

**DEMİR-KOBALT-KROM TOZLARININ
ELEKTRİK AKIMSIZ NİKEL
KAPLANARAK KOMPOZİT
ÜRETİMİ VE MEKANİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Eyüp DONAT

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ayhan EROL

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2014

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DEMİR-KOBALT-KROM TOZLARININ ELEKTRİK AKIMSIZ NİKEL
KAPLANARAK KOMPOZİT ÜRETİMİ VE MEKANİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Eyüp DONAT

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ayhan EROL

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2014

TEZ ONAY SAYFASI

Eyüp DONAT tarafından hazırlanan “Demir-Kobalt-Krom Tozlarının Elektrik Akımsız Nikel Kaplanarak Kompozit Üretimi ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 16/06/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metal Öğretmenliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. Ayhan EROL

Başkan :Doç.Dr.Serhat BAŞPINAR
AKÜ Teknik Eğitim Fakültesi

İmza

Üye :Doç.Dr. Ayhan EROL
AKÜ Teknoloji Fakültesi

İmza

Üye :Yrd.Doç.Dr. Ahmet YÖNETKEN
AKÜ Mühendislik Fakültesi

İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Yılmaz YALÇIN

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

16/06/2014

Eyüp DONAT

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

DEMİR, KOBALT, KROM TOZLARININ ELEKTRİK AKIMSIZ NİKEL
KAPLANARAK KOMPOZİT ÜRETİMİ VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Eyüp DONAT
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ayhan EROL

Bu araştırmada, iki farklı numune hazırlama yöntemiyle hazırlanan numuneler 5 ayrı sıcaklıklarda sinterlenerek kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozitlerin mekaniksel özellikleri incelenerek en uygun numune hazırlama yöntemi ve en iyi özelliklere sahip kompozit belirlenmiştir. Araştırmada Demir(Fe), Kobalt(Co), Krom(Cr) tozları birinci yöntemimiz olan elektirik akımsız nikel kaplama yöntemi yoluyla hazırlanmıştır. İkinci yöntemde Fe,Co,Cr tozları Ni tozları ile homojen karıştırma yöntemiyle hazırlanmıştır. Daha sonra tozlarımız kalıp içine doldurularak 4 dakika presle şekil verilerek 800,900,1000,1100,1200 °C sıcaklıklarda Argon gazı altında sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelerin sertlik değerleri ölçülerek yoğunlukları hesaplanmıştır. En uygun yöntemin akımsız nikel kaplama olduğu ve mekaniksel özellikleri 1200 °C sıcaklıkta sinterlenen numunelerde elde edildiği yapılan metalografik, Edx ve mekaniksel testlerle ispatlanmıştır.

2014, xi + 68 sayfa

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi , Sinterleme , Akımsız Nikel Kaplama

ABSTRACT

Master's Thesis

IRON, COBALT, CHROME PLATING ELECTROLESS NICKEL POWDERS ELECTRICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MANUFACTURING INVESTIGATION

Eyüp DONAT

Afyon Kocatepe University

Of Sciences Institute Of

Metal Education Department

Supervisor: Doç. Dr. Ayhan EROL

In this study, two different samples prepared by the method of sample preparation in the sintered composite were produced five different temperatures. Examining mechanical properties of the composites produced with the most appropriate preparation method, and the composite having good properties were determined. In the study, iron (Fe), cobalt (Co) and chromium (Cr) powders, which were electroless nickel plating method was user for prepared in first method. In the second method, Fe, Co, Cr powder with Ni powders were at by homogeneously mixed after pressingis powders 800,900,1000,1100,1200 ° C were sintered under Argon. Sintered densities of the samples were calculated and measuring the hardness. Electroless nickel plating is the most appropriate method and mechanical properties obtained in the samples sintered at 1200 ° C as the metallographic, Edx and mechanical tests have been proved.

2014, xi + 68 pages

Key Words: Powder Metallurgy, sintering, Electroless Nickel Plating

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ayhan EROL'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN hocalarıma teşekkür ederim.

Maddi manevi yardımlarını esirgemeyen değerli aileme, eşime, Abdülbaki EROL'a ve iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eyüp DONAT

AFYONKARAHİSAR, 2014

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	İ
ABSTRACT	İİ
TEŞEKKÜR	İİİ
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	İV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	Vİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ	Vİİİ
RESİMLER DİZİNİ	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	Xİİ
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Toz Metalurjisinin Tarihçesi	3
2.1.1 Toz Metalurjisi Yöntemiyle Parça Üretimi.....	4
2.1.1.1 Toz Karıştırma	5
2.1.1.2 Tozların Sıkıştırılması	8
2.1.1.3 Tozların Sinterlenmesi	15
2.2 Toz Metalurjisinin Uygulama Alanları	22
2.3 Toz Metalurjisinin Avantajları	22
2.4 Toz Metalurjisinin Dezavantajları	23
2.5 Akımsız Metal Kaplama	24
2.6 Akımsız Nikel Kaplama	25
2.6.1 Akımsız Nikelin Fiziksel Özellikleri	27
2.6.1.1 Tabaka Yapısı	27
2.6.1.2 Kaplama Kalınlığı	27
2.6.1.3 Kaplanan Nikel Tabakasının Homojenliği	27
2.6.1.4 Ergime noktası	28
2.6.1.5 Yoğunluk	28
2.6.1.6 Elektrik direnci	29
2.6.2 Akımsız Nikelin Mekanik Özellikleri	29
2.6.2.1 Çekme Direnci	29
2.6.2.2 Kopma	29
2.6.2.3 Görünüm	30
2.6.2.4 Nüfuziyet	30

2.6.2.5 Sertlik	31
2.6.2.6 Yıpranma ve Aşınma Direnci	31
2.6.2.7 Sürtünme Özellikleri	32
2.6.2.8 Lehim ve Kaynak Yapılabilmesi	32
2.6.2.9 Korozyon Direnci	33
2.6.3 Akımsız Nikel Kaplama Banyolarının Sınıflandırılması.....	34
2.6.4 Akımsız Nikel Kaplama Türleri	34
2.6.4.1 Nikel-Fosfor Kaplamalar	35
2.6.5 Kaplama Banyolarında Oluşan Reaksiyonlar	36
2.6.6 Akımsız Nikel Kaplama Banyo Bileşenleri	37
2.6.6.1 İndirgeyiciler	37
2.6.6.2 Hızlandırıcılar	38
2.6.6.3 Nikel İyonu İçeren Tuzlar	38
2.6.6.4 pH Değeri	39
2.6.6.5 Çözelti Sıcaklığı	41
2.6.6.6 Filtre İşlemi	41
2.7 Akımsız Nikel Kaplamaların Endüstride Kullanım Alanları	42
3. MATERYAL VE METOT	43
3.1 Kullanılan Toz Malzemeler	43
3.2 Toz Karışım Oranları.....	43
3.3 Toz Karışımı ve Kaplama Prosesi.....	44
3.4 Karışımın Preslenmesi	45
3.5 Karışımın Sinterlenmesi	45
3.6 Yüzey Temizleme İşlemi.....	46
3.7 Mikrosertlik Analizi İşlemleri.....	47
3.8 Sem Analizi İşlemleri.....	47
3.9 Mukavemet Analizi İşlemleri	48
4. BULGULAR.....	49
4.1 Yoğunluk-Sıcaklık Değişimi	49
4.2 Mikrosertlik-Sıcaklık Değişimi	50
4.3 Maksimum Basma Mukavemeti-Sıcaklık Değişimi	51
4.4 SEM Analiz Sonuçları.....	51
4.5 XRD Analiz Sonuçları	57
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	60
6. KAYNAKLAR	63

6.1 İnternet Kaynakları	67
ÖZGEÇMİŞ	68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

(FeCoCr)Ni	Elektrik Akımsız Nikel Kaplanmış Demir-Kobalt-Krom Kompozit Malzemesi
(FeCoCrNi)	Demir-Kobalt-Krom-Nikel Kompozit Malzemesi
Mo	Molibden
H ₂	Hidrojen
Co	Kobalt
Fe	Demir
Cr	Krom
Ni	Nikel
H ₂ O	Su
NiCl ₂ .6H ₂ O	Nikel Klorat
N ₂ H ₄ .H ₂ O	Hidrazin Hidratın
µm	Mikrometre
pH	Asitlik ve Baziklik Değeri
°C	Derece
KN	Kilonewton
MPa	Megapaskal

Kısaltmalar

TM	Toz Metalurjisi
XRD	X-Işınları Difraksiyon Analizi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Üç Farklı Toz Karıştırma Yönteminin Şematik Olarak Gösterimi, a) Yayınma, b) Konveksiyon, c) Kesme.....	5
Şekil 2.2 Hall Akış Aparatı	7
Şekil.2.3 Preslemede Ham Yoğunluğa Ulaşma Aşamaları, a) İlk aşama, b) İkinci Aşama, c) Son aşama.....	9
Şekil 2.4 Çift Tesirli Toz Sıkıştırma İşleminde Ardışık Hareketler	10
Şekil 2.5 Silindirik Bir Kalıpta Sıkıştırılmış Bakır Tozlarında Yoğunluk Değişimi	12
Şekil 2.6 Toz Şekli Ve Toz Boyutunun Ham Mukavemete Etkisi, (a) Toz Şeklinin Etkisi, (b) Toz Boyutunun Etkisi	14
Şekil 2.7 Toz Boyut Dağılımının Paketleme Yoğunluğuna Etkisi.....	15
Şekil 2.8 1000 °C de vakumda 30 Dakika Sinterlenen Nikel Tozları Arasında Oluşan Sinter Bağları, a) Çok Sayıdaki Parçacık Arasında Bağ Oluşumu, b) Üç Adet Parçacık Arasında Bağ Oluşumu	16
Şekil 2.9 Katı Hal Sinterlemesi İçin Şematik Faz Diyagramları, a) Ötektik Faz Diyagramı, b) İzomorfuz Faz Diyagramı, c) Sinterleme İşlemi İçin Zaman-Sıcaklık Diyagramı	17
Şekil 2.10 İki Eş Küresel Toz Arasında Boyun Oluşumu	18
Şekil 2.11 Katı Hal Sinterlemesinde Difüzyon Mekanizmalarının Şematik Gösterimi .	18
Şekil 2.12 Sinterlemenin Değişik Aşamalarının Şematik Olarak Gösterimi, a) Gevşek Toz, b) İlk Aşama, c) Ara Aşama, d) Son Aşaması.....	19
Şekil 2.13 Sıvı Faz Sinterlemesinde Mikro Yapısal Değişimler.....	20
Şekil 2.14 Sıvı Faz Sinterlemesindeki Aşamaların Şematik Olarak Gelişimi	21
Şekil 2.15 Akımsız Nikelde Akımlı Nikele Göre Uniform Kaplama.....	28

Şekil 2.16 Yoğunluk Ve Fosfor Oranı Arasındaki İlişki	28
Şekil 2.17 Korozyon Oranı Ve Fosfor İçeriği Arasındaki İlişki	33
Şekil 2.18 pH Değeri İle Kaplama Hızı Arasındaki İlişki	39
Şekil 2.19 Çözeltinin pH Değeri İle Fosfor Miktarı Arasındaki İlişki	40
Şekil 2.20 Asidik Ve Bazik Çözeltilerde Akımsız Nikel Kaplanmış Numunelerin Gözeneklilik Oranına Göre Kaplanan Malzeme Miktarı.....	40
Şekil 2.21 Çözelti Sıcaklığı İle Kaplama Hızı Arasındaki İlişki.....	41

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Precise Hassas Terazî.....	43
Resim 3.2 Toz Karıştırma Makinesi	44
Resim 3.3 Tozlarımıza Şekil Verdiğimiz Kalıp	45
Resim 3.4 Presleme Makinası	45
Resim 3.5 Protherm Tüp Fırın	46
Resim 3.6 Zımpara Makinesi	46
Resim 3.7 Mikro Sertliklerini Ölçtüğümüz Mikroskopumuz	47
Resim 3.8 Sem Cihazı	48
Resim 3.9 Utest Markalı Basma Deney Makinesi	48
Resim 4.1 Yoğunluk-Sıcaklık Değişimi	49
Resim 4.2 Mikrosertlik-Sıcaklık Değişimi	50
Resim 4.3 Maksimum Basma Mukavemeti-Sıcaklık Değişimi	51
Resim 4.4 FE-CO-CR-Nİ Tozlarının 800 °C Sinterleme Sonrası Sem Görüntüsü	52
Resim 4.5 (FE-CO-CR)Nİ 800 °C Sinterleme Sonrası Sem Görüntüsü	52
Resim 4.6 FE-CO-CR-Nİ Tozlarının 900 °C Sinterleme Sonrası Sem Görüntüsü	53
Resim 4.7 (FE-CO-CR)Nİ 900 °C Sinterleme Sonrası Sem Görüntüsü	53
Resim 4.8 FE-CO-CR-Nİ Tozlarının 1000 °C Sinterleme Sonrası Sem Görüntüsü	54
Resim 4.9 (FE-CO-CR)Nİ 1000 °C Sinterleme Sonrası Sem Görüntüsü	54
Resim 4.10 FE-CO-CR-Nİ Tozlarının 1100 °C Sinterleme Sonrası Sem Görüntüsü ..	55
Resim 4.11 (FE-CO-CR)Nİ 1100 °C Sinterleme Sonrası Sem Görüntüsü	55

Resim 4.12	FE-CO-CR-Nİ Tozlarının 1200 °C Sinterleme Sonrası Sem Görüntüsü ..	56
Resim 4.13	(FE-CO-CR)Nİ 1200 °C Sinterleme Sonrası Sem Görüntüsü	56
Resim 4.14	1200 °C’ De Üretilen Fe-Co-Cr-Ni Edx Analizi	57
Resim 4.15	FE-CO-CR-Nİ Tozlarının 1200 °C Sinterleme Sonrası Elementsel Dağılımları	57
Resim 4.16	1200 °C’ De Üretilen (Fe-Co-Cr)Ni Edx Analizi	58
Resim 4.17	(FE-CO-CR)Nİ 1200 °C Sinterleme Sonrası Elementsel Dağılımları	58
Resim 4.18	X-Ray 1200 °C’ De Fe-Co-Cr-Ni Kimyasal Oluşumları	59
Resim 4.19	X-Ray 1200 °C’ DE (FE-CO-CR)Nİ Kimyasal Oluşumları	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Çeşitli Metal Ve Alaşım Tozları İçin Basınç-Ham Yoğunluk İlişkisi	12
Çizelge 2.2 Parçacık Boyut Oranı Ve Ağırlık Yüzdesinin Paketleme Yoğunluğuna Etkisi	15
Çizelge 2.3 Nikel Bileşimler	39

1. GİRİŞ

Modern teknolojiye kullanılan bir imalat yöntemi olan ve eski çağlarda alet ,silah yapımında kullanılan “Toz Metalurjisi”; karmaşık ve hassasiyeti yüksek parçaların seri üretimine uygun bir yöntemdir. Malzeme kaybının çok az olması avantajlarından birisidir (Söyler 2007, Özsoy 1996).

T/M yönteminde numune üretim öncesindeki tozların hazırlık aşaması çok önemlidir. Bunlardan bir tanesi yağlayıcıların kullanılmasıdır. Burada amaç preslenen toz taneciklerinin yüzeyleri ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltarak numuneyi kalıptan kolay bir şekilde çıkarmaktır. Preslenen malzeme daha sonra sinterlenmektedir. Sinterleme işlemi preslenmiş kompaktların toz taneciklerinin birleştirilmesi işlemidir. Sinterleme fiziksel yoğunluğun ve dayanımının elde edilmesi için önemli bir aşamadır (Söyler 2007).

Toz metalürjisiyle üretilen parçalara bakıldığında büyük oranda gözenek içeren fonksiyonel amaçlı malzemelerin üretimi hariç konstrüksiyon amaçlı mukavemeti yüksek parçalarda üretilmektedir.

T/M yöntemiyle otomotiv başta olmak üzere elektrik-elektronik, tıbbi teçhizat gibi bir çok alanda parça üretimini mümkün kılmaktadır. Otomotiv alanında fren balataları, araba kapı kilitleri, motor starterleri gibi bir çok parçanın yapımında kullanıldığı bilinmektedir (Söyler 2007). Özetle toz metalurjisi ile üretilen ürünler %60’la otomotiv endüstrisi bunu %16 ile büyük ve küçük el aletleri, %8 ile tarım aletleri, %7 ile madeni eşyalar ve %6 ile büro makineleri takip etmektedir (Yılmaz 1999, Stsuy 1993).

Kaplama teknolojisine baktımızda ise son yıllarda hızlı bir gelişme meydana gelmiştir. Bunun tek nedeni ise kaplamanın malzeme özelliklerine kazandırdığı üstünlüklerdir. Kaplama işlemi uygulanmış malzemenin maliyetinin yüksek olması dezavantaj gibi görünse de, malzemenin kullanım ömrünün uzun olması bu dezavantajı ortadan kaldırmaktadır (Kahrıman ve Avcı 2005).

Akımsız metal kaplama uygulaması birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. En önemli yeri tutan metal kaplamalar içerisinde ise nikel kaplamalardır. Akımsız nikel kaplama; nikel iyonlarının kimyasal indirgeme yöntemi ile elde edilerek malzeme üzerine kaplanması işlemidir. Akımsız nikel kaplama yöntemi korozyon ve aşınma direncinin yanı sıra homojen kaplama kalınlığı sağlayan bir yöntemdir. Bu özellikleri nedeniyle akımsız nikel kaplamalar, petrol, kimya, plastik, optik, madencilik, uçak ve uzay, nükleer, otomotiv, elektronik, tekstil ve gıda endüstrisi gibi birçok sanayi kolunda uygulanmaktadır (Matik ve Çıtak 2005).

Yapılan bu çalışmada Demir, Nikel, Krom, Kobalt element tozları kullanılarak ve Demir, Kobalt, Krom tozlarının Nikel kaplanarak tüp fırında argon atmosferi altında sinterlenmesi sonucu kompozit üretimi ve kompozitin mekaniksel özellikleri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu mekaniksel özelliklerin en iyi olduğu sıcaklık 1200 °C’de olup elektrik akımsız kaplama kullanılarak üretilen kompozitlerin avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Toz Metalurjisinin Tarihçesi

T/M en az 5000 yıllık bir geçmişe sahiptir. Demir ve demir olmayan alaşımlarının eritilmesi ve maden cevherinin işlenmesinin keşfinden daha önceki uygarlıklar tarafından geliştirilen teknolojiye benzerlik gösterir. El aletleri, silahlar ve süs eşyaları gibi yeni materyaller için kullanılmaktaydı. Sonraları bu teknoloji, Orta ve Kuzey Avrupa ve Doğu Akdeniz ülkelerine, Hindistan ve Asya'nın doğusuna yayılmıştır. 18. yy boyunca demir ve bakır gibi erimiş metal rafinesi, maden cevherinin eritilmesindeki gelişim, Avrupa ve Asya'da ergitme olmayan metal üretiminin önemini büyük ölçüde azaltmıştır. 1750 ve 1825 yılları arasında, yumuşak platin ihtiyacının ortaya çıkmasıyla endüstriyel alanda T/M'ne ihtiyaç duyulmuştur. T/M teknolojisinde ilk olarak karışık şekilli parçaların üretilmesi ve sinterlenmesi 19. yüzyılda olmuştur. 1830 yılında, T/M' de paranın preslenmesi ve sinterlenmesi için bir uygulama geliştiren Osann ile birlikte tarihi bir gelişim yaşamıştır. Osann daha sonraki çalışmalarında ise gümüş, kurşun ve bakırı kullanmıştır. 1870 yılında Gwynn, metal tozları kullanarak yataklama elemanlarının geliştirilmesini denemiştir. Günümüzde bu elemanlar kendinden yağlamalı yataklar olarak adlandırılmaktadırlar (Mediha 2007).

Toz metalurjisindeki ilk ticari gelişme, elektrik ampüllerinde kullanılan filamentlerin üretimidir. 1910 yılında Coolidge, preslenen Tungsten tozunu yüksek sıcaklıkta sinterledikten sonra tokluğunu arttırmış ve tel şekline getirilen bu materyalin daha düşük sıcaklıklarda çalışmasını sağlamıştır. Bu uygulama günümüzde hala kullanılmaktadır. Bir başka yenilik de 1920 yılında, kendinden yağlamalı gözenekli bronz yataklarının bulunmasıdır. 1920 ve 1930' lu yıllarda Tungsten gibi ağır metal alaşımlarının üretiminde likit faz sinterleme uygulaması kullanılmış ve geliştirilmiştir.

1940 ve 1950 yıllarında, bakır tozları ve kendinden yağlamalı yataklar, en temel T/M ürünü olarak modern T/M' nin doğuşunda yerlerini almışlardır. II. Dünya Savaşı' nın başlangıcında, otomotiv endüstrisinin büyümesiyle birlikte demir tozu teknolojisi ticari yaşamda ilerleme sağlamış ve hızla T/M endüstrisinde dünya çapında bir güç haline

gelmiştir. 1950 ve 1960' lı yıllarda, T/M ürünleri üzerinde yapılan yoğun çalışmalar sonucu; düşük maliyetli ve teknik yaşamını destekleyen toz birleştirme teknikleri ortaya çıkmıştır. Bunlardan başlıcaları: sıcak izostatik presleme, toz dövme, toz ekstrüzyon ve toz haddelemedir. 1970' li yıllarda, düşük alaşım çelikler, takım çelikleri ve süper alaşımların oluşumuyla yüksek performanslı malzemeler T/M'de yerlerini almışlardır. T/M malzemelerin düşük maliyet ve uzun işlem ömrü gibi üstün özelliklere sahip olması nedeniyle yeni bir pazar oluşmaya başlamıştır (Mediha 2007).

1980'li yıllarda, bir çok yeni ve önemli toz üretim teknikleri tanımlanmıştır. Bu teknikler günümüzde de varlıklarını sürdürmektedir. Bunlar; hızlı soğutma işlemleri, mekanik alaşımlama, sprey şekillendirme ve toz enjeksiyon kalıplama teknikleridir (Lawley 1992).

2.1.1 Toz Metalurjisi Yöntemiyle Parça Üretimi

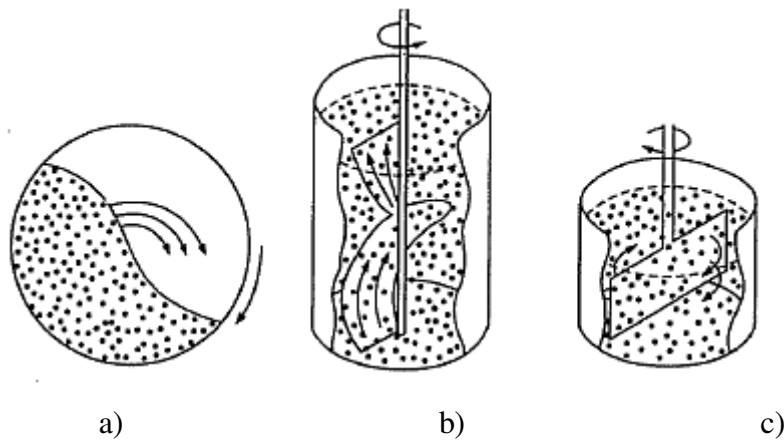
Toz metalurjisi (T/M) yöntemiyle parça üretimi; tozların bir kalıpta alt ve üst zımbalar aracılığıyla basınç uygulayarak sıkıştırılması ve sonrasında sinterlenmesi işlemidir. Sıkıştırma işleminden sonra parça elle tutulabilecek şekilde mukavemet kazanır, ancak esas mukavemet toz parçacıkları arasında bağ oluşumuna imkan veren sinterleme işleminde kazanılır. T/M yöntemiyle parça üretim işleminde tozlar hiçbir zaman üretim hattından geldiği veya satın alındığı şekliyle hemen kalıba doldurulup preslenmezler (Fatih 2011).

Presleme öncesi yapılması gereken bir seri işlem vardır ve genellikle bu işlemler toz numune hazırlama olarak adlandırılır. Bu kapsamda; toz boyut analizinin yapılması, tozların akıcılık ve görünür yoğunluklarının belirlenmesi, toz yüzey oksitlerinin temizlenmesi ve yağlayıcı gibi vb. katkıları ilave edilerek tozun karıştırılması, presleme öncesi yapılması gereken işlemler olarak kabul edilebilir (Fatih 2011).

2.1.1.1 Toz Karıştırma

Toz karıştırma presleme öncesi uygulanan bir işlem olup, homojen bir toz-yağlayıcı karışımının elde edilmesi amacıyla uygulanır. Karıştırma işlemiyle ayrıca, farklı boyutlardaki toz taneciklerinin homojen dağılımı sağlanır. Kaba taneli tozlar arasındaki boşluklar ince taneli tozlarla doldurularak yoğunluk gradyanı minimuma indirilir. Hazırlanan toz numune içerisine belli oranlarda yağlayıcılar ilave edilir. Yağlayıcıların esas işlevi tozlar arası ve toz-kalıp sürtünmesini azaltmaktır. Yağlayıcı miktarları ağırlık olarak %0,5 – 1,5 arası oranlarda kullanılır. Yağlayıcı olarak parafin, stearik asit ve çinko stearat, lityum stearat gibi metal stearatlardır. Kullanılan yağlayıcılar sinterlemenin ilk aşamalarında parçadan uzaklaşır (Fatih 2011, Nutku 2006).

Toz karıştırma mekanizmaları; yayınma, konveksiyon ve kesmedir (Şekil 2.1). Yayınma ile karıştırma döner silindir içerisinde, konveksiyon ile karıştırma vidalı karıştırıcıda ve kesme ile karıştırma bıçaklı karıştırıcıda yapılmaktadır. Yayınma ile karıştırma her parçacığın toz kütle içinde hareketi ile oluşur. Sürekli dönen silindir taze tozların kesme düzlemlerini ortaya çıkarır ve bu durum parçacıkların birbiri içerisinde karışmalarını teşvik eder. Konveksiyonla karışım toz gruplarının bir yerden diğer bir yere taşınımı ile karışmalarını içerir. Vida, küçük toz grubunu alt yüzeyden keserek harman içerisinde üst kısma taşır. Kesme ile karıştırma sürekli ayrışma ve tozların kayma düzlemleri üzerinde akmaları ile oluşur (Fatih 2011, German 2007).



Şekil 2.1 Üç Farklı Toz Karıştırma Yönteminin Şematik Olarak Gösterimi, a) Yayınma, b) Konveksiyon, c) Kesme (Fatih 2011, German 2007).

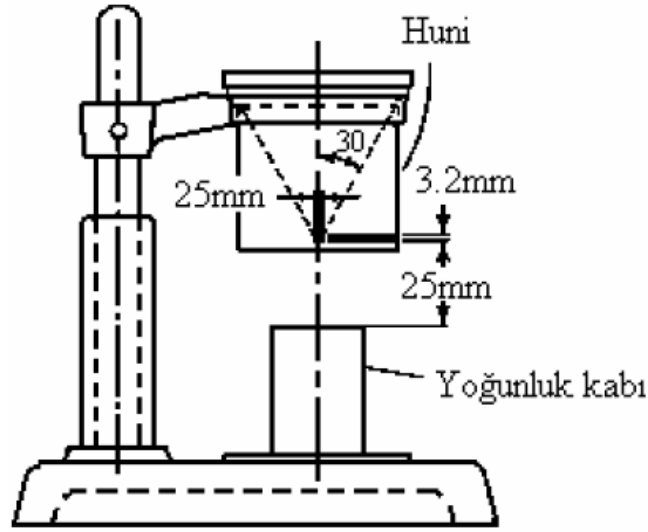
Karıştırma işleminde karıştırıcı hızı, karıştırma süresi ve doluluk oranı verimi etkiler. Karıştırıcının içi tozla dolduruldukça tozların göreceli hareketliliği azalır. Karıştırıcının doluluk oranı genellikle %30-40 arasında alınır (Fatih 2011, German 1989).

Karıştırıcının dönme hızı karıştırıcı çapına göre belirlenir. Karıştırıcı çapı küçüldükçe dönme hızı artar. Çok düşük dönme hızı karıştırma süresinin uzamasına sebep olurken, yüksek dönme hızları toza merkez kaç kuvveti vererek toz akışını engeller. Karıştırma hızı ve süresi tozlarda aşınma, şekil ve mikroyapı değişimlerine yol açmayacak şekilde belirlenmelidir (Fatih 2011, German 2007).

Tozların Akış Hızı ve Görünür Yoğunluğunun Belirlenmesi: Tozlarda görünür yoğunluk ve akış hızı ASTM B212 standardına uygun olarak Hall akış ölçer aparatıyla ölçülür (Şekil 2.2). Bu aparat 2,5 mm çapında deliği olan 60° açılı bir huni ve tozların toplandığı yoğunluk kabından ibarettir. Akış özelliği düşük olan tozlar için 5 mm çapında deliği olan huni kullanılır. Görünür yoğunluk tozun sarsılmamış, gevşek durumdaki yoğunluğudur. Diğer bir ifade ile, toz ağırlığının kap hacmine bölümüdür. Akış hızı, 50 g ağırlığındaki toz kütesinin Hall akış aparatından aktığı süre olarak ifade edilir. Gerek akış hızı ve gerekse görünür yoğunluk toz boyutu, toz yüzey pürüzlülüğü ve toz şekli arasında yakın bir ilişki vardır.

Küresel şekle sahip tozlar en iyi akış özelliği sergilerler. Küresellikten uzaklaştıkça akış hızı azalır. Düzensiz, çubuksu, iğnemsî gibi toz şekilleri birbirlerini bağladıklarından çok düşük bir akış hızı gösterirler veya hiç akmazlar. Tozlar arası sürtünme görünür yoğunluk ve akış hızında esas etkili olan parametredir. Sürtünme, önemli ölçüde toz yüzey alanı ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır.

Toz boyutu küçüldükçe yüzey alanı artar. Yüzey alanı arttıkça, birim toz kütesindeki yüzey alanı ve dolayısıyla sürtünme miktarı artar. Sonuç olarak, tozlar daha yavaş hızda akar. Akış özelliği tozların karıştırma, harmanlama ve presleme özelliklerini etkiler (Fatih 2011).



Şekil 2.2 Hall Akış Aparatı (Fatih 2011, Ünlü ve Çavuşoğlu 1995).

Ham Yoğunluk ve Ham Mukavemet: Kalıpta sıkıştırılmış toza ham parça adı verilir. Presleme sonrası yoğunluk ham yoğunluk, presleme sonrası mukavemet ise ham mukavemet olarak adlandırılır. Ham mukavemet toz parçacıkların birbirini bağlamasından elde edilir. Tozların sertliği ham mukavemeti belirleyen esas parametredir (Fatih 2011).

Yumuşak tozlar plastik deformasyona uğrayıp temas noktalarında sıvanarak bağ meydana getirirler. Sert tozlarda ise plastik deformasyon olmayacağından bağ oluşmaz. Böyle tozlarda ham mukavemet polimer esaslı bağlayıcı kullanılarak elde edilir. Toz şekli de ham mukavemet üzerinde belirleyici etkiye sahiptir (Fatih 2011).

Düzensiz şekle sahip tozların ham mukavemeti küresel olanlara nazaran daha yüksek olur. Düzensiz yapıdaki tozlar yüksek ham yoğunluğa sıkıştırıldıkları zaman, parçacıklar soğuk kaynak olur ve mekanik olarak kilitlenir. Sıvanma ve kilitlenmenin her ikisi de ham mukavemete katkıda bulunur. Ham yoğunluk sıkıştırma sonrası parça hacmi kullanılarak belirlenir. Kullanılan toz ağırlığının parça hacmine bölünmesiyle elde edilir ve teorik yoğunluğun (gözeneksiz yoğunluk) yüzdesi olarak verilir (Fatih 2011).

2.1.1.2 Tozların Sıkıştırılması

Tozların basınçla deforme edilerek, aralarında bağ oluşturma işlemine toz sıkıştırma denir. Yoğunlaşma, yüksek basınçlarda toz parçacıklarını presleyerek elde edilir. Sıkıştırma sonrası elde edilen parçanın kendi ağırlığını taşıyabilecek kadar bir yoğunluk kazandırılması gerekmektedir. Tam yoğunluk sinterleme sonrası elde edilir (German 2007).

Tozlar basınç uygulandığında; önce parçacıklar birbiri üzerinden kayarak ve daha sonra da yüksek basınçlarda parçacıkların plastik deformasyonla şekil değiştirmeleriyle yoğunlaştırılırlar. Sıkıştırma işleminin başlangıç aşamasında hızlı bir yoğunluk artışı olur. Gözenekler kapandıkça toz, yoğunlaşmaya karşı direnç gösterir.

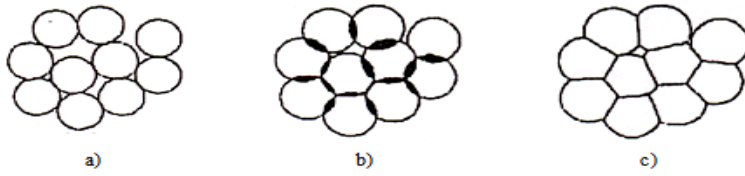
Eksenel sıkıştırma: Tozların sert bir metal kalıpta tek eksenle basınç uygulayarak sıkıştırılmasıdır. Basıncın tek bir zımbadan uygulanması tek hareketli sıkıştırma olarak ifade edilirken; basıncın alt ve üst zimbaların her ikisinden aynı anda uygulanması işlemi çift hareketli sıkıştırma olarak adlandırılır. Aynı etki üst zımbanın basınç uygulaması sırasında kalıbın hareketli olması ile de elde edilebilir. Genellikle soğuk olarak uygulanmakla birlikte, ham yoğunluğun artırılması amacıyla ılık olarak da uygulanabilir. Ilık sıkıştırma, tozun ve kalıbın sıkıştırma öncesi ısıtılması işlemidir.

İzostatik sıkıştırma: Bu yöntem kademeli ve karmaşık şekilli parçalar ile boy-çap oranının büyük olduğu parçalarda kullanılır. Soğuk veya sıcak olarak uygulanabilir. İzostatik sıkıştırma işleminde toz lastik, lateks veya poliüretan gibi esnek bir kalıpta sızdırmaz hale getirilir. Daha sonra yağ veya su gibi bir sıvının olduğu haznenin içine konarak basınç uygulanır. Sıkıştırma her taraftan olduğu için nispeten homojen bir yoğunluk dağılımı elde edilir (Fatih 2011, Ünlü ve Çavusoglu 1995).

Kalıpta Eksenel Sıkıştırma ile Presleme: Tozların kapalı bir kalıpta tek eksenle sıkıştırma ile kalıplanması, toz kalıplama yöntemleri arasında genellikle uygulanan yöntemdir. Çoğunlukla çift zımbalı sıkıştırma ile parçalar şekillendirilir. Kalıp içerisindeki toz başlangıç aşamasında görünür yoğunluktadır ve her bir toz tanesi ortalama olarak 4-6 arası komşusu ile temastadır (koordinasyon sayısı). Görünür

yoğunluktan ham yoğunluğa geçişte etkili olan iki mekanizma; parçacıkların kayarak birbirleriyle kenetlenmesi ve plastik deformasyon mekanizmalarıdır.

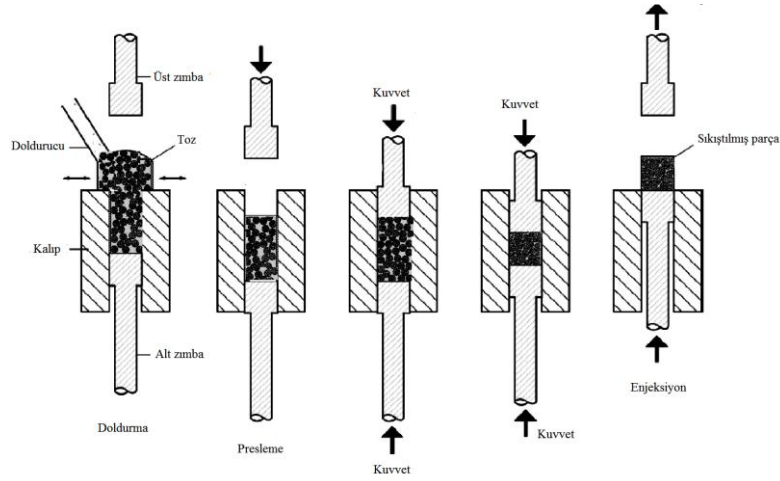
Presleme işleminin başlangıcından sonuna kadar olan safhaları üçe ayırmak mümkündür (Şekil 2.3). Presleme işleminin ilk aşamasında tozlar konumlarını değiştirerek gevşek durumdan sıkı paket durumuna geçmeye başlar. Bu aşamada parçacıkların elastik deformasyonu söz konusudur. İkinci aşamada yoğunlaşmada ani bir artış meydana gelir. Bu aşamada tozlar birbiri üzerinden kayarak yeniden konumlanırken, parçacıklar arasında kenetlenme meydana gelmiş olup geri dönüşü olmayan bir pozisyona girilmiş olur. Kenetlenen parçacıklar plastik deformasyona uğradıklarında son aşama başlamış olur. Basınç arttıkça tanecikler arası temas alanı artar. Son aşamada yoğunlaşma komşu parçacıkların karşılıklı olarak bir araya gelmesiyle sağlanır. Başlangıçta 4-6 olan parçacık koordinasyon sayısı son aşamada 10-12 gibi rakamlara ulaşabilir. Sıkıştırma işlemi devam ettikçe parçacıklar arası temas alanı büyüyerek ham yoğunluğa ulaşılır. Son aşamada parçacıkların plastik deformasyonla sertleşmelerinden dolayı yoğunlaşma hızında bir azalma görülür (Fatih 2011, Fischmeister and Arzt 1983, Poquillon 2002).



Şekil.2.3 Preslemede Ham Yoğunluğa Ulaşma Aşamaları, a) İlk Aşama, b) İkinci Aşama, c) Son Aşama (Fatih 2011, Fischmeister and Arzt 1983).

Presleme işlemi esnasında kalıpta oluşan ardışık hareketler Şekil 2.4’da gösterilmiştir. İşlemin başlangıç aşamasında üst zımba yukarıya çekilmiş durumda olup kalıp boşluğuna toz dolumu yapılır. Dolum sırasında alt zımbanın bulunduğu yer doldurma konumu olarak tanımlanır ve kalıbın içine ne kadar toz dolumu yapılacağını belirler. Toz kalıp boşluğuna doldurma pabucu ile doldurulur. Doldurma sırasında, tozun homojen olarak dolumunu sağlamak amacıyla alt zımba hareket ettirilebilir. Toz dolumu tamamlandıktan sonra doldurma pabucu geri çekilir ve ölçülü toz miktarı presleme konumuna çekilir. Üst zımba kalıba girer, alt ve üst zimbalar kalıp merkezine

doğru ilerleyerek tozu sıkıştırır. Sıkıştırmadan sonra üst zimba geri çekilir ve alt zimba parçayı yukarı doğru iterek kalıptan çıkartır. Preslenmiş parça kalıbın içinde mekanik olarak kilitlenmiş durumdadır. Parçayı kalıptan kolaylıkla çıkarabilmek için kalıbın yağlanması büyük önem taşır. Her bir parçanın kalıplanmasında bu çevrim tekrarlanır (Fatih 2011, German 2007).



Şekil 2.4 Çift Tesirli Toz Sıkıştırma İşleminde Ardışık Hareketler (Fatih 2011, German 2007).

Kalıpta Sıkıştırma İşlemine Etki Eden Parametreler: Preslemenin başlangıç aşamasında tozlar görünür mukavemete sahiptir. Presleme sonunda elde edilen mukavemet ise ham mukavemettir. Bir sonraki aşamada uygulanacak sinterleme işleminde maksimum mukavemete ulaşabilmek için sinterleme öncesi ham mukavemetin yüksek olması gerekir. Elde edilecek ham mukavemetin değeri presleme basıncı yanında esas itibariyle tozun birtakım özelliklerine bağlıdır. Bunlar; tozun kimyasal bileşimi, ortalama toz parçacık boyutu, boyut dağılımı, toz şekli ve tozun sertliğidir (Fatih 2011).

Presleme Basıncının Etkisi: Basınçla ham yoğunluk ilişkisini açıklamaya yönelik olarak bir çok araştırmalar yapılmış, çeşitli matematiksel eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitlikler arasında en yaygın kullanılanı Heckel eşitliğidir (Fatih 2011, Kurt 2011).

$$\ln 1/((1 - D)) = (k \times P + A) \quad (2.1)$$

$$A = \ln 1/(1 - D_o) \quad (2.2)$$

Burada;

D_o :Tozun görünür yoğunluğu (gr./cm³)

D :Ham yoğunluğu (gr./cm³)

P : Presleme basıncı (MPa)

k :Sabit

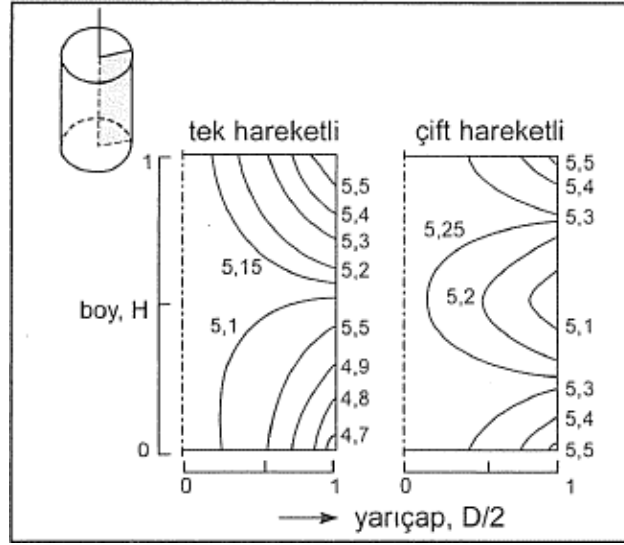
Çift tesirli presleme için ortalama sıkıştırma basıncı (PM) aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Fatih 2011, German 2007).

$$PM = P \times \{1 - UZH/D\} \quad (2.3)$$

Çeşitli metal alaşım tozlarının preslenmesinde basınçla ham yoğunluk arasındaki ilişki Çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Presleme işleminde tozlar deformasyonla birlikte sertleştikleri için hesaplanandan daha fazla basınca gerek duyulur. Yoğunlaşmaya sebep olan ortalama basınç her zaman uygulanan basınçtan daha azdır ve aşağıda verilen üç değişkene bağlıdır (Fatih 2011, German 2007).

- H/D faktörünün temsil ettiği parça geometrisi,
- Z faktörünün temsil ettiği radyal basınç dağılımı,
- U faktörünün temsil ettiği kalıp duvarı sürtünmesi,

Yüksek ham yoğunluk kısa ve büyük çaplı parçalarda elde edilir. Karmaşık şekilli parçaların ortalama ham yoğunluk ve yoğunluk dağılımlarının iyi hesaplanması gerekir. Şekil 2.5’de tek ve çift tesirli presleme yoğunluk dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Silindirik Bir Kalıpta Sıkıştırılmış Bakır Tozlarında Yoğunluk Değişimi (Fatih 2011, German 2007).

Çizelge 2.1 Çeşitli Metal Ve Alaşım Tozları İçin Basınç-Ham Yoğunluk İlişkisi (Fatih 2011, German 2007).

Malzeme Cinsi	Ortalama Toz Boyutu (μm)	Presleme Basıncı (Mpa)	Ham yoğunluk (%)
Aluminyum	45	150-275	90-95
Pirinç	65	400-700	85-90
Bronz	85	200-300	85-90
Demir	110	480-820	85-92
Paslanmaz Çelik	65	700-840	85-88
Çelik	90	500-820	88-92
Tungten	2	240-500	55-60
Tungsten Karbür	1	200-350	60-62

Sünek tozlarda ham yoğunluk görünür yoğunluğun 2-3 katı olabilir. Sıkıştırma oranının (CR) basınç altındaki yoğunluk değişimi şöyle ifade edilebilir;

$$C_R = V_L/V_C \quad (2.4)$$

VL gevşek toz hacmi, VC sıkıştırılmış toz hacmi olmaktadır. Toz doldurma derinliğini hesaplamak için tek eksenli sıkıştırmada şu formülden faydalanır;

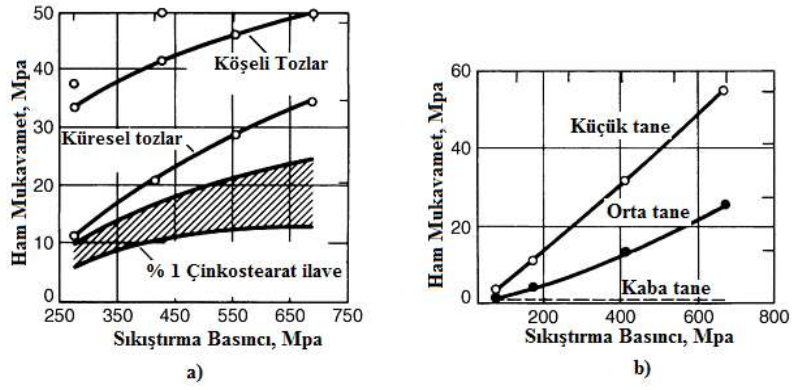
$$\text{Toz doldurma derinliği} = CR \times h \quad (1.6) \quad (2.5)$$

Burada h; sıkıştırılmış yüksekliktir (Fatih 2011, German 2007).

Ortalama Toz Boyutu, Boyut Dağılımı ve Toz şeklinin Etkisi: Toz boyutu ve toz şekli hem görünür yoğunluğa hem de preslenebilirliğe etki eder. Küçük ve küresel tozların görünür yoğunlukları büyük ve düzensiz tozlara göre daha yüksektir. Küresel tozların görünür yoğunlukları teorik yoğunluğun %60'ını bulurken, titreşime tabi tutulduklarında bu değer %64'e kadar çıkabilmektedir. Bu her parçacık için 6-7 temas noktası (koordinasyon sayısı) anlamına gelmektedir.

Düzensiz şekilli tozlarda paketleme yoğunluğu teorik yoğunluğun %30'u olurken, düzensiz şekilli ve süngerimsi tozlarda çok daha düşük olmaktadır. Parçacıklar arasındaki sürtünme, kaymayı engellediğinde tozların paketlenme yoğunlukları düşer. Parçacıklar arası sürtünme, biri diğerini kayarak geçen parçacıkların sergilediği direnci ifade eder. Bu sürtünme, önemli ölçüde toz yüzey alanı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzeyin bileşimi tarafından belirlenir.

Toz boyutu küçüldükçe (yüzey alanı arttıkça) parçacıklar arası sürtünme artar. Diğer taraftan, küresel tozların sıkıştırılabilme kabiliyetleri, köşeli yapıya sahip tozlarınkinden daha düşük olmaktadır. Şekil 2.8'de toz şekli ve toz boyutunun ham mukavemete etkisi gösterilmiştir (Fatih 2011, German 2007).



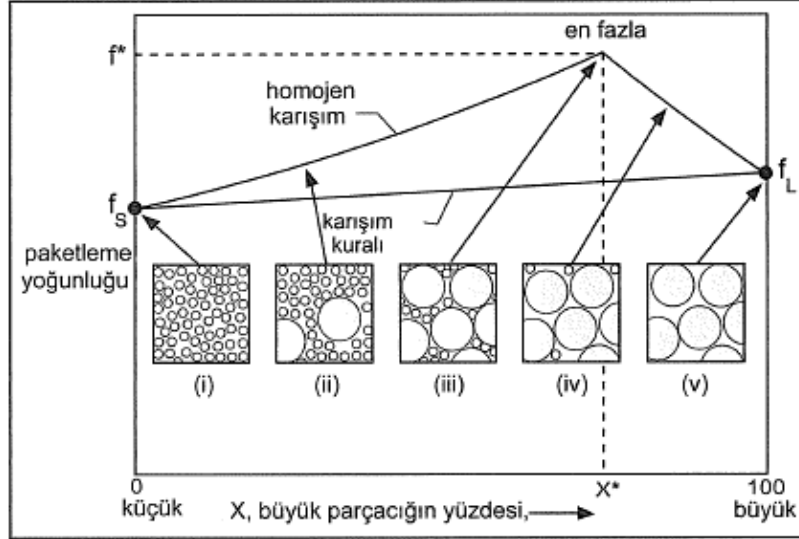
Şekil 2.6 Toz Şekli Ve Toz Boyutunun Ham Mukavemete Etkisi, (a) Toz Şeklinin Etkisi, (b) Toz Boyutunun Etkisi (Fatih 2011, Price 1998).

Toz parçacık boyutu ile sertlik arasında ters bir ilişki söz konusudur. Nispeten küçük parçacıklar hızlı soğuduklarından daha ince taneli bir mikroyapıya sahiptirler. Taneli mikroyapıların sertliği kaba tanelilere oranla daha yüksektir. Bu yüzden, nispeten küçük boyuttaki tozların preslenebilirlikleri kaba boyutta olanlara göre daha zordur (Fatih 2011, Hyoung 1998). 10 μm 'dan küçük parçacık boyutuna sahip tozlar presleme esnasında, dişi kalıp ve zımbanın rahat çalışabilmesi için bırakılan boşluklara dolabilir ve bir müddet sonra kalıbın çalışmasını engelleyebilir.

Ham yoğunluğa etki eden parametrelerden bir diğeri de toz boyut dağılımıdır. İki modlu (bimodal) dağılıma sahip tozların paketleme yoğunlukları tek modlu dağılıma sahip olanlardan daha yüksektir. Yüksek paketleme yoğunluğu aynı zamanda yüksek ham yoğunluk anlamına gelmektedir. Küçük parçacıklar seçilerek, büyük parçacıklar birbirinden ayrılmaya zorlanmadan, aralarındaki boşluklar doldurulur. Hatta daha küçük parçacıklar seçilerek kalan boşlukların içerisine yerleştirilmek suretiyle paketleme yoğunluğunda daha da yüksek değerlere ulaşılabilir. Bu durum Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Yapılan deneyler; iki farklı boyutta tozların karışımı ile oluşan karışımda, büyük parçacık/küçük parçacık boyut oranının 7/1 civarında en yüksek paketleme yoğunluğunun elde edildiğini; ağırlık oranı olarak da %73,4 oranında büyük parçacıklar ve %26,4 oranında küçük parçacıktan oluşan dağılımın %87 civarında paketleme yoğunluğuna ulaştığını ortaya koymuştur. Karışıma katılan boyut farklılığı sayısı

arttıkça elde edilen paketlenme yoğunluğu artmaktadır. Bu durum Çizelge 2.2’de gösterilmiştir (Fatih 2011, German 2007).



Şekil 2.7 Toz Boyut Dağılımının Paketlenme Yoğunluğuna Etkisi (Fatih 2011, German 2007).

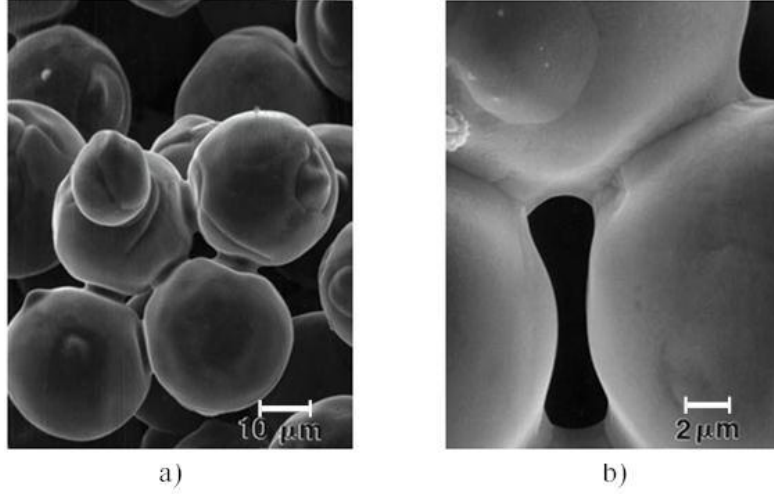
Çizelge 2.2 Parçacık Boyut Oranı Ve Ağırlık Yüzdesinin Paketlenme Yoğunluğuna Etkisi (Fatih 2011, German 2007).

Bileşen Sayısı	Boyut Oranı	Ağırlık Yüzdesi	Paketleme Oranı
1	-	100	0,64
2	7/1	73/27	0,86
3	49/7/1	75/14/11	0,95
4	343/49/7/1	73/14/10/3	0,96

2.1.1.3 Tozların Sinterlenmesi

Sinterleme, preste sıkıştırılmış gözenekli yapıdaki ham parçadan gözeneksiz yapıda parça elde etmek amacıyla uygulanan ısıl işlemdir. Bu işlem, birbirine temas eden parçacıkların yüksek sıcaklıklarda birbirine bağlanmasını sağlar. Bu bağlanma, ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleriyle oluşabilir. Bazı durumlarda sıvı faz

oluşumu ile de gerçekleşebilir. Mikroyapı ölçeğinde bağlanma, temas eden parçacıklar arasında boyun oluşumu ile gerçekleşir. Şekil 2.8’da verilen elektron mikroskobu görüntüsünde küresel tozlar arasında boyun oluşumu görülmektedir. (Fatih E. 2011, Okuyama K.2007, R.M. German 1996).



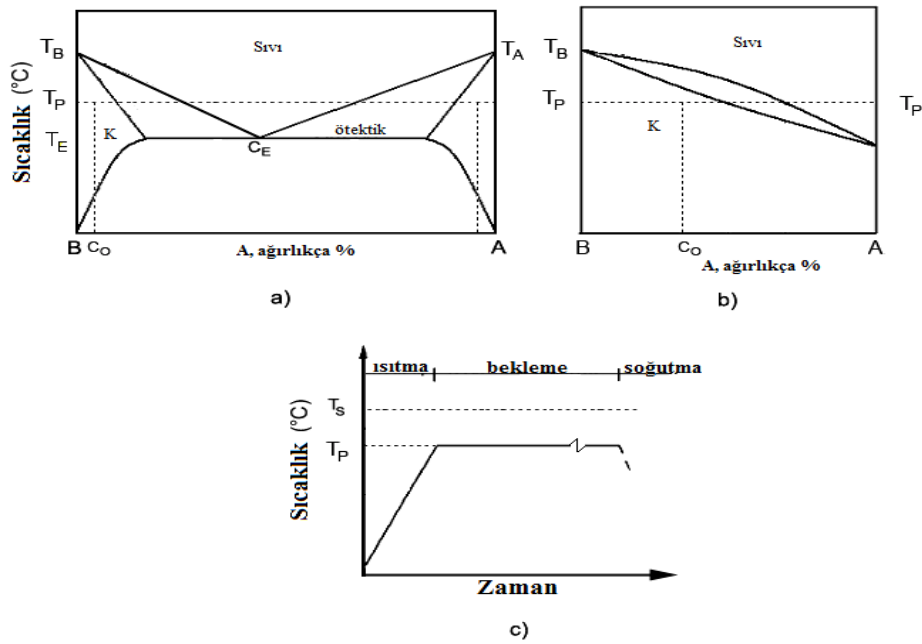
Şekil 2.8 1000 °C De Vakumda 30 Dakika Sinterlenen Nikel Tozları Arasında Oluşan Sinter Bağları, a) Çok Sayıdaki Parçacık Arasında Bağ Oluşumu, b) Üç Adet Parçacık Arasında Bağ Oluşumu (Fatih 2011, German 1996).

Sinterleme işlemi genel olarak 3 farklı şekilde açıklanmıştır; Katı hal sinterlemesi, Sıvı faz sinterlemesi, Geçici sıvı faz sinterlemesi.

Katı Hal Sinterlemesi: Metal veya alaşımın ergime noktası altında bir sıcaklıkta yapılan sinterleme işlemidir. Şekil 2.9’de ötektik ve izomorfuz faz diyagramlarında gösterildiği gibi, Co bileşimindeki bir alaşımın sinterleme sıcaklığı T_p sıcaklığını aşmamalıdır. Sinterleme işlemi difüzyonla gerçekleşen bir kütle transferi olayıdır. Uygun sıcaklık ve sürede atomların yayınımları ile kütle transferi gerçekleşir ve tozlar arasında bağ oluşur. Bu açıdan sinterleme sıcaklığı ve süresi en önemli işlem değişkenleridir. Kullanılan tozun bileşimine ve ortalama boyutuna bağlı olarak bu değişkenler belirlenir. Küçük parçacıklar yüksek yüzey enerjisine sahip olduklarından, yüksek sıcaklıkta atomların yayınımları ve küçük parçacıkların yüzey enerjilerinin azalmasıyla sinterleme gerçekleşir. Tozlarda yüzey enerjisi toz boyutuyla ters orantılıdır. Küçük boyutlu tozlar, büyük boyutlu olanlara nazaran daha yüksek yüzey enerjisine sahiptirler ve daha hızlı sinterlenirler. Büyük boyutlu tozların

sinterlenmesinde difüzyon mesafesinin uzamasından dolayı tam yoğunluğa ulaşmak için daha uzun süre sinterlemek gerekir (Fatih 2011, German 1996).

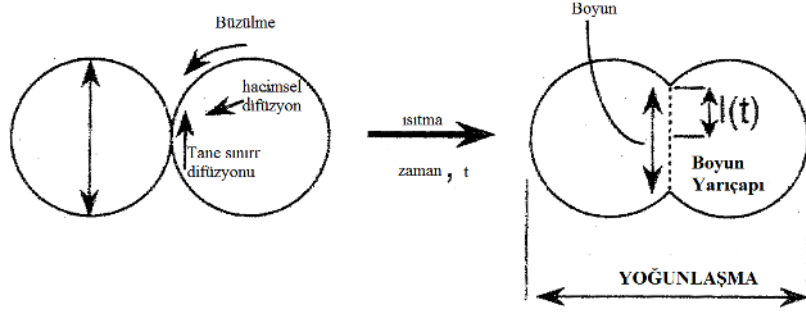
Sinterleme başlangıcında tozlar birbirleriyle noktasal temas halindedirler. Sinterleme işlemi ilerledikçe birbirine temas eden parçacıklar arasındaki bağ büyür ve birleşir. İki parçacığın tamamen birleşmesiyle çapı başlangıç çapının 1,26 katı olan tek parçacık oluşur. Küresel tozların temas noktalarına boyun adı verilir. Boyun bölgelerinin büyümesi ile morfolojik değişimler başlar. Boyun büyümesi, birbiriyle temas eden tozlardan boyun bölgesine doğru atomların difüzyonu ile gerçekleşir. Tane sınırları kütle transferinin sağlandığı yerlerdir. İki eş küresel toz arasında boyun oluşumu şematik olarak Şekil 2.10.'de gösterilmiştir (Fatih 2011, Okuyama 2007).



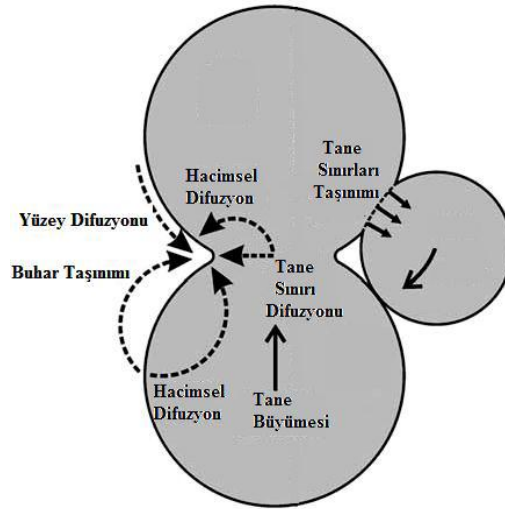
Şekil 2.9 Katı Hal Sinterlemesi İçin Şematik Faz Diagramları, a) Ötektik Faz Diagramı, b) İzomorfuz Faz Diagramı, c) Sinterleme İşlemi İçin Zaman-Sıcaklık Diagramı (Fatih 2011, German 1996).

Sinterlemede bağ oluşumu, yüzey difüzyonu, tane sınırı difüzyonu ve tane içi hacim difüzyonu mekanizmalarıyla gerçekleşir (Şekil 2.11). Sinterlemede atomların hareket etmesi sıcaklıkla gerçekleşir. Yüksek sıcaklıklarda atomlar komşularıyla bağlarını

koparıp yeni yerlerine gidecek düzeyde enerjiye sahip olurlar. Atomların hareket edebilmesi için gerekli olan en düşük enerjiye aktivasyon enerjisi denir (Fatih 2011, Wang 2006).



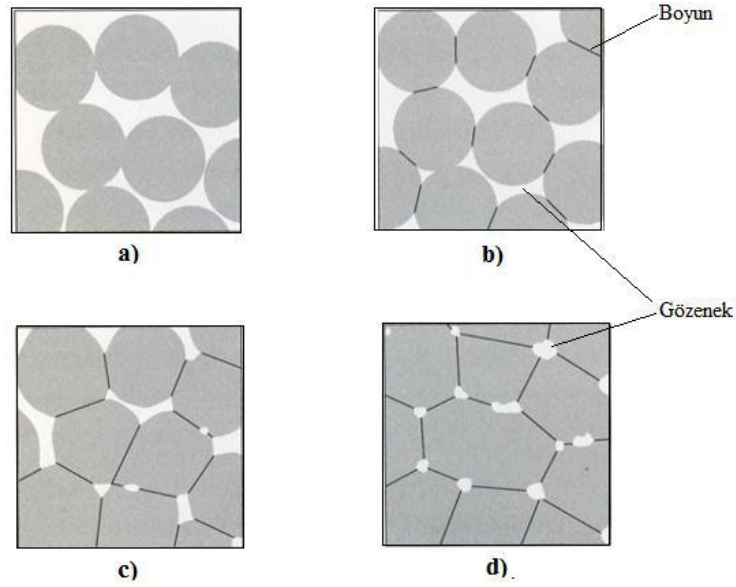
Şekil 2.10 İki Eş Küresel Toz Arasında Boyun Oluşumu (Fatih 2011, Okuyama 2007).



Şekil 2.11 Katı Hal Sinterlemesinde Difüzyon Mekanizmalarının Şematik Gösterimi (Fatih 2011, Wang 2006).

Katı hal sinterlemesinin ilk aşamasında birbirinden bağımsız olarak boyun büyümesi görülür. Sıkıştırılmamış tozlarda temas küçük noktalar ile başlar. Başlangıçta gözenekler düzensiz ve köşeli şekillidir. Optimum sinterlemede gözenekler küçük ve yuvarlak biçimde olmalıdır. Tane sınırı difüzyonu mekanizması gerçekleşirken

gözenekler tane sınırlarında yoğunlaşır. Tane sınırlarına yerleşen gözenekler tane büyümesini engeller. Sinterlemenin ara aşamasında boyunlar birbiri ile etkileşerek büyürler. Gözenekler yuvarlak ve düzgün hale gelmeye başlarlar. Sinterlemenin ilerleyen aşamalarında taneler büyür, gözenekler küçülür. Tane sınırı alanlarını azaltan gözenekler nedeniyle sistem enerjisinde bir azalma olur. Tane sınırlarından daha yavaş hareket eden gözenekler tane büyümesi esnasında tane sınırları tarafından ya sürüklenir ya da yok edilirler (Fatih 2011).

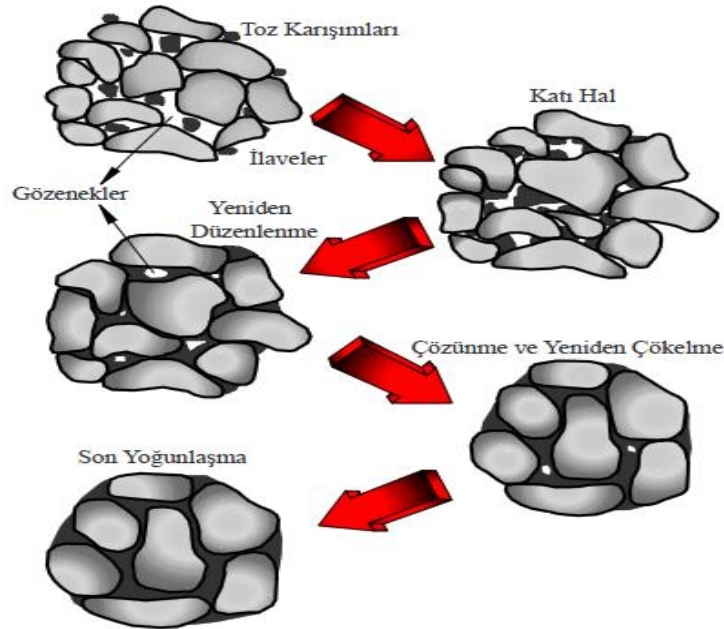


Şekil 2.12 Sinterlemenin Değişik Aşamalarının Şematik Olarak Gösterimi, a) Gevşek Toz, b) İlk Aşama, c) Ara Aşama, d) Son Aşaması (Fatih 2011, German 1996).

Sıvı Faz Sinterlemesi: Sıvı faz sinterlemesi esnasında sıvı faz ve katı bir toz kümesi aynı anda bulunmaktadır. Genellikle sıvı faz sinterlemesi parçacıklar arasında bağ oluşumunu arttırmakta ve sinterleme hızına katkıda bulunmaktadır. Sıvı fazın oluşturduğu kılcal çekim kuvvetleri sayesinde partiküller birbirlerini çekmekte ve herhangi bir basınç olmaksızın hızlı bir yoğunlaşma meydana gelmektedir. Oluşan sıvı faz, partiküller arasındaki sürtünmeyi azaltarak yeniden düzenlenmeyi hızlandırmaktadır. Parçacıklar arası bağlanmaya, mukavemet, süneklik, iletkenlik, manyetik geçirgenlik ve korozyon direnci gibi, gözenek yapısında ve parça özelliklerinde meydana gelen önemli değişiklikler eşlik eder (Özgür 2007).

Sıvı faz sinterlemesi esnasında sıvı faz elde etmek için kimyasal yapıları farklı tozlar kullanılmaktadır. İki tozun birbirleriyle etkileşimi sıvı faz oluşturmaktadır. Sıvı faz oluşturmak için diğer bir yöntem, ön alaşımlandırılmış bir metal tozunu sıvılaştırma ve katılaştırma eğrileri arasındaki bir sıcaklığa kadar ısıtmaktır. Sonuçta oluşan katı ve sıvı fazların karışımı süpersolidüs sinterlemesine yol açar (James 1985).

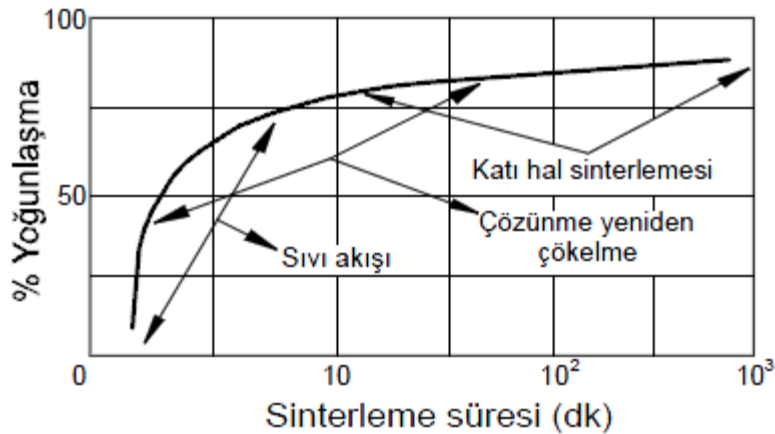
Geleneksel sıvı faz sinterlemesinde süreçler birbiri üzerine binen üç aşamada gerçekleşmektedir. Sıvı faz sinterlemesinin temel aşamaları ve mikroyapı değişimleri Şekil 2.13.'de şematik olarak verilmiştir. İlk aşamada toz karışımları sıvının olduğu sıcaklıklara kadar ısıtılmakta, sıvının oluşumu ile sıvının katı parçacıklar üzerinde ortaya koyduğu kuvvete bağlı olarak hızlı bir şekilde başlangıç yoğunlaşması olmaktadır. Sistem yüzey enerjisi en düşük duruma indirilmeye çalışılırken, gözenekler giderilir. Yeniden düzenleme boyunca mikroyapı, kılcal hareketler doğrultusunda viskoz bir katı olarak davranır. Gözeneklerin giderilmesi, sinterlenen kompaktın viskozitesi ile ters orantılı artmakta ve yoğunlaşma hızı sürekli olarak azalmaktadır (Özgür 2007).



Şekil 2.13 Sıvı Faz Sinterlemesinde Mikro Yapısal Değişimler (German 1996).

Yeniden düzenlenme ile yoğunlaşma yavaşladıkça çözünürlük ve yayınma etkileri baskın hale gelmektedir. Çözünme ve yeniden çökme aşamasında mikro yapıdaki taneler irileşmektedir. Bir tane onu çevreleyen sıvı içerisindeki tane boyutu ile ters orantılı davranış göstermekte olup; küçük taneler büyük tanelere göre daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Malzeme, yayınma yoluyla küçük tanelerden büyük tanelere iletilir. Bu süreç irileşme olarak adlandırılmaktadır (Özgür 2007).

Geleneksel sıvı faz sinterlemesinin üç kademesi ve sinterleme süresine bağlı olarak % yoğunlaşma miktarının değişimi Şekil 2.14’da verilmiştir. Sıvı faz sinterlemesinin ilk aşamasında düşük ergime sıcaklığına sahip olan bileşenler sıvı hale geçmekte, sıkıştırma sonucunda aralarında bulunan kılcal boşluklar nedeniyle oluşan kuvvetler, oluşan sıvı fazın boşluklara ilerlemesini sağlamaktadır. Islatıcı sıvıya bağlı olarak kapiler kuvvetler, sıvıyı parçacıklar üzerine ve parçacıklara yakın bir çevreye çekecek şekilde rol oynamaktadır. Oluşan sıvı faz katı parçacıklar arasına sızarken katı parçaların birbirleri üzerine kaynamalarına neden olmaktadır. Böylece mikroyapı yeniden düzenlenmeye başlamakta; parçacıklar, birbirini izleyen ve bir arada büyüyen parçacıklar gibi yakın olarak yeniden paketlenmektedir. Bu işleme paralel olarak meydana gelen viskoz akış ile mikroyapıda bulunan gözenekler giderilmektedir (German 2005, James 1985).



Şekil 2.14 Sıvı Faz Sinterlemesindeki Aşamaların Şematik Olarak Gelişimi (German 2005, German 1996).

Sıvı faz sinterlemesinin son aşaması katı hal kontrollü sinterlemedir. Katı hal iskelet yapının varlığı nedeniyle bu aşamada yoğunlaşma yavaşlamaktadır.

Geçici Sıvı Faz Sinterlemesi: Sıvı faz sinterlemesinin iki farklı alternatifinden biri geçici sıvı faz sinterlemesidir. Yüksek ergime sıcaklığına sahip katı faz çözünme oranının yüksek olduğu durumlarda geçerli olan bu mekanizmada preslenmiş kompakt sinterleme sıcaklığına çıkartılırken sıvı faz oluşur ve oluşan sıvı faz, iç yayınmayla katı ergiyiğe geçerek yok olur. Kompakt sinterleme sıcaklığında bekletilirken sürecin sonunda oluşan homojen bir katı ergiyik veya iki veya daha fazla katı fazdan oluşan heterojen bir alaşım olabilir (Özgür 2007).

2.2 Toz Metalurjisinin Uygulama Alanları

T/M ‘ de kullanılan metal tozları 200 um’ den küçüktür ve gelişen teknolojiyle birlikte her geçen yıl daha da küçülmektedir. T/M ile bir çok alanda uygulamalar mevcuttur. Bunlardan bazıları; kendinden yağlamalı yatak burçları, metalik filtreler, metal ve metal olmayan elemanların alaşımı, süreli mıknatıslar, röle kontakları, elektrik ampüllerinin filamentleri, freze çakıları, elmas uçlar, sürtünmeyle çalışan yataklar, dişliler, pompalar ve daha pek çok alanda kullanılmaktadır (Mediha 2007).

2.3 Toz Metalurjisinin Avantajları

- Aynı kalitede tekrar üretilmesi ve üründe homojenliği sağlama özellikleri diğer yöntemlere göre daha yüksektir (Muzaffer 2011).
- Döküm yöntemiyle ve talaşlı üretim yöntemiyle şekillendirilemeyen parçalar toz metalürjisi yöntemiyle üretilir.
- Toz metalürjisiyle üretilen parçalara bakıldığında büyük oranda gözenek içeren fonksiyonel amaçlı malzemelerin üretimi hariç konstrüksiyon amaçlı mukavemeti yüksek parçalarda üretilmektedir

- Toz halindeki ürünlerin titreşim söndürme özellikleri diğer yöntemlere göre daha yüksektir.
- Sürekli dökümde kalıp başlıkları içerisine yerleştirilen toz plakalar gözenekli oldukları için yağlayıcılar bu gözeneklerden sürekli olarak kalıp-ingot ara yüzeyine sevk edilebilir. Böylece yapışmaya mani olunarak hem ingotların yüzeylerinin kalitesi artırılır ve hem de çalışanlar için son derece tehlikeli olan sıvı metal akıntılarının oluşumu (kanama) önlenir (Muzaffer 2011).
- Aşınma, magnetik ve diğer özellikler istenilen özellikleri karşılayacak şekilde kontrollü olarak dizayn edilebilir (kontrollü fabrikasyonla ürünlere istenilen özellikler kazandırılabilir) (Muzaffer 2011).
- Toz metalürjisi malzeme kaybına neden olmayan özelliğiyle diğer yöntemlere göre tek yöntemdir (Sarıtış 1996, Anık ve diğerleri 1997).

2.4 Toz Metalurjisinin Dezavantajları

- Bazı üretimlerde toz metalürjisi parçalarının mekanik özellikleri döküm ve dövme ile üretimi gerçekleştirilen parçalara göre özelliklerinden daha düşük özellikler taşımaktadır. Gerilmelerin yüksek olduğu uygulama alanlarında bu özellikteki parçalar kullanılamaz.
- Toz prosesinde sıcaklığın, basıncın yüksek olması ve aşınmanın şiddetli olması söz konusu olduğu için kalıplar büyük kütleler halinde ve maliyeti fazla olan malzemelerden yapılmaktadır.
- Toz malzemeler dövme ve döküm malzemelere göre daha pahalıdır.
- Yoğunluğun malzeme içerisinde değişimi malzemenin özelliklerinde de değişime neden olmaktadır. Bunun ana nedenlerinden biri parçaların tasarımı

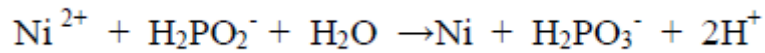
yapılırken dizayn kriterlerine riayet edilmemesidir. Toz metalürjisi yöntemiyle üniform olmayan şekillerin üretilmesi halinde bu şekilde problemlerle karşılaşılabilir (Saritaş 1996, Anık ve diğerleri 1997).

2.5 Akımsız Metal Kaplama

Akımsız kaplama yöntemi bir gerilim uygulanmadan metal kaplamanın elde edilmesini sağlar. Akımsız kaplama değişik malzemeler üzerinde metal-metal alaşımların kaplanmasını içeren iyi kurulmuş bir yüzey mühendislik işlemidir. Geçmiş 50 yıllık süreçte akımsız kaplama mükemmel korozyon, sürtünme ve aşınma direncine sahip kaplama üretme yeteneğinden dolayı çok büyük popülerite kazanmıştır (Balaraju 2006).

Kimyasal yer değiştirme akımsız kaplamanın en basit şeklidir. Daha az soy metal(daha çok elektronegatif), daha soy metal(daha çok elektropozitif) ile çözeltide yer değiştirir. Örneğin, çinko parçası bakır iyonları içeren bir çözeltiye daldırılırsa her iki metalin elektrot potansiyelleri çinkonun iyonik halde çözeltiye geçmesini ve bakırın yüzeyde birikmesini sağlayacak şekildedir. Sonuç olarak çok ince kaplamalar (0,02-0,5 arasında) elde edilir. Bu kaplamalar çoğunlukla dekoratif fakat bazen teknik olarak kullanılabilir (Burakowski and Wierzchon, 1999).

Kimyasal indirgeme olayı da akımsız kaplamaların diğer bir şeklidir. Uygun bir kimyasal maddenin etkisiyle metalin iyonlarını içeren bir çözeltiden birikimdir, eğer gümüş nitratın amonyaklı çözeltisine formaldehit eklenirse bir kimyasal tepkime olur ve gümüş birikir. Akımsız kaplamalar ilk kez nikel için geliştirilmiş ve kaplama çözeltisinin ana bileşenleri olarak nikel klorür ve sodyum hipofosfit kullanılmıştır.



Yukarıdaki tepkimede nikel hipofosfit tarafından katalizlenir. Ayrıca çelik, alüminyum, kobalt ve paladyum tarafından katalizlenir ve bu sözü edilen dört metal bir ön işlem uygulanmadan nikel ile kaplanabilir. Bakır katalitik değildir ancak kaplama, bakırın çeliğe ya da alüminyuma bağlanmasıyla kaplama banyosuna daldırılmasıyla gerçekleştirilebilir (Saraç 1995).

2.6 Akımsız Nikel Kaplama

Akımsız nikel kaplama uygulaması birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Dünya ekonomisinde metal kullanımının artışına paralel olarak, bu metallerin tahrip olma tehlikesi de artmaktadır. Modern yüzey teknolojisinin esas amacı; endüstriyel alanda taşıma, servis araç gereçlerinin ömrünü arttırmak, bunlara uygun dekoratif ve fonksiyonel kaplamalar sunmaktır. Pratikte bu amaç için nikel büyük bir kullanım alanına sahiptir. Nikel kaplama teknolojisi daima gelişim halindedir ve nikel modern endüstrinin çok değişik sektörlerinde kullanılmaktadır. Günümüzde nikel kaplama modern yüzey teknolojisinin en çok kullanılan proseslerinden biri haline gelmiştir (Kahriman ve Avcı 2005).

Akımsız nikel kaplamaların tercih edilmesinin başlıca nedenleri;

- Kaplama kalınlığının malzemenin her tarafında aynı olması,
- Çok iyi bir korozyon direnci,
- Aşınmaya karşı mukavemet,
- Yüksek kaplama sertliği,
- Kaydırıcılığının yüksek olması,
- Lehimlenebilme özellikleridir (Zhang 2005).

Elektrolitik, yani metal kaplama banyolarında akım geçirilerek elde edilen nikel kaplamalar 19. yüzyıldan beri metal yüzeyini korozyondan korumak veya onlara dekoratif ve mühendislik özellikleri kazandırmak amacı ile kullanılmaktadır. Akımsız olarak elde edilen kaplamalar arı nikel katmanları olmayıp, daha çok nikel fosfor veya nikel bor alaşımlarıdır. Nikel kaplamalar, nikel tuzları içeren bir çözeltiye daldırılmış ve yüzeyi iletken veya katalitik bir malzeme üzerinde indirgeyicinin etkisi ile nikel iyonlarının nikel metaline dönüşmesi sonucu elde edilir. Bu sırada açığa çıkan fosfor veya bor ile birleşen nikel intermetalik bir alaşım oluşturur. İndirgenme olayı kendisi de katalitik etki gösteren nikel üzerinde devam eder (Kahriman ve Avcı 2005).

Kimyasalın ulaştığı her yerde kaplama homojen bir yapıya sahiptir. Bu ana avantajı yanında dezavantaj olarak, akımsız nikel banyolarının yüksek standartlarda kalite kontrol gerektirmesi, akımsız nikel banyolarında pahalı kimyasalların kullanılması ve bunların sonucunda oluşan maliyet artışıdır (Cheong 2004).

Akımsız nikel kaplama, kenar ve köşelerde yığılma yapmadan parçanın tüm yüzeyinde homojen kaplama sağlıyor. Kör noktalarda olduğu gibi birikimin kalınlığı keskin kenarlarda da aynı olmaktadır (Henry 1997).

Akımsız nikel kaplamalar birçok uygulamalarda çok geniş kullanılmaktadır. Bunlar; uzay endüstrisi, otomotiv sektörü, kimyasal işlem sanayilerindeki uygulamalar, petrol ve gaz üretimi, medikal ve dental aletler, askeri uygulamalar ve korozyona, aşınmaya karşı iyi direnç sağladığı düşünülen yerlerde uygulamaları mevcuttur (Chen 2002).

Akımsız nikel kaplama, metal yüzeyinde nikel iyonlarının bir indirgeyici etkisi ile nikel metaline dönüşmesi esasına dayanır. Elektrik akımı kullanılmadan nikel iyonlarının oto katalitik kimyasal indirgeme yöntemi ile elde edilerek metal yüzeyine kaplama işlemine de “akımsız nikel kaplama” denir. Akımsız nikel kaplama tekniğinde farklılık sadece elektrik akımının kullanılmaması olmayıp, bu yöntemle elde edilen kaplamada nikel ağırlıkça %88-95 oranında olup beraberinde metal olmayan elementleri de yüzeye bağlamasıdır. Nikel iyonları ve birlikte sürüklenen fosfor gibi metal olmayan maddelerde kaplama yapısının içerisinde yer alırlar ve bunun sonucunda “metalik cam” adı verilen amorf bir tabaka oluşur. Mikro yapı incelendiğinde bütün metallerde mevcut olan tanelerin ve tane sınırlarının olmadığı görülür.

Diğer elektrolitik yöntem ile kaplanmış kaplamalar gibi kendi kendini kurban eden bir kaplama olmayıp, malzemeyi ortamdaki tam olarak izole eden bariyer niteliğinde bir kaplamadır. Proses sonucu elde edilen nikel kaplamada, son derece düzenli bir yapıya sahip, sert, sürtünme katsayısı düşük, korozyona karşı dayanıklı tabaka oluşturması ve lehimlenebilir özelliğe sahip özellikte malzeme üretilmektedir. Bu kaplamalar kendilerine has özellikleri ile endüstride belirli alanlarda rakipsiz, birçok alanda diğer tür kaplamalara tercih edilir hale gelmiştir (Kahrman ve Avcı 2005).

2.6.1 Akımsız Nikelin Fiziksel Özellikleri

2.6.1.1 Tabaka Yapısı

Metalik Camsı doku özeliğine sahip birkaç mühendislik malzemesinden biri olup çok az sayıda bulunmaktadır. İç yapısında mikro boşluk bulunmadığı gibi homojen bir yapıya sahiptir. İçerisinde mikro boşlukların olduğu yapıya çevrilebilir. Bu oluşum metalik cam olarak adlandırılmaktadır. Kimyasal banyonun içeriğine bağlı olarak değişebilen fosfor kompozisyonu değişikçe değişen kaplama hızı, tabakanın iç yapısı ve stres seviyesi kaplanan nikel tabakasının da yapısını değiştirir (Esin 2009).

2.6.1.2 Kaplama Kalınlığı

Homojen olarak ve istenilen boyutta hassas derecede kaplama yapmak mümkündür. Genelde kullanılan kaplama kalınlığı 2,5 ile 25 mikrondur. Bu kalınlık üzerine artısı, eksisi olmak üzere ortalama 2,5 mikron toleransı vardır. Koroziyel çalışma şartlarının yüksek olduğu yerler için 25- 75 mikron aralıkları tercih edilmektedir. 75 mikron üstü olduğu durumlarda parça kurtarmak için tercih edilir. Kaplama kalınlığının artması yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır (Esin 2009).

2.6.1.3 Kaplanan Nikel Tabakasının Homojenliği

Eşit kalınlıkta ve homojen bir şekilde oluşması, kaplama sonrasında yapılan bazı mekanik işlemleri ortadan kaldırarak olabildiğince üst düzeye performansını taşımaktadır. Kaplama kalınlığı; elektro kaplamalarda parçanın geometrisine, konfigürasyonuna ve anot'a olan mesafesine göre değişkenlik gösterir . Şekil 2.17'de akımsız nikel kaplamaların akımlı nikel kaplamalara göre uniform bir kaplama sağladıkları görülmektedir (Esin 2009).



Akımsız Nikel Kaplama

Akımlı Nikel Kaplama

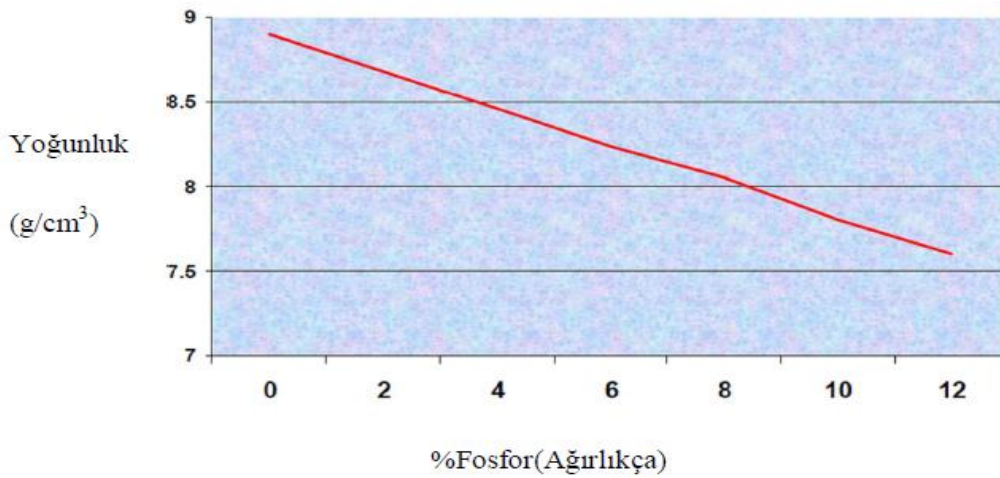
Şekil 2.15 Akımsız Nikelde Akımlı Nikele Göre Uniform Kaplama.

2.6.1.4 Ergime Noktası

Ötektik alaşım olup geniş ergime aralığına sahip alaşımdır. Tam bir ergime noktasına sahip değildir. Ergime aralığı, malzemenin içerisinde bulunan fosfor yüzdesine göre değişim göstermektedir. Fosfor yüzdesinin düşmesiyle birlikte ergime aralığında genişleme meydana gelir (Esin 2009).

2.6.1.5 Yoğunluk

İçerisinde bulunan fosfor yüzdesi ile ters orantılı olarak değişim göstermektedir. Yüksek fosfor oranında (%10,5) 7,75 g/cm³, düşük fosfor oranında 8,5 g/cm³, 'dür (İnt.Kyn.5). Şekil 2.16.'de yoğunluk ve fosfor oranı arasındaki ilişki verilmektedir.



Şekil 2.16 Yoğunluk ve fosfor oranı arasındaki ilişki (İnt.Kyn.5).

2.6.1.6 Elektrik Direnci

Elektiriksel özellikleri Nikel tabakasının iç yapısında değişim gösterir. Fosfor içeriğinin yüksek olduğu tabakalar, konvansiyel iletkenlik özelliğine sahip bakırdan daha az iletkenliğe sahiptir. Fosfor yüzdesinin düşük olduğu tabakanın iletkenliği 20 $\mu\text{O-cm}$ 'dir.

Elektrik direncinin fazla önem taşımadığı uygulamalarda daha ince tabakaların kaplanması uygun görülmektedir. Kaplama banyosunun kimyasal içeriği ve malzemeye uygulanan ısı işlem uygulamalarıda direnci etkiler. Isıl işlem gören nikel tabakasının yapısındaki fosfor oranının çökelti haline geçmesinden dolayı iletkenlik özelliği 2-4 kat aralığında artma göstermektedir. Nikel tabakası içerisindeki yapıda, fosfor oranının termal genişlemede ki etkisi yüksektir [İnt.Kyn.4].

2.6.2 Akımsız Nikelin Mekanik Özellikleri

Amorf özellik içeren farklı kaplamalarla da aynı özelliği göstermektedir. Direncinin yüksek olması, esneme özelliğinin yüksek modüllülük göstermesi gibi.

2.6.2.1 Çekme Direnci

Sertleştirilme yapılan birçok çeliklerle eşdeğer özelliklere sahiptir. Bulunduğu ortamda parçanın uzun süre zarar görmeden işlevini sağlar. Nikel tabakasının iç yapısında bulunan fosfor oranına göre 700 Mpa (100kpsi)'a kadar dayanım göstermektedir (Esin 2009).

2.6.2.2 Kopma

Kompozisyonuna bağlı olarak uzama özelliği değişkenlik gösterir. Kopmaya karşı mukavemeti mühendislik alanında kullanılan malzemelerine göre daha iyi seviyededir. Muhtelif içerikli talepler için yeterli özelliklere sahiptir. Tam bir daire oluşturacak biçimde kendi etrafında ince kalınlıkta kaplama yapılmış tabaka, büküldüğünde kopma veya çatlama oluşmaz. Malzeme ile birlikte doğru orantılı olarak sünme gösterir. Bu

özelliğinden dolayı yaylara ve esneyen tüm parçalara başarıyla uygulanır. Bükülerek veya çekilerek işlevini yerine getiren parçalara uygulanması doğru değildir. Bunun nedeni ise ufak bir deformasyonun oluşması sonucu, tabakanın çatlamasına sebep olduğu gibi bu olayda korozyon ve abrazyona karşı gösterilen direncin azalmasına neden olur. Sülfür içeren ilave katkıları veya düşük fosfor yüzdesi kopmaya olan dayanımını artırmaktadır. Sıfır kopma sınırına neredeyse gelir (Esin 2009).

2.6.2.3 Görünüm

Kaplama yapılan nikel tabakasının görüntüsü alt malzemenin topografisine ve banyonun kimyasal içeriğine göre değişiklik göstermektedir. Kimyasal banyo içerisindeki solüsyonların görüntüsünün, mat görüntüden parlak görüntüye ayarlanabilmesi mümkündür. Ayna yüzeyi parlaklığında parlatılmış yüzeyler gibi aynı parlaklık da kaplama tabakası yapılabilir. Polisaj yapılan, kumlanmış veya döküm yüzeylerde parlak yüzey meydana gelse de bunlara rağmen ayna parlaklığının seviyesine ulaşmak mümkün değildir. Korozyona karşı mukavemetin artırılması, mükemmellik derecesinde uzama, düşük oranda stres, kalın kaplama ve en düşük seviyede çillenme istenildiği durumlarda ise parlak kaplamadan kaçınılması gerekmektedir (Esin 2009).

2.6.2.4 Nüfuziyet

Bir çok alt malzemeyle Nikel tabakasının nüfuziyeti çok iyidir. Katalitik metallerin hepsinde başlangıç reaksiyonları oluşmaya başlar. Alt malzeme üzerindeki mikroskobik parçacıklar banyo solüsyonuyla temizlenip kaplandığı için metalik ve mekanik bağ oluşur. Katalitik olmayan, pasif metallerde (paslanmaz çelik gibi) başlangıç reaksiyonu oluşmaz. Bundan dolayı durum nüfuziyetinde azalma gösterir. Bununla birlikte çok ince bir tabakaya, akımlı nikel uygulanarak başlangıç reaksiyonu oluşturulur. Alüminyumla gerçekleştirilen banyoda ise nikel tabakası 130-200°C sıcaklığı aralığında ve 1 ile 4 saat zaman zarfı içerisinde fırınlama işlemi uygulanması sonucunda tabakanın yapısında bulunan hidrojen serbest bırakılmış olur. Bağ kuvvetini artırmak için tabakanın alt malzemeye difüzyonunu sağlamak gerekir (Esin 2009).

2.6.2.5 Sertlik

Kaplamanın en önemli özelliğinden bir tanesi de sertliğidir. Kaplanan tabakanın mikro sertliği yaklaşık olarak 500-700 HV aralığındadır. Yaklaşık olarak 45-58 HRC(Rockwell)'e denk gelir ve bu oran sertleştirilmiş alaşımlı çelikle aynıdır. Kaplama işlemi bittikten sonra yapılan ısıl işlemle oluşan alaşım tabaka çöktürülerek 1100 HV sertlik değerindedir. Bu oranda sert kromla kaplanan kaplama tabakasının sertliği ile aynıdır.

Hassas olan parçaların ve alt malzemenin özelliklerinden dolayı yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlemi tolere etmeyebilir. Bundan dolayı da düşük sıcaklıklarda uzun zaman zarfında ısıl işlem gerçekleştirilerek istenilen sertliğe ulaşılabilir. En çok kullanılan 340°C'de 4-6 saat aralığında ve 290°C'de 10-12 saat aralığındaki ısıl işlem sonucu 950-1000 HV aralığında sertliğe ulaşılır. Bu sıcaklıkların haricinde 260°C'de yapılan ısıl işlemle daha düşük sertlik elde edilir. 230°C'deki sıcaklıkta ve 230°C sıcaklığın altında uygulanması durumunda ise sertlikte çok az artış elde edilir. Genelde düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen sertleştirme işlemleri çok az uygulanan durumlardan biridir. 180°C ve 200°C'deki 2-4 saat aralığında yapılan ısıl işlemin amacı ise hidrojeni dışarı çıkartarak gerilimi azaltmak ve daha çok alt malzemelerle aralarındaki bağ kuvvetini artırmaktır.

Mükemmellik bakımından sertliğin en iyi derecesi 400°C'de uygulanan ısıl işlemle oluşur ve bu derecede malzemenin sertliği sert kromun sertliği ile eşdeğer olup bazen de bu seviyeden daha sert tabaka meydana getirmek mümkündür (Esin 2009).

2.6.2.6 Yıpranma ve Aşınma Direnci

Aşınmayı mekaniksel olarak tarif edersek malzemenin, malzeme yüzeyinden azalması anlamına gelir. Kaplanan malzememize sertleştirme uygulansa da, sertleştirme uygulanmasa da malzememizin aşınmaya karşı direnci ve yıpranmaya karşı direnci mükemmeldir. Laboratuarda yapılan test sonuçlarına bakıldığında tam olarak ısıl işlem uygulanmış nikel tabakasının yüzeyi yağlı veya yağsız halde bile aşınmaya karşı direnci

sert krom ile aynı seviyededir. Bu en önemli görülen özelliğiyle sert krom kaplama ve yüksek alaşımlı malzemelere karşı ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır.

Akımsız nikel ile kaplanmış ayrıca ısıtıl işlem uygulanmış V Blokların yağlanarak Faleks aşınma testi uygulanmasından sonra sert krom ile karşılaştırıldığında daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Yüksek oranda fosfor içeren nikel tabakaları yapışmadan dolayı meydana gelen aşınmalar karşısında daha dayanıklıdır (Esin 2009).

2.6.2.7 Sürtünme Özellikleri

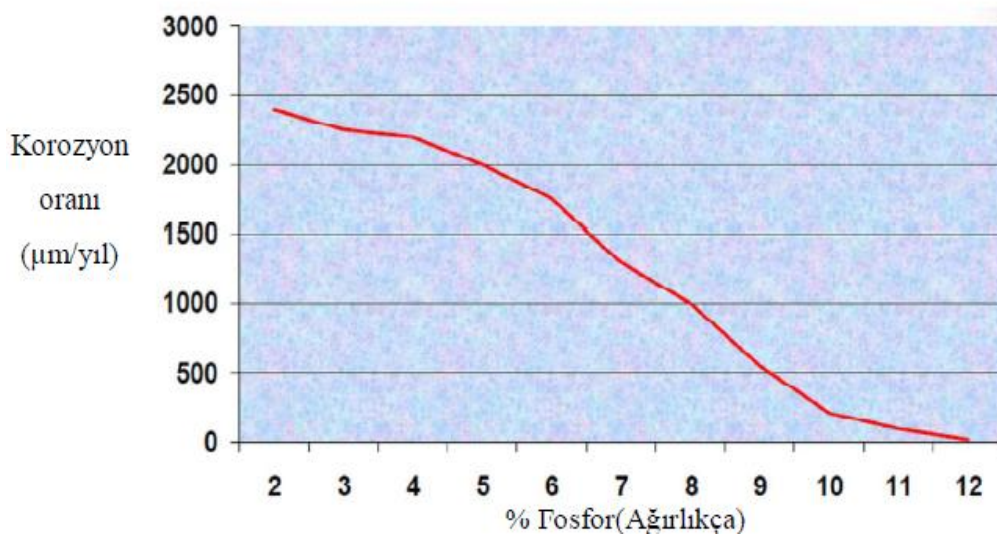
Sürtünme karakteri özelliğine bakarsak mükemmel denecek seviyededir. Yağlanmış tabakanın sürtünme katsayısı 0,13 olduğu gibi, yağlanmamış tabakanın ise 0,6'dır. PTFE kompozit kaplamanın ise kuru iken 0,17 olduğu gibi, yağlanmış durumda iken 0,07'dir. Nikel tabakasının içerdiği fosfor doğal kaydırıcılık sağlamaktadır. Bundan dolayı parçanın aşırı derecede ısınmasını böylelikle engellemiş olur. Parçanın çalışma esnasında sürtünmeden kaynaklanan fazla sıcaklığın ve daha sonra soğumadan kaynaklanan aşırı derecedeki genleşmeyle büzülmeden kaynaklanan olumsuzlukları ortadan kaldırarak parçanın uzun süre bozulmadan çalışmasını sağlar. Plastik enjeksiyon kalıplarında bu özelliğinden dolayı rahatlıkla kullanılabilir (Esin 2009).

2.6.2.8 Lehim ve Kaynak Yapılabilmesi

Elektirik akımsız kaplanan nikel tabakası kolaylıkla lehimlenebilir. Genellikle elektronik çalışmalarda akımsız nikel kaplanmış hafif metallere de (alüminyum gibi) lehim rahatlıkla uygulanır. Nikel fosfor alaşımının kaynak edilebilme özelliğinin çok düşük olması, içerisinde bulunan fosforun çelik içerisine difüze olması ve çeliği kırılgan bir yapı özelliğine dönüştürmesinden dolayı kaynak edilebilme özelliği çok düşüktür. Saflık derecesinde olan yüksek paslanmaz çeliklerde elektrot kullanılmasıyla ve yardımcı gaz verilerek kaynak yapıldığını gösteren başarılı çalışmalar olmuştur (Esin 2009).

2.6.2.9 Korozyon Direnci

Bariyer kaplamadır. Alt malzemeyi çevre şartlarından tamamen izole eder. Akımsız nikel tabakasında bulunan fosfor oranına, nikel tabakasının kalınlığına ön yüzey hazırlama ve kaplama sonrası son işlemlere ve alt malzemeye bağlı olarak direnç gösterir. Son derece pasif olması nedeni ile çevresel şartlara karşı dirençlidir. Fosfor oranı değiştikçe pasiflik (korozyon) direncide değişir. Şekil 2.17’de korozyon oranı ve fosfor içeriği arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 2.17 Korozyon Oranı Ve Fosfor İçeriği Arasındaki İlişki [İnt.Kyn.5].

Oksit meydana getiren asitler dışında birçok organik ve inorganik kimyasallara karşı dayanıklıdır. Özellikle nötr ve alkali solüsyonlara karşı direnci çok iyidir. 25 mikron kalınlıkta kaplanmış çelik ya da alüminyum malzeme yıllarca korozif endüstriyel ve deniz şartlarına dayanabilir (İnt.Kyn.6).

Mükemmel korozyon direnci nedeniyle, akımsız nikel kaplama korozif ortam için tasarlanmış kaplama parçası olduğu zaman kullanılmaktadır. Kaplanan parça kaplamadan sonra daha sert olmamalıdır. Çünkü sertlik korozyon direncini önemli ölçüde düşürür (Bal Seal Engineering 2003).

Isıl işlem uygulamak nikel tabakasının korozyona olan direncini etkiler. Isıl işlem uygulanmış nikel tabakasında fosfor oranı azalır. Amorf (camsı-metalik yapı) özelliğini kaybeder. Aktif/pasif küçük korozyon hücreleri meydana gelir ve tüm yapı içersinde dağılır, yapıda meydana gelen çekme-büzülmeden dolayı amorf yapı mikro çatlaklar içeren yapıya dönüşür. Isıl işlemle birlikte sertliği artan tabakanın korozyon direnci azalır. Elektro kaplamalarla aynı seviyeye iner. Korozyon direncinin daha önemli olduğu parçalarda ısıt işlem uygulanmamalıdır (İnt.Kyn.6).

2.6.3 Akımsız Nikel Kaplama Banyolarının Sınıflandırılması

Akımsız nikel kaplama banyolarını genel olarak dört gruba ayırabiliriz. Bunlar;

- a) Alkali, Nikel-Fosfor,
- b) Asidik, Nikel-Fosfor,
 - Yüksek fosforlu
 - Düşük fosforlu
 - Orta fosforlu
- c) Alkali, Nikel-Bor,
- d) Asidik, Nikel-Bor banyolarıdır.

Ayrıca indirgeyici ortamın cinsine göre banyoları sınıflandırırsak;

- Hipofosfitli banyolar
- Borhidrüllü banyolar
- Hidrazinli (Hydrazine) banyolardır (Henry 1997).

2.6.4 Akımsız Nikel Kaplama Türleri

Akımsız nikel kaplamaları genel olarak üç gruba ayırmak mümkündür;

- Nikel-Fosfor Kaplamalar
- Nikel –Bor Kaplamalar

➤ Nikel-Kompozitler

2.6.4.1 Nikel-Fosfor kaplamalar

Akımsız nikel-fosfor kaplamalar ağırlıkça %1-13 aralığında fosfor içerir. Elde edilen kaplamaların özellikleri banyonun içeriğine ve çalışma koşullarına bağlıdır. Kimyasal ve fiziksel özelliklerin belirlenmesinde fosfor içeriğinin de rolü vardır. Fosfor içeriğine göre kaplama özellikleri değişiklik gösterir. Bu nedenle Nikel-fosfor kaplamaları banyodaki fosfor miktarına göre 3 gruba ayrılır;

- Düşük Fosforlu Kaplamalar
- Orta Fosforlu Kaplamalar
- Yüksek Fosforlu Kaplamalar

Düşük fosforlu kaplamalar: Ağırlıkça % 1-4 arasında fosfor içeren kaplamalardır. Bu tür kaplamaların özellikleri;

- Yüksek kaplama sertliği,
- Mükemmel aşınma direnci,
- Alkali ortamda yüksek korozyon direnci,
- Yüksek erime noktası (1200 °C) ,
- Kolay lehimlenebilmedir.

Ayrıca orta ve yüksek fosforlu kaplamalardan daha pahalıdırlar.

Orta fosforlu kaplamalar: Ağırlıkça %4-10 arasında fosfor içeren kaplamalardır. Bu tür kaplamalar;

- Alkali ve asidik her iki ortamda da iyi korozyon direnci,
- Mükemmel kayganlık,
- Parlak dekoratif görünüm sağlar.

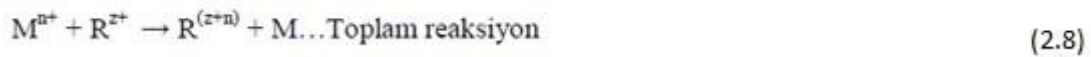
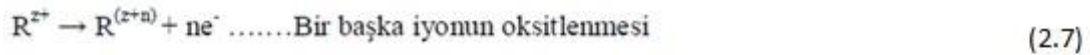
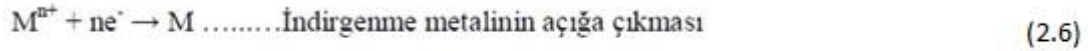
Orta fosforlu kaplamalar diğer türlere göre maliyeti en ucuz olan kaplamalardır.

Yüksek fosforlu kaplamalar: Ağırlıkça % 10-12,5 arasında fosfor içeren kaplamalardır. Bu tür kaplamaların özellikleri;

- Çok çeşitli ortamlarda en yüksek korozyon direnci sağlama,
- Kolay lehimlenme,
- Mükemmel süneklik,
- Manyetik olmama,
- Mükemmel difüzyon bariyer,
- Yüksek kalınlıkları kolaylıkla oluşturabilmektir (İnt.Kyn.7).

2.6.5 Kaplama Banyolarında Oluşan Reaksiyonlar

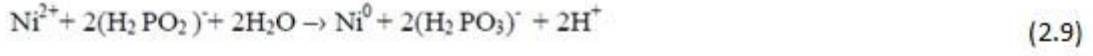
Akımsız nikel kaplama üretimi katalitik etkisi olan metal yüzeyinde nikel iyonlarının bir indirgeyici etkisi ile indirgenerek nikel metaline dönüşmesi esasına dayanır. Nikel metalinin kendisinde katalitik bir etki gösterdiği için nikelin metalik hale dönüşmesinden sonra reaksiyon nikel yüzeyinde devam eder. Metal iyonunun indirgenmesi;



Denklem (2.6) ve (2.7)'de verilen kısmi reaksiyonlar ve denklem (2.8)'de verilen toplam reaksiyon ile olay basit bir şekilde gösterilmiştir. Kullanılan banyoların içindeki indirgeyicilerin cinsine bağlı olarak nikel metali ile birlikte fosfor (Hipofosfit indirgeyiciler de) açığa çıkar ve bu şekilde elde edilen nikel katmanı arı nikel olmayıp, bir nikel-fosfor veya nikel-bor alaşımıdır. İndirgeyici olarak hidrazin kullanılması durumunda saf nikel kaplamalar da elde edilebilir.

Periyodik tabloda nikel'i içeren sekizinci grup elementler katalitik etki gösterirler. Böylece nikelin ilk yığılması gerçekleştirilir. “Akımsız Kaplama” prosesi kendi kendini devam ettirir ve bu nedenle “otokatalitik” olarak tanımlanması daha uygundur. En çok

kullanılan indirgeyici “sodyum hipofosfit” olup, kimyasal bileşimi $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ’dur. Nikel iyonlarının indirgenmesi aşağıdaki denklem ile oluşur;



Reaksiyon aktif katalitik yüzeylerde ve artan asidik oluşum ile ortofosfiti oluşturur.



Katalitik bir yüzey üzerinde ve yeterli enerji olduğunda hipofosfit iyonları ortofosfite yükseltgenir. Açığa çıkan hidrojenin bir kısmı katalitik yüzeyde absorbe olur. Bu durumda katalizör yüzeyinde bulunan nikel, absorbe edilmiş aktif hidrojen tarafından indirgenir.

Absorbe edilmiş hidrojenin bir miktarı aynı zamanda katalitik yüzeydeki az miktardaki hipofosfiti suya, hidroksil iyonuna ve fosfora indirger. Mevcut hipofosfitin büyük kısmı katalitik olarak nikel ve fosfor çözeltisinden bağımsız bir şekilde ortofosfite ve hidrojen gazına yükseltgenir ve akımsız nikel çözeltilerinde düşük verime yol açar. Denklem 12’de görüldüğü gibi nikel ile birlikte fosfor açığa çıkar ve bu fosfor ise kaplanan tabakaya karışır (Esin 2009).

2.6.6 Akımsız Nikel Kaplama Banyo Bileşenleri

2.6.6.1 İndirgeyiciler

Akımsız nikel kaplama banyolarında kullanılan en yaygın indirgeyiciler şunlardır;

- Sodyum Hipofosfit ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

- Sodyum Borhidrür (NaBH_4)
- Aminoboranlar (R_3NBH_3) (R: hidrojen veya hidrokarbon köküdür)
- Dimetil aminoboran ($\text{CH}_3)_2\text{NHBH}_3$,
- Dietil aminoboran ($\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NHBH}_3$ ve
- Hidrazin ($\text{H}_2\text{N}-\text{NH}_2$) (Kahriman ve Avcı 2005).

Sodyum hipofosfit: Metal ve metal alaşımlarının akımsız kaplanmasında, özellikle akımsız nikel kaplamada yaygın olarak kullanılan indirgeyici madde sodyum hipofosfit ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), ve moleküler ağırlığı 106 g/mol dür.

Renksiz kristaller halindedir, suda kolayca çözünür. (1000 g/1 kg 25oC’de). Akımsız nikel banyoları için kaplama oranı ile kaplamanın fosfor oranı birlikte hipofosfit konsantrasyonuna bağlıdır (Feldstein 1970).

2.6.6.2 Hızlandırıcılar

Kompleks oluşturmalarının etkisi ile yavaşlayan nikel kaplama hızı endüstriyel açıdan kabul edilemeyecek değerlere düşer. Bu hızı arttırmak için banyolara çok az bir oranda “hızlandırıcılar” katılır.

Genelde konsantrasyonları 220 ppm arasında değişir. Hipofosfitli banyolarda süksinik asit yaygın olarak kullanılan frenleyicilerdir. Diğer karbonik asitler çözünabilir florürler, tioure gibi kükürtlü bileşikler ve bazı solventler hızlandırıcı olarak kullanılmışlardır.

2.6.6.3 Nikel İyonu İçeren Tuzlar

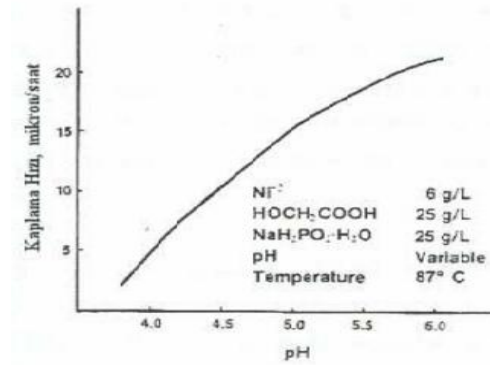
Akımsız nikel kaplama banyolarında nikel iyon kaynağı olarak kullanılan tuz çözeltileri; nikel sülfat, nikel klorür ve nikel asetatıdır. Bunların bileşimleri ve içerdikleri nikel miktarları aşağıdaki Çizelge 2.3.’de verilmektedir.

Çizelge 2.3 Nikel Bileşimler.

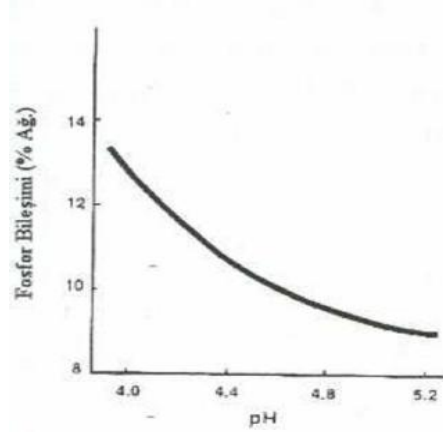
Tuz	Kimyasal Formül	Ni Oranı
Nikel Klorür	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	%24,7 Ni
Nikel Sülfat	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	%23 Ni
Nikel Asetat	$\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	%23,6 Ni

2.6.6.4 pH Değeri

pH kontrolü akımsız nikel kaplama prosesinin en önemli kontrol mekanizmalarındandır. Bu nedenle pH değeri devamlı kontrol altında olmalıdır. Çünkü kimyasal ilavesi ve kaplama prosesi esnasında banyonun pH değerinde değişiklikler meydana gelir. En iyi kaplama hızı 4,8–5 pH değerleri arasında elde edilir. pH değeri arttıkça kaplama hızı artar. pH değerini yükseltmek için; %50’lik amonyak ilave edilir. Seyreltik sülfürik asit ilavesi ile de pH değeri düşürülür. pH ölçümü dijital pH metre veya pH kâğıdı yardımı ile yapılır. Şekil 2.18’de pH değeri ile kaplama hızı arasındaki ilişki görülmektedir. pH değeri arttıkça kaplama kalınlığı da artmaktadır. Çözeltinin pH değeri ile fosfor miktarı arasındaki ilişki ise Şekil 2.19’de açıkça görülmektedir. Çözeltinin pH değerinin artması ile fosfor miktarı azalır (Esin 2009).

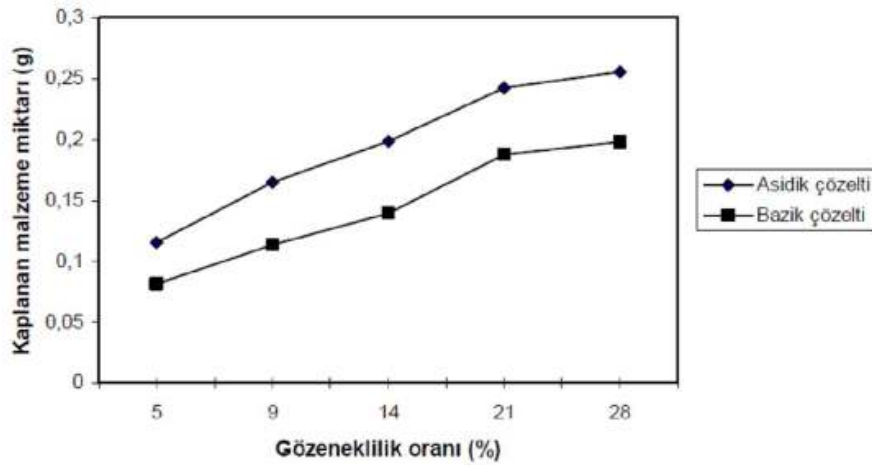


Şekil 2.18 pH Değeri İle Kaplama Hızı Arasındaki İlişki.



Şekil 2.19 Çözeltinin pH Değeri İle Fosfor Miktarı Arasındaki İlişki (Gökkurt, 2007).

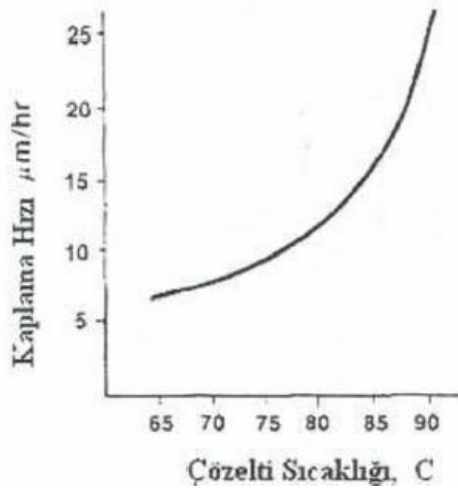
Şekil 2.20’de akımsız nikel kaplanmış malzemelerin asidik ve bazik banyolarda, gözeneklilik oranına göre kaplama yapılan malzemelerin oranları verilmektedir. Hem asidik hem de bazik akımsız nikel kaplanan numunelerde gözeneklilik oranının artmasıyla birlikte kaplanan malzeme miktarı da artmıştır. Aynı süre kaplama işlemi uygulanmasına karşın kaplanan malzeme miktarları karşılaştırıldığında asidik çözeltiyle elde edilen miktarın bazik çözeltiye oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Asidik ortamda akımsız nikel kaplama hızı ve kaplama kalitesi bazik ortama oranla daha yüksektir (Esin 2009).



Şekil 2.20 Asidik Ve Bazik Çözeltilerde Akımsız Nikel Kaplanmış Numunelerin Gözeneklilik Oranına Göre Kaplanan Malzeme Miktarı (Matik ve Çıtak,2005).

2.6.6.5 Çözelti Sıcaklığı

Akımsız nikel kaplama prosesi oto katalitik bir reaksiyondur. Katalitik reaksiyonların belirli bir hızda ilerleyebilmeleri için enerjiye gerek vardır. Nikel kaplama banyolarında enerji çözeltinin ısıtılması ile sağlanır. Kaplama işlemi sıcaklığı 85–95°C arasındadır. Kaplama esnasında çözelti sirküle edildiği için hava ile temastan dolayı sıcaklıkta ani düşmeler olabilir. Bunu önlemek için ısıtıcılar kontrollü olarak devamlı çalıştırılmalıdır. Aynı zamanda hava karıştırma sistemi de ısıtma işlemine başlamadan önce mutlaka çalıştırılmalıdır. Asit tipi banyolar genelde yüksek sıcaklıklarda ve duyarlı sıcaklık kontrolü ile çalıştırılırlar. Sıcaklık artışı genelde nikel kaplama hızını artırır. Hipofosfitli banyolarda sıcaklık artışı ile kaplamanın fosfor oranı da azalır. Şekil 2.21’de çözelti sıcaklığı ile kaplama hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Buna göre akımsız nikel kaplamalarda 80 °C’den daha yüksek sıcaklıklarda kaplama hızında artış olmakta ve ideal kaplama sıcaklığı ise 85–95°C arasındadır. Örneğin, 70 °C’de saatte yaklaşık 6 µm, 85 °C’de ise yaklaşık 16 µm kaplama kalınlığı elde edilmektedir (Esin 2009).



Şekil 2.21 Çözelti Sıcaklığı İle Kaplama Hızı Arasındaki İlişki.

2.6.6.6 Filtre işlemi

Kaplama banyolarını temiz tutmanın önemi çok fazladır. Kaplama çözeltisi; prosesle beraber başlayıp, kaplama işlemi gerçekleşene kadar filtre edilmelidir. Filtre edilmemesi

halinde banyodaki fiziki kirlilikler üzerine nikel kaplama oluşma riski vardır, daha da önemlisi bu parçacıklar kaplamaya karışarak pürüzlü kaplamaya neden olurlar. Filtre ve devir daim pompası mutlaka asit'e dayanıklı malzemelerden yapılmalıdır. Banyo çözeltisi saatte 5-10 (debisi) defa filtreden geçirilmelidir. Banyoda oluşan tortular veya kirlenmeler filtre içinde tutulmaktadır. Filtre olarak aside dayanıklı ve 5 mikrometre gözenekliliğe sahip özel torbalar kullanılmaktadır.

2.7 Akımsız Nikel Kaplamaların Endüstride Kullanım Alanları

Akımsız nikel kaplamalar başlıca beş farklı avantajından dolayı kullanılır:

- Korozyon direncini artırmak,
- Aşınma direncini artırmak,
- Kaydırıcılık özelliğini artırmak,
- Lehimlenebilir özelliğinin olması,
- Aşınmış parçanın ölçü toleranslarını değiştirmeden ve sonrasında taşlama gibi mekanik işlemlere gerek kalmadan kurtarılması.

Ayrıca iletkenlik sağlama, homojen ve aynı kalınlıkta kaplamaların gerektiği durumlarda da akımsız nikel kaplama uygulanmaktadır (İnt.Kyn.9).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Toz Malzemeler

Deneysel çalışmamızda amacımız toz metalürjisi yöntemiyle üretimi yapılan kompozit malzemelerinden; kimyasal proses kullanılarak elektrik akımsız nikel kaplanması sonucu oluşan (FeCoCr)Ni kompozit malzemesiyle, kimyasal proses kullanılmadan FeCoCr tozlarına nikel karıştırılmasıyla oluşan (FeCoCrNi) kompozit malzemesi üretilerek mekaniksel özelliklerini inceleyerek karşılaştırmaktır.

Tozlarımızın oranlarını sıralarsak; 2 μm %99,8 saflıkta Kobalt, 2 μm %99 saflıkta Krom, 20 μm Fe %99,98 saflıkta ve 50 μm %99,7 saflıkta Ni tozu Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir.

3.2 Toz Karışım Oranları

Hassas terazi olarak precise markalı terazi kullanılmıştır. Kapasitesi 410 gr, tara alanı 1000 gr, hassasiyet 0.01 gr, doğrusallık ± 0.02 gr'dır.(Resim 3.1.)

(FeCoCrNi) kompozit malzemesinin oranı; 9 gr Fe, 9 gr Co, 3 gr Cr, 9 gr Ni'dir. (FeCoCr)Ni kompozit malzemesinin kaplama prosesi oranı; 9 gr Fe, 9 gr Co, 3 gr Cr, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Nikel Klorür) 36 gr, $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Hidrazin Hidrat) %20, Su %80, sıcaklık 90-95 $^{\circ}\text{C}$, pH 9-10'dur.



Resim 3.1 Precise Hassas Terazi.

3.3 Toz Karışımı ve Kaplama Prosesi

Karıştırma tekniğimiz; yayınma ile karıştırma yöntemidir. Yayınma ile karıştırma her parçacığın toz kütlesi içinde hareketi ile oluşur. Sürekli dönen silindir taze tozları ve kesme düzlemlerini ortaya çıkarır, bu durum parçacıkların birbiri içerisinde karışmalarını teşvik eder (Fatih 2011, German 2007).

Toz halindeki malzemeler terazide tartıldıktan sonra ağzı kapalı silindirik plastik şişeye karıştırma işlemindeki doluluk oranı (%30-40) baz alınarak doldurulmuştur. Yayınma ile karıştırma döner silindir içerisinde olduğundan dolayı içerisinde metal tozların bulunduğu plastik silindirik şişe Resim 3.2.'de görülen toz karıştırma makinesine yerleştirildikten sonra 24 saat makineyi uygun hızda çalıştırarak homojen olarak karışımı sağlanmıştır (FeCoCrNi).

(FeCoCr)Ni kompozit malzemesinin kaplama prosesininin hazırlanması işlemini anlatırsak; kaplama banyosunun içine 9 gr Fe, 9 gr Co, 3 gr Cr, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Nikel Klorür) 36 gr, $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Hidrazin Hidrat) %20, Su %80, malzemelerini yerleştirdikten sonra sıcaklığını 90-95 °C ayarlayıp, pH'ında 9-10 arası olacak şekilde dengeleyip 1-1,5 saat süreyle kaplama prosesi uyguladık. Daha sonra saf suyla ve alkolle yıkadık. Kurutma fırınının içinde 105 °C de 24 saat kuruması için bekletildikten sonra işlemin ilk aşaması tamamlanmış oldu.



Resim 3.2 Toz Karıştırma Makinesi.

3.4 Karışımın Preslenmesi

Toz karıştırma makinesinde karışan metal tozlar, tekrardan Resim 1’deki terazide 6’şar gr olarak tartılmıştır. Resim 3.3.’de görülen kalıba tartılan malzemeler doldurulduktan sonra Resim 3.4.’deki presleme makinesine yerleştirilip 1 dakika süre ile 300 bar basınçta bekletildikten sonra sıkışmış halde bulunan malzememiz kalıptan çıkarılmıştır.



Resim 3.3 Tozlarımıza Şekil Verdiğimiz Kalıp.



Resim 3.4 Presleme Makinası.

3.5 Karışımın Sinterlenmesi

Preslenmiş haldeki numunelerin işlemlerine Resim 3.6.’da görüldüğü gibi Protherm markalı tüp fırınla devam edilmiştir. Numuneler resimde de görüldüğü gibi fırının orta kısmındaki borunun içine konulup fırını tam ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir. Fırının içindeki beyaz borunun sol ucuna Argon tüpünün gaz akışını sağlayan plastik borusu metal kaba monte edilmiş şekliyle kapatılmış, sağ tarafındaki beyaz borunun ucu da fazla gazı dışarı atacak şekilde ortası delik bir metal kapla kapatılmıştır. Daha sonra fırının sıcaklığı ilk olarak 800 °C’ye ayarlanıp 800 °C’de 2 saat bekletildikten sonra fırının sıcaklığı kapatılarak 4 saat tüp fırının içinde soğumaya bırakılmıştır. Bu işlem aynı şekilde 900,1000,1100,1200 °C sıcaklıklarda yapılmıştır.



Resim 3.5 Protherm Tüp Fırın.

3.6 Yüzey Temizleme İşlemi

Deneysel işlemin soğuma kısmı tamamlandıktan sonra Resim 3.7.'de görülen zımpara makinesiyle yüzey işlemine devam edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü azaltmak ve ışığı daha iyi yansıtan bir yüzey elde edebilmemiz için numuneleri öncelikle bakalite alıp daha sonra 220,400,600,800 ve 1200 numaralı zımparalarla zımparalayarak 3 μm ve 5 μm 'luk alümina tozlarıyla yüzeyleri parlatılarak alkolle temizlenmiştir



Resim 3.6 Zımpara Makinesi.

3.7 Mikrosertlik Analizi İşlemleri

Numunelerin zımparalama ve parlatma işlemleri bittikten sonra Resim 3.8.'de görülen mikro sertliğini ölçtüğümüz mikroskobla işlemlerine devam edilmiştir. Sertlik değerlerini belirlemek için birbirine etkilemeyecek uzaklıkta 10 ölçüm yapılmış bu ölçümlerin ortalaması alınıp ölçüm değeri belirlenmiştir.



Resim 3.7 Mikro Sertliklerini Öldüğümüz Mikroskobumuz.

3.8 SEM Analizi İşlemleri

Deneysel işlemlere Resim 3.9.'da görülen SEM cihazıyla devam edilmiştir. SEM; Malzemenin yüzey mikro yapısının incelenmesinde 300.000 kat'a kadar büyütmeyle görüntü alabilmemizi sağlamakta olup, yüzey mikro yapılarının incelenmesi, malzemedeki farklı fazların belirlenmesi, tane boyutu şekli ve tane sınırları belirlenmesinde yardımcı olmaktadır.

Numunelerin iç yapısı ve yüzey görünümü LEO 1430 model SEM cihazı kullanılarak incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü azaltmak ve ışığı daha iyi yansıtan bir yüzey elde edebilmemiz için daha öncede zımparalama işlemlerimizde belirttiğimiz gibi numunelerimizi öncelikle bakalite alıp daha sonra 220,400,600,800 ve 1200 numaralı zımparalarla zımparalayarak 3 μm ve 5 μm 'luk alümina tozlarıyla yüzeyleri

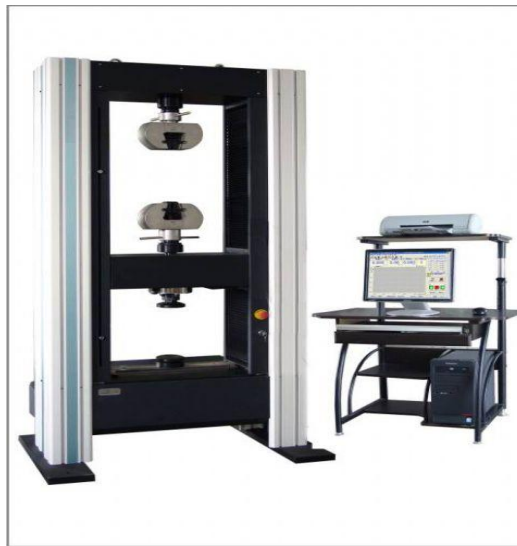
parlatılarak alkolle temizlenmiştir.



Resim 3.8 SEM Cihazı.

3.9 Mukavemet Analizi İşlemleri

SEM görüntüleri alındıktan sonra basma deneyiyle işlemlere devam edilmiştir. Basma deneyi çekme deneyinin tam tersidir. Basma deneyi; Resim 3.9.'da görüldüğü gibi UTEST markalı deney makinesiyle yapılmıştır. 50-2000 kg arasında basınç yapabilme kapasitesi bulunmaktadır. Farklı sıcaklıkta üretmiş olduğumuz numuneleri tek tek cihazımıza yerleştirdikten sonra ölçümleri kN olarak alınmıştır. Numunelerin uniform bir gerilme durumu elde edebilmesi için yuvarlak kesitli olmasına dikkat edilmiş, numunelerin çapı ve yüksekliği arasındaki oranda dikkate alınarak hazırlanmıştır.



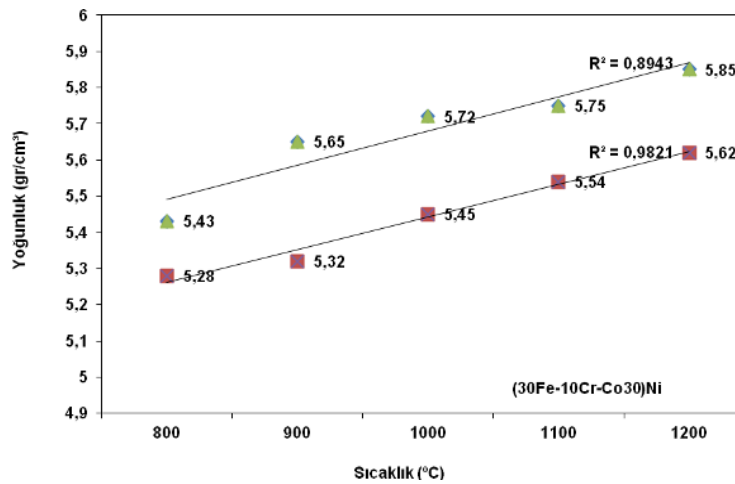
Resim 3.9 UTEST Markalı Basma Deney Makinesi.

4. BULGULAR

Bu bölümde elektririk Nikel kaplanmış FeCoCr kompozitinin, doğrudan karıştırılan FeCoCrNi kompozitinin sinterleme sonrası uygulanan testlerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu testler Yoğunluk-sıcaklık değişimi, Mikrosertlik - Sıcaklık Değişimi, Maksimum Sıkıştırma Mukavemeti - Sıcaklık Değişimi, SEM Analiz Sonuçları ve XRD analiz sonuçları alt başlıklar altında toplanmıştır.

4.1 Yoğunluk - Sıcaklık Değişimi

800°C-1200°C aralığındaki yoğunluk-sıcaklık değişimi Resim 4.1.'deki gibi gösterilmiştir.



Resim 4.1 Yoğunluk-Sıcaklık Değişimi.

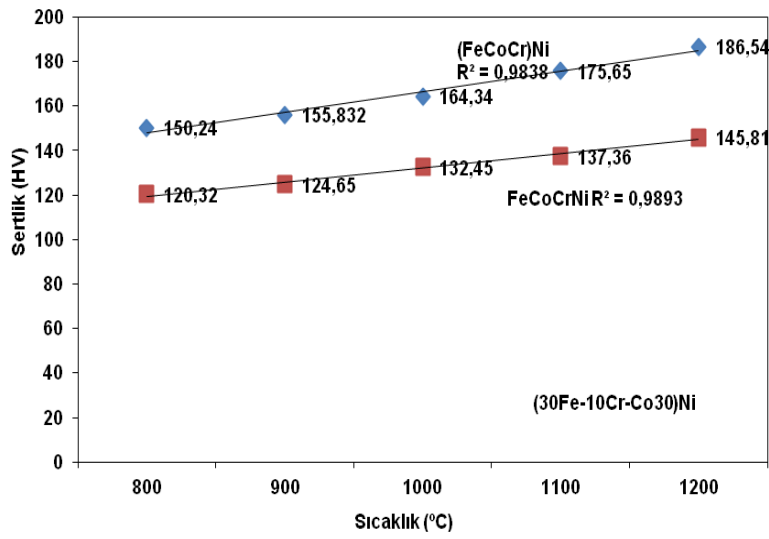
Resim 4.1.'deki gibi yoğunluk-sıcaklık grafiği ele alındığında; (FeCoCr)Ni kompozitin 800 °C'de yoğunluk değeri 5.43 gr/cm³, 900 °C yoğunluk değeri 5.65 gr/cm³, 1000 °C yoğunluk değeri 5.72 gr/cm³, 1100 °C yoğunluk değeri 5.75 gr/cm³ son olarak 1200°C'deki yoğunluk değeri 5.85 gr/cm³ olduğu görülmüştür.

FeCoCrNi kompozitin ise 800 °C yoğunluk değeri 5.28 gr/cm³, 900 °C yoğunluk değeri 5.32 gr/cm³, 1000 °C yoğunluk değeri 5.45 gr/cm³, 1100 °C yoğunluk değeri 5.54 gr/cm³ 1200°C'deki yoğunluk değeri 5.62 gr/cm³ olarak tespit edilmiştir.

4.2 Mikrosertlik - Sıcaklık Değişimi

Bölüm 3'te belirtildiği üzere mikrosertlik değerlerini belirlemek için birbirini etkilemeyecek uzaklıkta 10 ölçüm yapılmış bu ölçümlerin ortalaması alınıp ölçüm değeri belirlenmiştir.

800 °C-1200 °C aralığındaki mikrosertlik-sıcaklık değişimi Resim 4.2.'deki gibi gösterilmiştir.



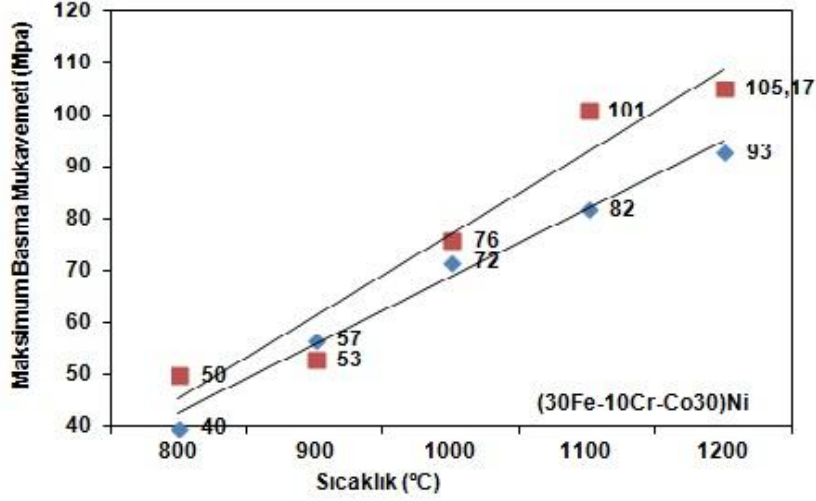
Resim 4.2 Mikrosertlik-Sıcaklık Değişimi.

Resimden de anlaşıldığı üzere; (FeCoCr)Ni numunesinin 800 °C mikrosertlik değeri 150.24 HV, 900 °C'de ise mikrosertlik değeri 155.832 HV, 1000 °C'de ise mikrosertlik değeri 164,34 HV, 1100 °C'de ise mikrosertlik değeri 175.65 HV, 1200°C'deki mikrosertliği 186.54 HV olarak tespit edilmiştir.

FeCoCrNi numunesinin ise 800 °C mikrosertlik değeri 120.32 HV, 900 °C'de mikrosertlik değeri 124,65 HV, 1000 °C'de mikrosertlik değeri 132,45 HV, 1100 °C'de mikrosertlik değeri 137,36 HV, 1200°C'deki mikrosertliği 145.81 HV olduğu gözlemlenmiştir.

4.3 Maksimum Basma Mukavemeti - Sıcaklık Değişimi

800 °C-1200 °C sinterleme aralığındaki maksimum basma mukavemeti-sıcaklık değişimi Resim 4.3.'deki gibi gösterilmiştir.



Resim 4.3 Maksimum Basma Mukavemeti-Sıcaklık Değişimi.

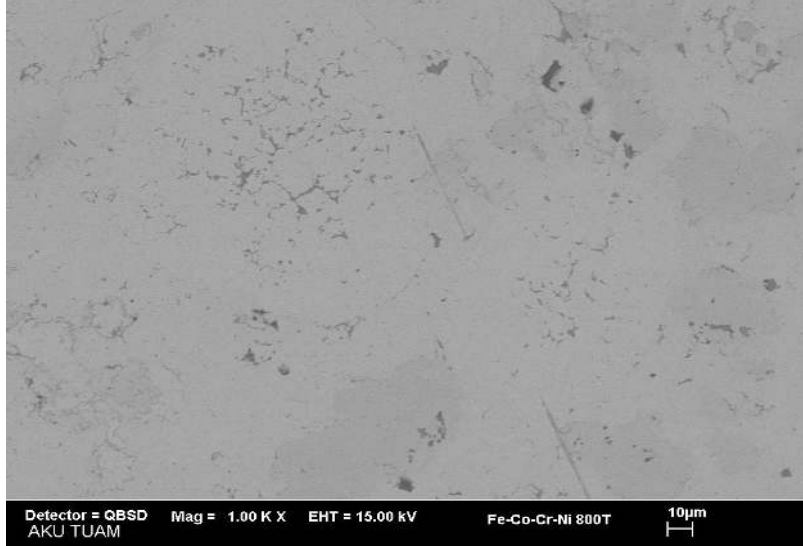
Maksimum basma mukavemeti-sıcaklık değişim grafiğine de baktığımızda; (FeCoCr)Ni numunenin 800 °C'de maksimum basma mukavemet değeri 50 MPa, 900 °C'de maksimum basma mukavemet değeri 53 MPa, 1000 °C'de maksimum basma mukavemeti değeri 76 MPa, 1100 °C'de maksimum basma mukavemeti değeri 101 MPa, 1200°C'deki maksimum basma mukavemeti değeri 105.17 MPa olarak tespit edilmiştir.

FeCoCrNi numunenin ise 800 °C maksimum basma mukavemeti değeri 40 MPa, 900 °C maksimum basma mukavemeti değeri 57 MPa, 1000 °C maksimum basma mukavemeti değeri 72 MPa, 1100 °C maksimum basma mukavemeti değeri 82 MPa, 1200°C'deki maksimum basma değeri 93 MPa çıkmıştır.

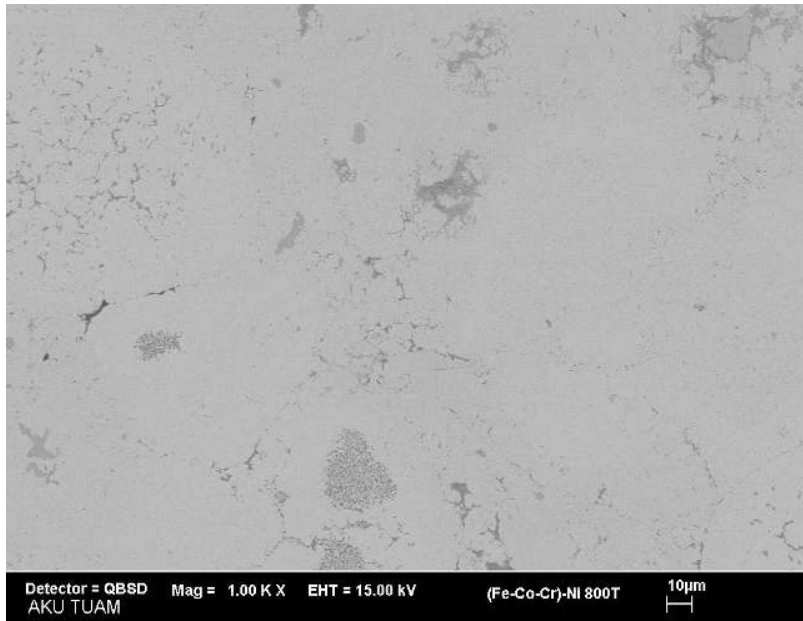
4.4 SEM Analiz Sonuçları

Sinterlenen numunelerin sinterleme sonrası SEM fotoğrafları çekilmiş olup sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Resim 4.4. ve Resim 4.5. görüntüler 800 °C de 1 kX'de numunelere ait SEM görüntüleridir. Kaplama yapılan Resim 4.5.'deki numunenin Resim 4.4'deki doğrudan karıştırılan numuneye göre yüzey gözeneklerinin daha az olduğu görülmektedir.

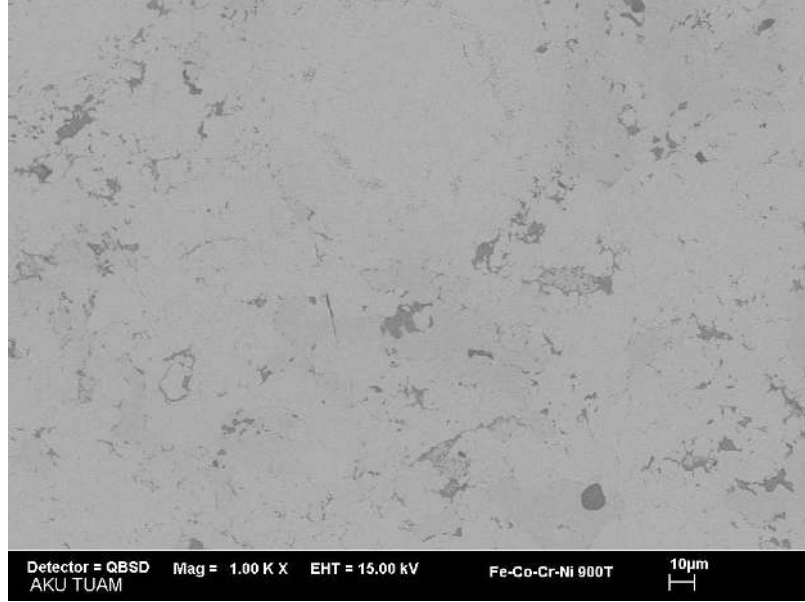


Resim 4.4 Fe-Co-Cr-Ni Tozlarının 800 °C Sinterleme Sonrası SEM Görüntüsü.

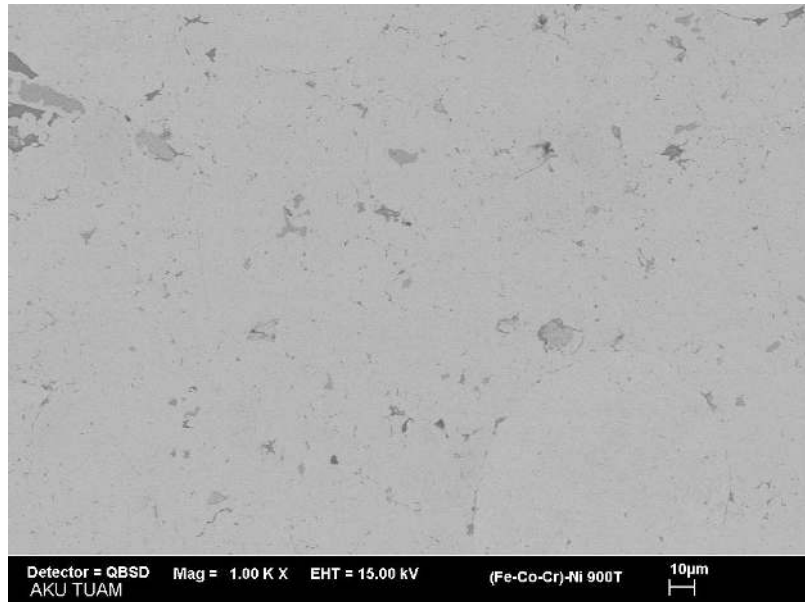


Resim 4.5 (Fe-Co-Cr)Ni 800 °C Sinterleme Sonrası SEM Görüntüsü.

- Resim 4.6. ve Resim 4.7. görüntüler 900 °C de 1 Kx'de numunelere ait SEM görüntüleridir. Kaplama yapılan Resim 4.7.'deki numunenin Resim 4.6'da doğrudan karıştırılan numuneye göre yüzey gözeneklerinin daha az olduğu görülmektedir.

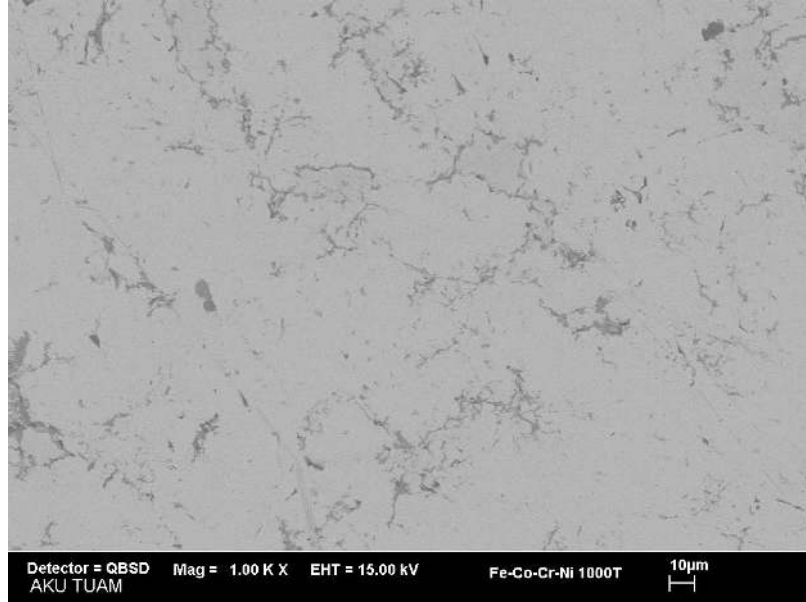


Resim 4.6 Fe-Co-Cr-Ni Tozlarının 900 °C Sinterleme Sonrası SEM Görüntüsü.

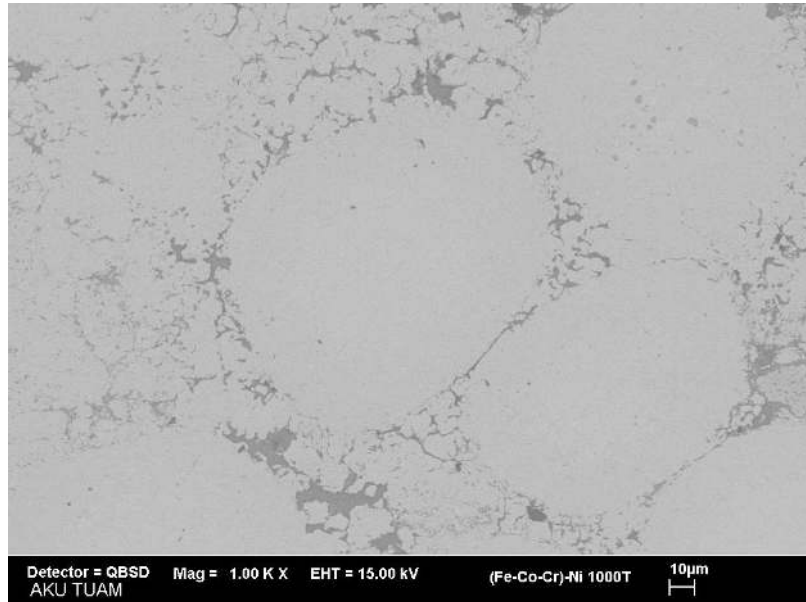


Resim 4.7 (Fe-Co-Cr)Ni 900 °C Sinterleme Sonrası SEM Görüntüsü.

- Resim 4.8. ve Resim 4.9. görüntüler 1000 °C de 1 kX’de numunelere ait SEM görüntüleridir. Kaplama yapılan Resim 4.9.’deki numunenin Resim 4.8’de doğrudan karıştırılan numuneye göre yüzey gözeneklerinin daha az olduğu görülmektedir.

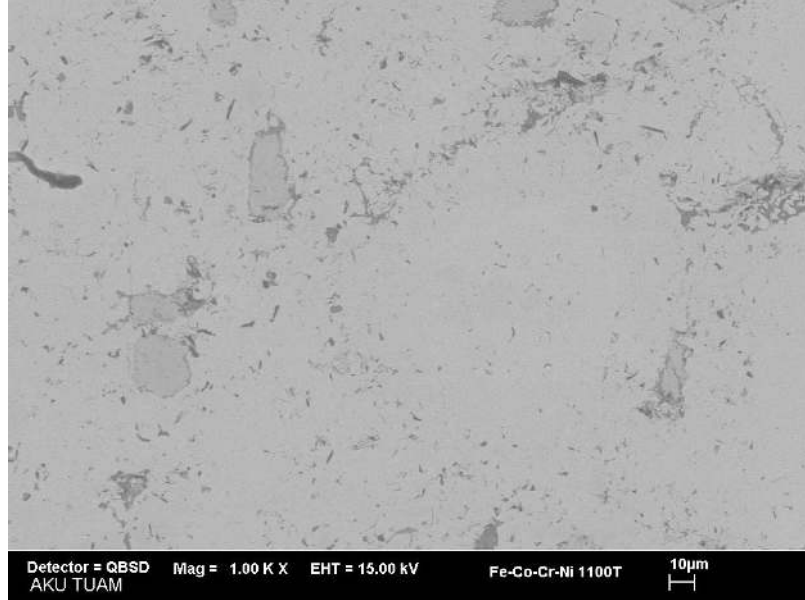


Resim 4.8 Fe-Co-Cr-Ni Tozlarının 1000 °C Sinterleme Sonrası SEM Görüntüsü.

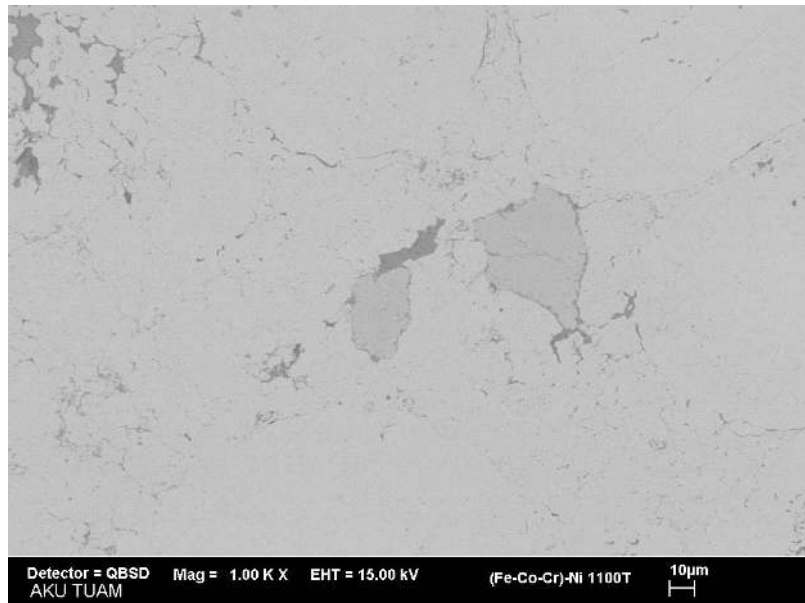


Resim 4.9 (Fe-Co-Cr)Ni 1000 °C Sinterleme Sonrası SEM Görüntüsü.

- Resim 4.10 ve Resim 4.11 görüntüler 1100 °C 1 kX'de numunelere ait SEM görüntüleridir. Kaplama yapılan Resim 4.11'deki numunenin Resim 4.10'da doğrudan karıştırılan numuneye göre yüzey gözeneklerinin daha az olduğu görülmektedir.

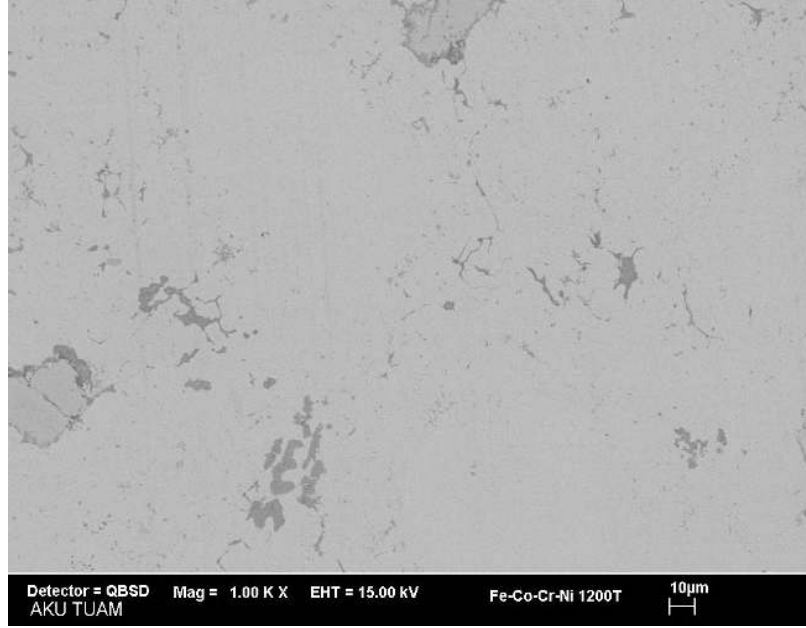


Resim 4.10 Fe-Co-Cr-Ni Tozlarının 1100 °C Sinterleme Sonrası SEM Görüntüsü.

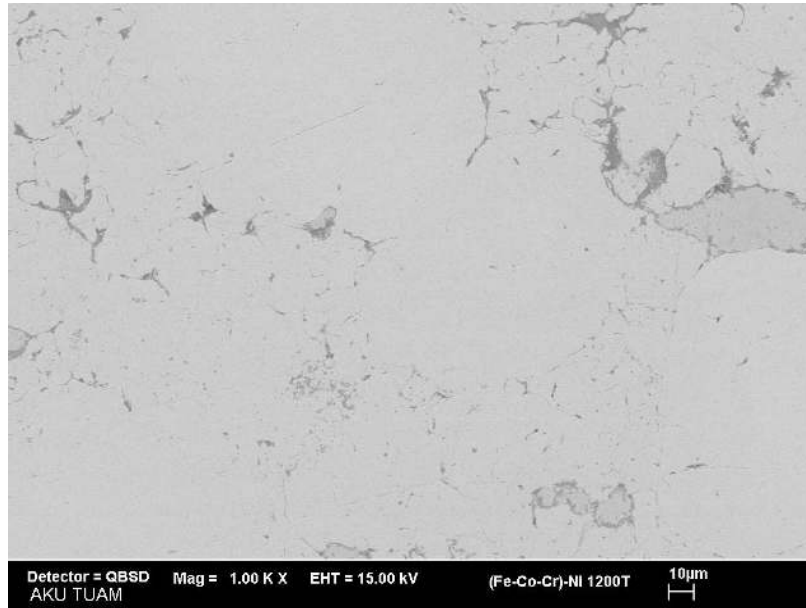


Resim 4.11 (Fe-Co-Cr)Ni 1100 °C Sinterleme Sonrası SEM Görüntüsü.

- Resim 4.12 ve Resim 4.13 görüntüleri 1200 °C de 1 kX'de çekilen numunelere ait SEM görüntüleridir. Kaplama yapılan Resim 4.13.'daki numunenin Resim 4.12'de doğrudan karıştırılan numuneye göre yüzey gözeneklerinin daha az olduğu görülmektedir.



Resim 4.12 Fe-Co-Cr-Ni Tozlarının 1200 °C Sinterleme Sonrası SEM Görüntüsü.

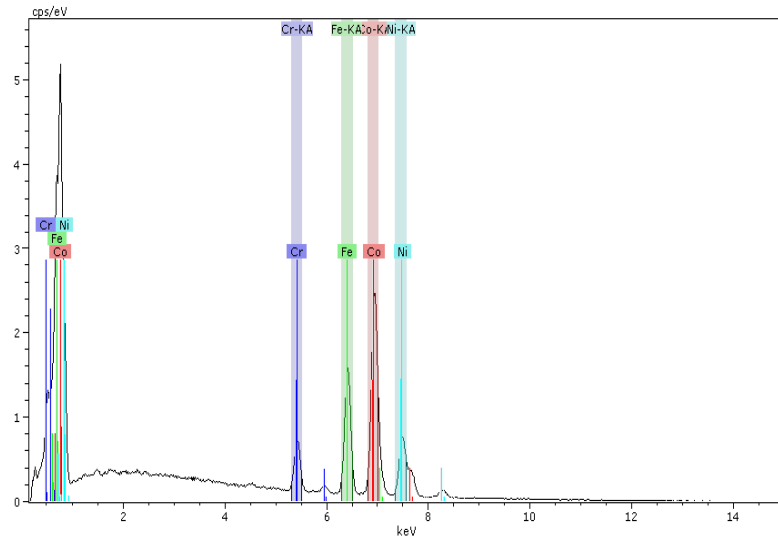


Resim 4.13 (Fe-Co-Cr)Ni 1200 °C Sinterleme Sonrası SEM Görüntüsü.

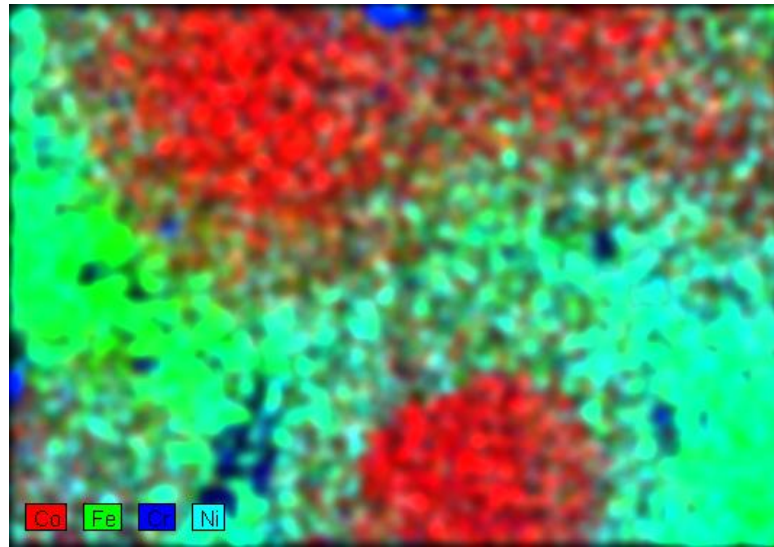
4.5. XRD Analiz Sonuçları

XRD Analizi sonuçları incelendiğinde;

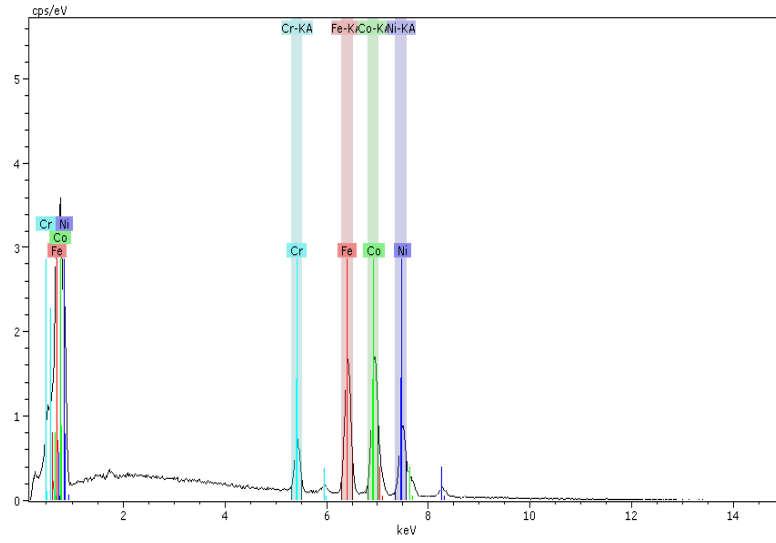
- Resim 4.14, Resim 4.15, Resim 4.16, Resim 4.17'deki görüntüler 1200 °C de çekilen numunelere ait EDX görüntüleridir. Kaplama yapılmadan doğrudan karışımı yapılan numunenin Resim 4.15.'deki görüntüsündeki dağılımına baktığımız da Resim 4.17.'ye göre dağılımının daha düzensiz olduğu görülmektedir. Kaplama yapılan Resim 4.17'deki numunenin dağılımının diğer numuneye göre dağılımı daha geniş oranda nüfuz ettiği görülmektedir.



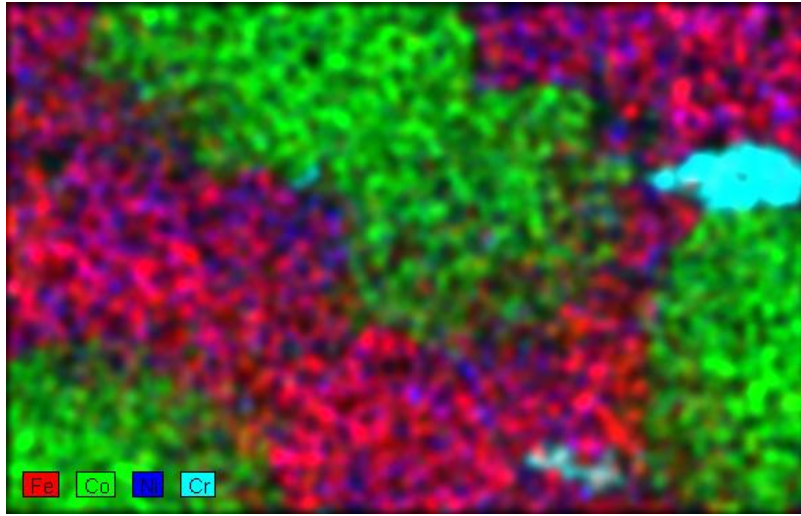
Resim 4.14 1200 °C'de Üretilen Fe-Co-Cr-Ni EDX Analizi.



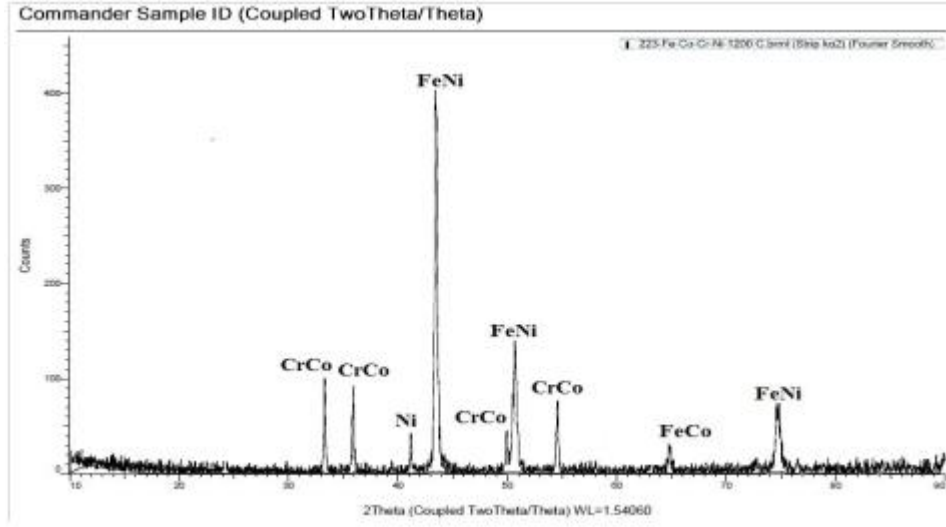
Resim 4.15 Fe-Co-Cr-Ni Tozlarının 1200 °C Sinterleme Sonrası Elementsel Dağılımları.



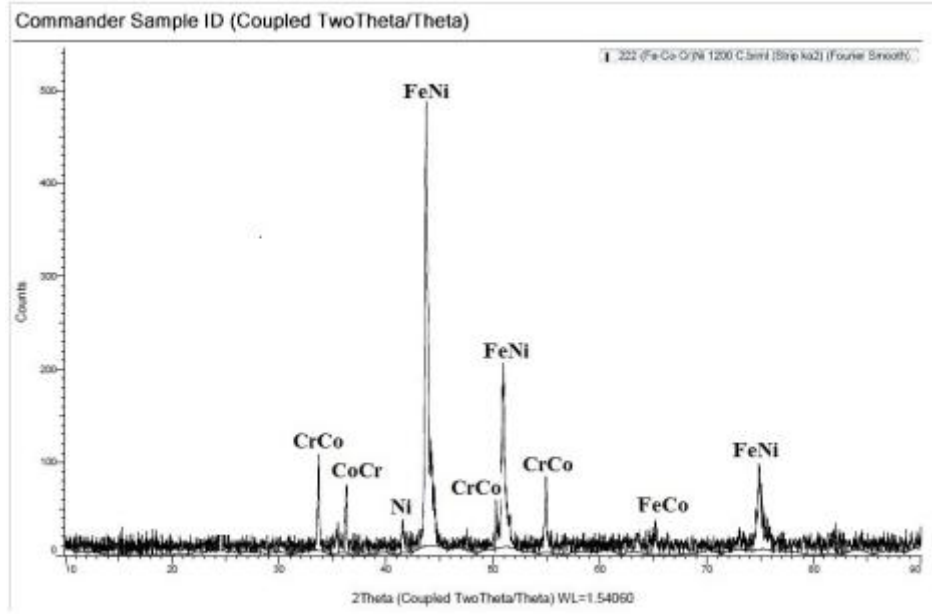
Resim 4.16 1200 °C’de Üretilen (Fe-Co-Cr)Ni EDX Analizi.



Resim 4.17 (Fe-Co-Cr)Ni 1200 °C Sinterleme Sonrası Elementsel Dağılımları.



Resim 4.18 X-ray 1200 °C’de Fe-Co-Cr-Ni Kimyasal Oluşumları.



Resim 4.19 X-ray 1200 °C’de (Fe-Co-Cr)Ni Kimyasal Oluşumları.

- Resim 4.18, Resim 4.19 görüntüler 1200 °C de çekilen numunelere ait X-ray görüntüleridir. Kaplama yapılmadan karışımı yapılan numunenin Resim 4.18. ve kaplama banyosuyla Nikel kaplanan Resim 4.19. deki görüntülerden de anlaşıldığı üzere FeNi, CrCo, FeCo fazları oluşmuştur.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Sinterleme sonucunda elde edilen numunelere ait sonuçlar aşağıda açıklanmıştır;

- 800 °C’de elektrik akım kullanmadan kimyasal prosesle kaplama yapılan kompozit (FeCoCr)Ni yoğunluk değeri 5.43 gr/cm^3 , mikrosertlik değeri 150.24 HV, sıkıştırma mukavemeti değeri 50 MPa ve 1200 °C’deki yoğunluk değeri 5.85 gr/cm^3 , mikrosertliği 186.54 HV, 1200°C’deki maksimum sıkıştırma mukavemeti değeri 105.17 MPa çıkmıştır.
- 800 °C’de proses uygulanmadan karıştırılan kompozitin (FeCoCrNi)’nin yoğunluk değeri 5.28 gr/cm^3 , mikrosertlik değeri 120.32 HV, maksimum sıkıştırma mukavemeti değeri 40 MPa ve 1200 °C’deki yoğunluk değeri 5.62 gr/cm^3 , mikrosertliği 145.81 HV, maksimum sıkıştırma değeri 93 MPa çıkmıştır.

Chan ve Lin FeC tozunu akımsız Ni kaplama ve 1000-1200 °C sıcaklıkta sinterlemişlerdir. Ürettikleri kompozitin 1200 °C’de diğer sıcaklıklara göre daha iyi özellikler sergilediğini belirtmişlerdir (Chan and Lin 1997).

Kretz ve arkadaşları(2004) çalışmasında ağırlıkça %5 oranında SİC tozlarının akımsız Ni kaplayarak aşınmaya karşı dayanımını arttırdığı belirtilmiştir.(Kretz and ark. 2004)

Bu çalışmaların sonunda özetle şu çıktılar söylenebilir;

- Bu sonuçlardan yola çıkarak incelediğimizde farklı sıcaklıklarda farklı yöntemlerle üretilen numunelerin yoğunluk değeri, sıcaklık yükseldikçe yoğunluk artmaktadır. (FeCoCr)Ni’nin yoğunluğu FeCoCrNi’e göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni birbirine temas noktalarında ve toz tane sınırlarındaki difüzyona paralel tozlar arası boşlukların kapanmaya başlamasıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda bu difüzyon mekanizması daha etkin olacağı için boyun verme ve ergime artacağından tane arası boşluklar daha kolay kapanarak ve yoğunluk artmıştır. Bundan dolayı elektrik akımsız kimyasal

banyoyla kaplanıp hazırlanan (FeCoCr)Ni kompozit malzemesindeki tozlar, birbirine daha iyi bağ olduğu için nikelin buradaki etkisi daha fazla olduğu görülmektedir.

- Farklı sıcaklıklarda farklı yöntemlerle yapılan numunelerin mikrosertlik değişiminde, sıcaklık yükseldikçe sertliği artmaktadır. (FeCoCr)Ni'nin sertliği FeCoCrNi'e göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Basma deney sonuçlarına göre sıcaklık yükseldikçe maksimum basma dayanımı artmaktadır. (FeCoCr)Ni'nin maksimum sıkıştırma mukavemeti FeCoCrNi'e göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebeplerinden olan, difüzyonun sıcaklığa karşı doğru orantı göstermesi ve akımsız nikel kaplama prosesinin tane küçültücü özelliğinin de bulunmasından dolayı kaynaklandığı söyleyebilir.
- XRD analizlerine bakıldığında; FeCoCrNi'deki nikel dağılımının, (FeCoCr)Ni'deki nikel dağılımına göre daha düzensiz olduğu görülmektedir. (FeCoCr)Ni'deki elektrik akımsız kimyasal banyoyla kaplama yapılarak oluşturulan numunemizin nikel dağılımı, resimden de anlaşıldığı gibi taneler arası boşluklara daha iyi nüfuz ederek ve kendisini daha iyi belirginleştirerek gerçekleşmiştir.
- XRD analizindeki kimyasal oluşumlara bakıldığında; FeNi, CrCo, FeCo fazlarının olduğu tespit edilmiştir.
- SEM görüntüsündeki analizlere baktığımızda; 1200 °C'de sinterlenmiş numunenin yapılan Resim 4.12 ile Resim 4.13'u incelediğinde (FeCoCr)Ni'deki görülen gözeneklerin FeCoCrNi'dekine göre daha az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni birbirine temas noktalarında ve toz tane sınırlarındaki difüzyona paralel tozlar arası boşlukların daha iyi kapandığıdır. Elektrik akımsız kimyasal prosesle kaplanan nikelin; sıcaklığın etkisiyle boyun vermenin daha fazla olduğundandır. Diğer SEM görüntü resimlerine bakıldığında bu farklılık göze çarpmaktadır.

- Elektrik akımsız kimyasal prosesle kaplanan nikelin buradaki ve diğer bilimsel çalışmalarda görüldüğü gibi kaplama kalınlığının malzemenin her tarafında aynı olması, mekaniksel özelliklerinin iyi sonuç vermesi Zhang vd. 2005 deki çalışmadaki gibi şu sonuçları çıkarmaktadırlar;
 - a. Çok iyi bir korozyon direnci,
 - b. Aşınmaya karşı mukavemet,
 - c. Yüksek kaplama sertliği,
 - d. Kaydırıcılığının yüksek olması,
 - e. Lehimlenebilme özellikleridir (Zhang vd. 2005).
- Bu bilgiler ışığında bu çalışmada ideal sıcaklığın 1200 °C’de olmasının daha iyi sonuçlar verdiğide görülmektedir. Nikelin FeCoCr tozlarıyla elektrik akımsız nikel kaplama prosesi ile kaplanan ve (FeCoCr)Ni kompozit malzemesi olarak üretilen numunenin, FeCoCrNi olarak üretilen kompozit malzemesine göre mekaniksel özelliklerinin avantajlı ancak özel üretimde maliyet açısından dezavantajlı olduğu sonucunu ortaya çıkardığı söylenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Anik M., Korpe E., 2007, “Effect Of Alloy Microstructure On Electroless NiP
- Aydın, R., (1997), T/M Çelik Parçalarda Isıl İşlemlerin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta
- Ayşe S. 2009, Akımsız Nikel Kaplama Tekniğinde Banyo Tiplerinin Etkisinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi Afyonkocatepe Üniversitesi
- Balaraju, J.N., Sankara Narayanan,T.S.N. ve Seshadri, S.K., (2006), “Structure and Phase Transformation Behaviour of Electroless Ni–P Composite Coatings”, Materials Research Bullettin, 41: 847–860.
- Burakowski, T. ve Wierzchon, T., (1999), Surface Engineering of Metals: Principles, Equipment, Technologies, CRC Press, NY.
- Chen ,B.H., Hong, L., Ma ,Y. ve Ko ,T.M., (2002), “Effects of Surfactants in an Electroless Nickel-Plating Bath on the Properties of Ni-P Alloy Deposits”, Ind. Eng. Chem. Res., 41(11): 2668-2678.
- Cheong, W.J., Luan, B. L., Shoesmith, D. W., (2004), “The Effects of Stabilizers on the Bath Stability of Electroless Ni Deposition and the Deposit”, Applied Surface Science, 229:282– 300.
- Esin Ç. (2009)Akımsız Nikel Kplama Banyolarının Karakteristiklerinin İncelenmesi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
- Feldstein,N., Lancsek, T. S., ve Ami, J.A., (1970), “Potentiometric Analysis of Hypophosphite in Electroless Nickel Plating Baths”, Anal. Chem., 42 (8):945-946. Electroless Nickel Plating, A General Description of Electroless Nickel Plating and Its Effect on BAL™ Seal Performance in Reciprocating and Rotary Service, Technical Report, Bal Seal Engineering Co, Inc.U.S.A, 2003.
- Fatih E. (2011). Hızlı Katılaştırma Yöntemi İle Üretilmiş Nikel-Bakır (Monel 400) Alaşımı Tozların Presleme Ve Sinterleme Parametrelerinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi Metalurji ve Malzeme Müh. Trabzon
- Fischmeister, H.F. Arzt, E.(1983). Densification of powders by particle deformation, Powder Metallurgy, vol:26, no:2.
- German, R. M., “Powder Metallurgy, 8. Particulate Materials Processing”, MPIF, 2005, USA

- German, R.M.(1989). Powder Metallurgy Science, MPIF, 203-335, USA.
- German, R.M.(2007). Materials Processing Handbook Powder Processing.
- German, R.M.(2007). Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, ed: Sarıtaş, S., German, M., R., “Sintering Theory and Practice”, Wiley-Interscience, 1996, Newyork, USA
- Gökkurt, T., (2007), “Farklı Yöntemlerle Kaplanan Termoplastiklerin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi”, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Gimenez, S., Vagnon, A., Bouvard , D., Van der Biest, O. (2006). Influence of the green density on the dewaxing behavior of uniaxially pressed powder compacts, *Materials Science and Engineering A*, 430, 277–284
- Henry, J.R., (1997), “Electroless (Autocatalytic) Plating”, Metal Finishing Guidebook and Directory Issue, 95 (1A).
- Hiçyılmaz, N. (1999), Toz Metalurjisi Yöntemleri ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
- Hyoung, S. K.(1998). Yield and compaction behavior of rapidly solidified Al–Si alloy Powders, *Materials Science and Engineering A*, 251, 100–105.
- Kahriman, A., Gündüz, O., Bozkurt, Y. ve Salman, S., (2008), “Akımsız Ni P Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi”, *Yüzey İşlemler Dergisi*, Ocak-Şubat, 60-66.
- Kahriman, A. ve Avcı, E., (2005), “Akımsız Nikel Kaplamalar Tarihçesi, Gelişimi ve Banyo Bileşenleri”, *Yüzey İşlemler Dergisi*, 42:50-54.
- Kurt, A.O.(2011). Toz Üretim Yöntemleri ve Sinterleme Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, <http://www.sakarya.edu.tr/~aokurt/dersler>, 21 Mart 2011.
- Lawley, A., (1992), Atomization The Production of Metal Powders.
- Li, Y. Y., Ngai, T.L., Zhang, D.T., Long, Y., Xia, W., (2002), Effect of die wall lubrication on warm compaction powder metallurgy, *Journal of Materials Processing Technology* 129 (2002) 354-358.
- Matik, U. ve Çıtak, R., (2005a), “Toz Metalurjisi ile Üretilmiş Demir Esaslı Parçalarda Asidik ve Bazik Akımsız Nikel Çözeltilerin Kaplama Kalitesine Etkisi” *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20:239-246.

- Matik, U. ve Çıtak, R., (2005b), “Toz Metalurjisi ile Üretilmiş Demir Esaslı Parçalarda Asidik ve Bazik Akımsız Nikel Çözeltilerin Kaplama Miktarına Etkisi”, Teknoloji Dergisi, 8:51-56.
- Mediha S.(2007) Toz Metalurjisi ve Uygulamaları Yüksek Lisans Tezi Tasarım ve İmalat Mühendisliği Gebze
- Mehmet D. ,S.Can K. ,Yıldız Y.Ö.(2012-2013) Sakarya Üniversitesi Metalurji Malzeme Mühendislik Fakültesi Bölümü Mekanik 2 Deney Fönü
- Muzaffer K. Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü Sertlik Deney Fönü.
- Muzaffer E. (2011).Toprak İşleme Endüstrisinde Kullanılan Çizici Kalemelerin Mikrodalga Toz Sinterleme Tekniği İle Üretimi ve Karakterizasyonu Doktora Tezi Afyonkocatepe Üniversitesi
- Nutku, F.(2006). Toz Metalurjisi ile Üretilen Parçaların Tahribatsız Muayenesi ,Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Okuyama K.(2007). Sintering, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Japan.
- Özgür Ö. “Toz Metalurjisi İle Üretilen Alaşımli Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri” Yüksek Lisans Tezi Sakarya Üniversitesi Metal Eğitimi 2007
- Özkal, B., “Wolfram Ağır Alaşımlarında Başlangıç Toz Özelliklerinin Sıvı Faz Sinterlemesi Yoluyla Yoğunlaşma Süreçlerine Olan Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., F.B.E., 2002, İstanbul
- Özsoy, H. Ö., 1996, “Toz Metalurjisi Süreçleriyle Üretilen Demir Esaslı Yapısal Parçaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, İstanbul.
- Price, P.(1998). ASM Handbook, Powder Metal Technologies and Applications, vol:7.
- Poquillon, D. Lemaitre, J. Carles, V, Tailhades, Ph. Lacaze J.(2002). Cold compaction of iron powders relations between powder morphology and mechanical properties Part I: Powder preparation and compaction, Powder Technology 126, 65–74.
- R.M. German,(1996). Sintering Theory and Practice, Wiley-Interscience Publications, New York.
- James, B. A., “Liquid Phase Sintering in Ferrous Powder Metallurgy”, Powder Metallurgy, Volume 28, Number 3, 1985

- Sarıtaş, S., Ünal, İ., (1996), Piroteknik Uygulamalarda Toz Metalurjisi, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, s. 315- 333, Gazi Üniversitesi, Ankara
- Sarıtaş S., 1996, “Sıvı Faz Sinterlemesi”, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Bildiriler Kitabı, 16-17 Eylül 1996, Gazi Üniversitesi, Ankara, 485-551.
- Söyler M., 2007, “Toz metalurjisi ve uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Gebze-Kocaeli.
- Stsuy, A., 1993, “Microstructures Of Ferrous Powder Metallurgy Alloys” Atlas of Microstructures Of Industrial Alloys, U. S. A.
- Türker, M. ve Durlu, N., Birinci Basım, Türk Toz Metalürjisi Derneği Yayınları:05, Ankara.
- Uygur, M., E., (1996), Balata Üretim Teknoloji, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, s.485, Gazi Üniversitesi, Ankara
- Ünlü, N. Çavusoglu, L.(1995). Toz Metalurjisinin Yaygın Kullanım Alanları, Metal Dünyası, Teknik Yazı, sayı:11-12, İstanbul.
- Yılmaz S. B., 1999, “Toz Metalurjisi İle Üretilen, Bağlı Grafitli Demir Parçalarda Kullanılan Farklı Demir Tozu Cinslerinin Parçalardaki Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksel Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Metal Eğitimi, İstanbul.
- Zhang, Q., Wu, M. ve Zhao, W., (2005), “Electroless Nickel Plating on Hollow Glass Microspheres, Surface & Coatings Technology, 192: 213–219.
- Wang ,Y.U.(2006). Computer modeling and simulation of solid-state sintering: A phase field approach, Acta Materialia, 54, 953–961.

6.1. İnternet Kaynakları

- 1-**<http://metalurjistiz.blogspot.com.tr/2013/01/xrd-x-ray-diffraction-cihaz.html>
01.04.2014
- 2-**<http://www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/sem.htm> 26.11.2013
- 3-**www.me.gatech.edu 30.11.2013
- 4-**www.akimsiznikel.com 30.11.2013
- 5-**www.asetsdefense.org/documents/Workshops/SURF-FIN-TempeAZ-0208/Briefings/Weamer-ElectrolessNi.pdf 02.17.2014
- 6-**www.bilesim.com 03.03.2014
- 7-**www.millerplating.com/plating/electroless_nickelbody.html 09.04.2014
- 8-**<http://machinedesign.com/article/tips-for-specifying-electroless-nickel-coatings-1102> 15.04.2014

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Eyüp DONAT
Doğum Tarihi : 10.08.1988
Yabancı Dil : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 553 532 47 95/ eyupdonat_03_88@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Bolvadin Lisesi
Lisans : Sakarya Üniversitesi
Yüksek Lisans : Afyonkocatepe Üniversitesi

Yayınları : The Abstracts Of The 1st International Porous and Powder
Materials Symposium and Exhibition PPM 3-6 September 2013 Çeşme İzmir