanacak yüzey arasında engel teşkil etmektedir. Ayrıca indirgenen nikelin tamamının yüzeye yapışabilmesi için hızdan dolayı yeteri kadar zaman verilememektedir. Bu nedenlerle indirgenen nikel metal yüzeyine yapışma yerine banyo dibine çökelmektedir. Ayrıca yüzeydeki gaz kabarcıklarından dolayı kaplama yer yer topaklar halinde olmaktadır. Düşük sodyum hipofosfit oranlarında ise yeteri kadar kaplama hızı elde edilememektedir. Bu nedenle kaplanan malzeme miktarında azalma olmaktadır. Standard kaplama banyolarında 29 g/lt sodyum hipfosfit kullanılmasına rağmen bu çalışmada en iyi sonuçlar 25 g/lt sodyum hipofosfit miktarında elde edilmiştir.

Akımsız nikel kaplanmış numunelerin aşınma deneyi ve sertlik ölçmeleri sonucunda kaplamanın ana malzemeye göre daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kaplama banyosundaki sodyum hipofosfit miktarı ve kaplanan malzemenin gözeneklilik oranı da kaplama sertliği ve aşınma özelliklerini etkilemektedir. En yüksek aşınma dayanımı % 6 gözenekli numunelerde, 25 g/lt sodyum hipofosfitli banyolarda yapılan kaplamalarda elde edilmiştir. Ana malzemenin aşınma dayanımı en yüksek % 9 gözenekli numunelerde elde edilmiştir. AN kaplamalarda kaplama içinde sodyum hipofosfitten dolayı fosfor bulunmakta ve bu kaplama sertliğini arttırmakta dolayısıyla aşınma direncini de artırmaktadır. Mikro sertlik ölçümlerinde en yüksek değer 25 g/lt'lik banyolarda yapılan kaplamalarda elde edilmiştir. Aşınma dayanımı da en yüksek bu numunelerde bulunmuştur. Sabit tutulan şartlarda 25 g/lt'lik banyoların en yüksek aşınma dayanımlı kaplamayı vermesinin nedeni bu banyolardaki kaplama kalitesinin iyi elde edilmesi ve muhtemelen kaplama içindeki fosfor oranının artmasıdır. Sertlik ölçme sonuçları bu tahmini doğrulamaktadır. Gözeneklilik oranı yüksek ana malzeme aşınmanın düşük çıkması ise gözeneklerden dolayı temas yüzeylerinin azalmasına bağlanabilir. T/M ile üretilmiş parçalarda yük sabit olmasına rağmen büyük temas alanlarında ayrılan parça miktarının fazla olduğu sanılmaktadır. Böylece aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

1- T/M ile üretilmiş demir esaslı parçalar asidik AN kaplama ile başarılı olarak kaplanabilmektedir.

2- Kaplama banyosundaki sodyum hipofosfit miktarı ve ana malzemenin gözeneklilik oranı kaplama miktarı, kaplama kalitesi ve kaplamanın aşınma özelliklerini etkilemektedir.

3- Kaplanan malzeme miktarı gözeneklilik ile artmakta fakat kaplama kalitesi düşmektedir.

4- En yüksek kaplama miktarı ve en iyi kaplama kalitesi 25 g/lt sodyum hipofosfit miktarında elde edilmiştir.

5- Kaplamanın aşınma özellikleri her halükarda ana malzemeden iyidir. En yüksek kaplama sertliği ve aşınma dayanımı 25 g/lt sodyum hipofosfit miktarında elde edilmiştir.

7.2. Öneriler

1- Kaplanan malzeme miktarı ve kaplama kalitesinin arttırılabilmesi için ana malzemenin kaplama öncesi temizlik işlemleri vakumlu temizleme gibi farklı şartlarda yapılabilir. Sinterleme sonrası, parçaya ergime derecesi düşük bakır veya plastik gibi malzemeler emdirilebilir.

2- Araştırmacılar, sıcaklık ve pH gibi kaplama parametrelerini değiştirerek kaplama kalitesine etkilerini araştırabilir.

KAYNAKLAR

1. Sarıtaş, S., "Açılış Konuşması", 1. Ulusal Toz Metalurjisi Bildiri Kitabı, **Gazi Üniversitesi İletişim Fakültesi Matbaası,** Ankara (1996).

2. Öveçoğlu, M. L.,"Toz Metalurjisi; Tarihsel Gelişim, Üretim Aşamaları ve Yeni Eğitimler", Uluslar Arası Metalurji Ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası Cilt 1., İstanbul, 449-485 (1997).

3. Kempton, H. R., "History Of Powder Metalurgy", **Metal Handbook**, Cilt. 7, Usa, 14-20 (1993).

4. Undkog, P., Arbstedt, P., "Iron Powder Manufacturing Techniques: Abrief Review", ***Powder Metalurgy***, Usa, Cilt. 29, No 1 (1986).

5. Ersümer, A., Toz Metalurjisi Sert Metal, 26-32, ***İstanbul Teknik Üniversitesi*** Matbaası**,** İstanbul (1970).

6. Yıldırım, Y., "Toz Metalurjisi Üretim Yöntemleri", Ankara (1999).

7. ***Türk Toz Metalurjisi Derneği Haber Bülteni***, Sayı 8, Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayın Organı Yücel Ofset, Ankara (1998).

8. Whittaker, D., "Ferreous P/M Components-Where From Here", ***Powder Metallurgy***, Cilt 38, No. 2 (1993).

9. Crawson, A., "P/M Ferreous Metarials", ***Metals Handbook***, Cilt 7, Usa, 623 (1993).

10. James, B.,A., "Liquid Phase Sintering İn Ferreous Powder Metallurgy", ***Powder Metallurgy,*** Cilt. 28, No. 3 (1985).

11. Demir, A., Toz Metal Bir Çeliğin Mekanik Özellikleri Master Tezi, ***Gazi Üniversitesi, F.B.E.,*** Ankara (1992).

12. Boz, M., "Toz Metalurjisi İle Üretilmiş Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Dayanımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi, F.B.E.,*** Ankara (1999).

13. Çiğdem, M., "İmal Usulleri", 329-357, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası,*** İstanbul (1998).

14. Roll, K., H., "Iron Powder Metalurgy Spearheads Industry Growth", ***Iron Powder Metallurgy***, Cilt. 3, New York (1963).

15. Şulan, T., "Toz Metalurjisi Yöntemleriyle Geliştirilen 90W7Ni3Fe AğırAlaşımlarının Sıvı Faz Sinterlenmesi Süreçleriyle Üretilmesi Ve Karakterizasyonu", Master Tezi, ***İ.T.Ü., F.B.E***., İstanbul (1993).

16. Hausner, H., H., ***Handbook Of Metal Powders***, A. R. Poster (Ed.), Reinhold, 12.

17. Uygur, E., N., Toz Metalurjisi Semirner Notları, 32-490, İstanbul (1986).

18. Morioka, Y., "Recent Trands İn Ferrous P/M Metarials", ***Powder Metalurgy World Congress,*** Japan (1993).

19. Sands, R.,L., and Shakespeare C., R***., Powder Metallurgy***, Geoge Nownes Ltd. (1996).

20. Kurt, A., "Toz metal malzemelerin kaynaklanabilirliği", ***Türk Toz Metalurjisi Haber Bülteni,*** Sayı 25,4, *(*2003).

21. Lenel, V. F., "Production Of Iron Powder By Reduction Of Iron Oxide", ***Metals Handbook***, Cilt 7, 79-82, U.S.A. (1993).

22. Samal, K. P., "Production Of Owder By Electrolysis", ***Metals Handbook***, Cilt 7, 93, U.S.A. (1993).

23. Thompson, C. B., "Lubrication Of Metal Powders", ***Metals Handbook***, Cilt 7, 190, U.S.A. (1993).

24. Dennis, J. K., Such, T. E., Nickel And Chromium Plating, Londan: Newres-Butterworths, 287 (1972).

25. Gawrilov, G. G., "Chemical (Electroless) Nikel Plating", Redhill, ***Portcullis Pres***, England (1979).

26. Almet Metal Endüstrisi Ve Ticaret A.Ş., "Akımsız Nikel Kaplama", ***Tanıtım Kataloğu***, Ankara (2004).

27. Erbil, T., "İki Yeni Mühendislik İşlemi: Electroless Ve Hard Anozing", ***Metalurji Dergisi***, Sayı 86, 42-46 S (1993).

28. Henry, J. R., Electroless Plating, Metal Finishing, ***Guidebook And Directory Issue***, Cilt-95, No 1a, 412-416 (1997).

29. Fields, W. D., Duncan, R. N., Zickgraf, J. R. "Electroless Nickel Plating", ***Plating And Electropolishing***,. 219-243 (1984).

30. Riedel, W. Electroless Nickel Plating, ***Asm İnternational***, Metals Park Ohio, U.S.A./Fnishing Publications L.T.D, Stevenage, Hertfordshire, England (1991).

31. Mallory, G. O., The Electroless Nickel Plating Bath, ***Electroless Nickel Conference***, Cincinnati, Nov (1979).

32. Gorbunova, K. M., Nikiforova, A.A., Physicochemical Principles Of Nickel Plating, ***Moscov: İzdatel'stvo Akademi Nauk Sssr*** (1960).

33. Gutzeit, G., An Outline Of The Chemistry Involved İn The Proses Of Catalytic Nickel Deposition From Aqueous Solution, Plating And Surface Finishing, Cilt 46 (No.10), 1158) (1959).

34. Mallory, G. O., Hajdu, J. B., "Electroless Plating: Fundamentals And Aplication", ***American Electroplaters And Surface Fnishers Society,*** Orlanda, America (1990).

35. Stallman, K., Specthardt, H., Deposition And Properties Of Nickel-Boron Coatings, ***Metalloberflaenhe Angewandte Electrochemie***, Cilt 35 (No.10), 979 (1981).

36. Duncan, R. N., Properties And Aplications Of Electroless Nickel Deposits, ***Finisher's Management***, Cilt 26 (No.3), 5 (1981).

37. Parker, K., Effects Of Heat Treatment On The Properties Of Electrless Nickel Deposits, ***Plating And Surface Finishing***, Cilt 68 (No.12), P:71 (1981).

38. Mallory, G. O., The Electroless Nickel Plating Bath, ***Electroless Nickel Conference***, Cincinnati, Nov (1979).

39. Roberts, W.H., Coating Beryllium With With Electroless Nickel, ***U.S.A. Atomic Energy Commision***, Report Rfp 478 (1964).

40. Metzger, W. H., Characteristics Of Depositst, Symposium On Electroless Nickel Plating, S.T.P 265, ***American Society For Testing And Metarials***, Philadelphia,(1959)

.

41. Parker, K., Effects Of Heat Treatment On The Properties Of Electrless Nickel Deposits, ***Plating And Surface Finishing***, Cilt 68 (No.12), 71 (1981).

42. Sadakow, G. A. And Gorbunowa, K. M., ***Electrochimija***, 1111 (1980).

43. Puchi, E. S., Staına, M. H., Hıntermann, A., Pertuz, A., Chıtty, J., Influence Of Ni-P Electroless Coating On The Fatigue Behavior Of Plain Carbon Steels, ***Thin Solid Films***, 370-375 (1996).

44. Sing, D. And Dube, R. K., Electroless Nickel Coating Of Sintered Iron Compacts, ***Powder Metallurgy***, Cilt 38, 52-54 (1995).

45. Mallory, G. O., The Electroless Nickel-Boron Plating Bath, Effects Of Variables On Deposit Properties, ***Plating,*** Cilt 58, 319 (1971).

46. Yılmaz, F. , Sürtünme Ve Aşınma, ***9. Uluslar Arası Metalurji Ve Malzeme Kongresi,*** 229-247, İstanbul, Turkey (1997).

47. Ashley, M. Jones, R.H.D., Friction And Wear Engeneering Materials, ***Cambridge Universty***, England (1996).

48. Cöcen, Ü., Belevi, M., Önel, K., Tane Silisyum Karbür Katkılı Alüminyum Alaşımlı Bazı Kompozitlerin Aşınma Davranışları, ***7. Denizli Malzeme Sempozyumu*** (1987).

49. Selçuk. B. Borlanmış AISI 1020 Ve 5115 Çeliklerin Sürtünme Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, ***Erciyes Ün. Fen Bil.Ens***.,(1994).

50. Karamış, M., B., Toprak İşleme Aletlerinde İş Organlarının Aşınmasının Etüdü, Doktota Tezi, ***Erciyes Ün. Fen Bil. Ens***. (1985).

51. Güldaş, A. Aşınma Deney Aparatının Tasarımı, Üretimi Ve Metal Matriksli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmei, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Ün. Fen Bil. Ens***. (1998).

52. Kelestimur, M. H., Makine Yapı Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Direncinin Yüzey Sertliği Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ (1989).

53. Fiedrich, K., Friction And Wear Of Polymer Composites, Composite Materials Series 1, ***University Of Delaware***, New York, Delaware, U.S.A. (1986).

54. Kayalı, E.S., Aşınma Ve Kaplı Takımların Aşınması, Nato-TU PVD Kaplamaları Projesi***, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi***, İstanbul (1996).

55. Kjeldsteen, P., Trilk, N., Wear Map Production On P/M Metarials And The Defination Of Transition, ***The Danish For Powder Metallurgy***, Nordborg, Denmark

56. Trilk, N.C., Eyne, T.S., Tribology Methodology, ***Brinel University***, Kingston Lone, U.K.

57. Çakırer, H., Seramik Kaplanmış Metallerin Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ***Erciyes Ün. Fen Bil. Ens***. (2002).

58. Çelik, H., Çimenoğlu, H., Kayalı, E.S., Nikel Ve Demir Esaslı İki Alaşımın Yüksek Sıcaklılardaki Aşınma Davranışları, ***7. Denizli Malzeme Sempozyumu*** (1987)

59. Odabaş, D., Ötektoidaltı Çeliklerin Kayma Sürtünmesi Aşınmasında Adresiv Aşınma Katsayılarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, ***Erciyes Ün. Fen Bil. En***., Kayseri (1987).

60. Kılınç, Y., Yağlı Sürtünme Şartlarında Çelik İnce Sırtlı Zırh Yataklarda Üretim Tekniklerinin Aşınmaya Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, ***Erciyes Ün. Fen Bil. En***., Kayseri (1993).

61. Çiçek, H., SİC Seramik Partikül Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretimi Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ***OGÜ, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı***, Eskişehir (Ocak 1997).

62. Senkron Metal Ve Seramik Kaplama San. Tic. Ltd. Şti., ***"Aşınma Ve Kaplama Metotları Kataloğu"*** (2000).

63. Topbaş, M.A., Endüstri Malzemeleri, Cilt 2, 219-264, ***Yıldız Teknik Ünv., Mühendislik Mimarlık Fakültesi***, İstanbul (1993).

64. Balamur, E., "Demir Esaslı Toz Metal Malzemelerden Elde Edilen Parçaların Direnç Nokta Kaynak Şartlarının Belirlenmesi Ve Kaynak Bağlantı Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, ***Uludağ Üniversitesi, F.B.E.*** (1999).

65. Höganas, Iron And Stell Powders For Sintered Components, ***Ürün Kataloğu***, (1993).

66. Matik, U. Çorlu, Z., **Çitak**, R., "Toz Metalürjisi İle Üretilmiş Demir Parçaların Akımsız Kaplama Yöntemi ile Nikel Kaplanabilirliği" 3. Uluslar arası Toz Metalürjisi Konferansı, ***Gazi Üniversitesi,*** Ankara, 4-8 Eylül (2002)

67. Matik, U., Çıtak, R., "T/M Yöntemi İle Üretilmiş Demir Parçaların Akımsız Nikel Kaplanmasında Gözenekliliğin Kaplama Kalitesine Etkisi", 3. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı, ***Gazi Üniversitesi***, Ankara (2002).

68. Narcus, H., Nickel and Nickel Alloys, ***Plating***, 381 (1967).

ÖZGEÇMİŞ

1980 Ankara ilinde doğdu. İlköğrenimini Ankara Şenlik İlkokulunda, orta öğrenimini Ankara Namık Kemal Ortaokulunda, lise öğrenimini Ankara Kılıçarslan Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesinde tamamladı. 2002 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Model Öğretmenliği Programından mezun oldu. 2003 – 2005 yılları arasında Eskişehir Atatürk Endüstri Meslek Lisesi Makine Model Bölümünde öğretmenlik yaptı. Halen Batıkent Endüstri Meslek Lisesi Bilgisayar Destekli Endüstriyel Modelleme Bölümü Öğretmeni olarak çalışmaktadır.