

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**İNDÜKSİYONLA SİNERLENMİŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK
MALZEMELERİN MEKANİK KAREKTERİZASYONU**

Yüksek Lisans Tezi

Mustafa Yashar Jumaah SHWRBA

Danışman

Prof. Dr. Naci KURGAN

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa Yashar Jumaah SHWRBA tarafından, **Prof. Dr. Naci KURGAN** danışmanlığında hazırlanan **“İNDÜKSİYONLA SİNERLENMİŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN MEKANİK KAREKTERİZASYONU”** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Naci KURGAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Mevlüt GÜRBÜZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Abdülvahap ÇAKMAK Samsun Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enistütü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

14 /06/ 2023

Mustafa Yashar Jumaah SHWRBA

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: İNDÜKSİYONLA SİNERLENMİŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN MEKANİK KAREKTERİZASYONU

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 14.06.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 5

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

14 /06 / 2023

Prof.Dr. Naci KURGAN

ÖZET

İNDÜKSİYONLA SİNERLENMİŞ 316L PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN MEKANİK KAREKTERİZASYONU

Mustafa Yashar Jumaah SHWRBA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Haziran/2023
Danışman: Prof.Dr. Naci KURGAN

Bu çalışmada; indüksiyonla sinterlenmiş AISI 316L paslanmaz çelik numunelerin mekanik karakterizasyonunu detaylı olarak ele alınmıştır. Sinterleme işlemi 1100°C ve 1200°C sıcaklıklarda uygulanmıştır. Sinterlenmiş numuneler % bağıl yoğunluk oranı, % gözeneklilik oranı, darbe dayanımı, aşınma testi ve mikro yapı özelliklerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen yoğunluk ve gözeneklilik Sonuçları, sinterleme sıcaklığının yoğunluk ve gözeneklilik üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. 1200°C'de sinterlenmiş numunelerin yoğunluğunun daha yüksek olduğu, gözenekliliğin ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu yüksek sıcaklığın sinterleme sürecini daha etkin hale getirdiğini ve böylece daha yoğun bir yapı oluşturduğunu göstermektedir. Darbe testi sonuçları sinterleme sıcaklığı arttıkça darbe direncinin azaldığını, ancak 1100°C'de sinterlenmiş numunenin kırılma enerjisinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Darbe deneylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde, 1100°C'de sinterlenen numuneler sünek kırılma gösterirken, 1200°C'de sinterlenen numunelerin bölgesel gevrek kırılma gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, aşınma testleri sonucunda, 1100°C'de indüksiyonla sinterlenmiş numunede daha fazla kütle kaybı meydana gelirken, 1200°C'de indüksiyonla sinterlenmiş numunede ise daha az kütle kaybı abrasif aşınma meydana gelmiştir. Aşınma yüzeyi SEM görüntüleri incelendiğinde ise, 1100°C'de sinterlenmiş numunede daha fazla pullanma meydana gelirken, 1200°C'de sinterlenmiş numunede daha az pullanma adhesif aşınma meydana gelmiştir.

Anahtar Sözcükler: AISI 316L, Sinterleme, SEM, Darbe, Aşınma

ABSTRACT

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF INDUCTION SINTERED 316L STAINLESS STEEL MATERIALS

Mustafa Yashar Jumaah SHWRBA
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering
Master, June/2023
Supervisor: Prof. Dr. Naci KURGAN

In this study, the mechanical characterization of AISI 316L stainless steel samples sintered by induction is thoroughly discussed. The sintering process was implemented at 1100°C and 1200°C. The effects on the relative density ratio, porosity percentage, impact strength, wear test, and microstructural properties of the sintered samples were examined. The obtained density and porosity results showed that the sintering temperature has a significant impact on density and porosity. It was determined that the density of the samples sintered at 1200°C was higher, and the porosity was lower. This indicates that a higher temperature makes the sintering process more effective, thus creating a denser structure. The impact test results showed that as the sintering temperature increased, the impact resistance decreased. However, the fracture energy of the sample sintered at 1100°C was higher. When the SEM images of the impact tests were analyzed, it was found that the samples sintered at 1100°C showed ductile fracture, while those sintered at 1200°C displayed regional brittle fracture. Additionally, from the wear tests, it was observed that the sample sintered by induction at 1100°C experienced a greater mass loss, while the sample sintered by induction at 1200°C exhibited less mass loss due to abrasive wear. When examining the SEM images of the wear surfaces, the sample sintered at 1100°C showed more spalling, whereas the sample sintered at 1200°C displayed less spalling due to adhesive wear.

Keywords: AISI 316L, Sintering, SEM, Impact. Wear

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans süresi boyunca bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Naci KURGAN'A bilgi ve tecrübesi ile her yönden yardımcı olan Doç. Dr. Mevlüt GÜRBÜZ'E en içten saygı ve sevgilerimle teşekkür ederim. Yüksek lisans çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen Doktora öğrencileri Mustafa KARABATAK ve Muhammet YÜCE'YE teşekkür ederim. Her zaman yanı başımda varlıklarıyla beni güçlendiren, maddi ve manevi tüm desteklerini esirgemeyen babama, anneme ve kardeşlerime şükranlarımı sunarım.

Mustafa Yashar Jumaah SHWRBA

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. TOZ METALÜRJİSİ	6
3.1. Toz Metalürjisi Kullanıldığı Alanlar.....	6
3.2. Toz Metalürjisi Avantaj ve Dezavantajları	7
3.3. Metal Tozların Üretim Yöntemleri	8
3.3.1. Atomizasyon	8
3.3.2. Öğütme.....	9
3.3.3. Kimyasal Yol	9
3.3.4. Elektroliz.....	10
3.4. Tozların karıştırılması	10
3.5. Presleme	11
3.6. Sinterleme	11
3.6.1. Katıhal Sinterlemesi.....	12
3.6.2. Sıvı Faz Sinterlemesi	13
4. İNDÜKSİYONLA SİNERLEME	15
4.1. İndüksiyonla Sinterleme Prensibi	16
4.2. İndüksiyonla Sinterlemenin Avantajları	16
4.3. İndüksiyonla Sinterleme Ekipmanları.....	17
4.4. İndüksiyon Sinterleme Mekanizması.....	18
4.5. İndüksiyonla Isıtma Sistemlerinin Kullanım Alanları	19
4.6. İndüksiyonla Sinterlemenin Geleneksel Sinterlemeye Göre Farklılığı.....	20
5. TOZ METAL 316L PASLANMAZ ÇELİKLER.....	21
5.1. Toz Metal Paslanmaz Çelikler	21
5.2. Toz Metalurjisi ile Üretilmiş Östenitik Paslanmaz Çelikler	22
5.3. Sinterlenmiş Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri	23
5.4. TM 316L Paslanmaz Çeliğin Korozyon Davranışı	24
6. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
6.1. Materyal	26
6.2. Numunelerin Sinterlenmesi.....	26
6.3. Deneyde Kullanılan Cihazlar	26
6.3.1. Hassas Terazi	27
6.3.2. İndüksiyonla Isıtma Cihazı	27
6.3.3. Vakum Pompası	28
6.4. Test Yöntemleri ve Karakterizasyon.....	28
6.4.1. Yoğunluk ve Gözeniklilik Oranın Belirlenmesi	28
6.4.2. Darbe Deneyi	29
6.4.3. Aşınma Testi	30
6.4.4. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi	31
7. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	33
7.1. 1100°C ve 1200°C İndüksiyonla Sinterlenmiş Numunelerin Fiziksel Özelliklerine Etkisi	33

7.2. Darbe Deneyi Sonuçları	34
7.3. Aşınma Testi Sonuçları	35
7.4. 1100°C ve 1200°C İndüksiyonla Sinterlenmiş Numunelerin Mikroyapı Analizi	37
7.4.1. Aşınma Testi SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)	37
7.4.2. Darbe Deneyi SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)	40
8. SONUÇLAR	45
KAYNAKÇA	47
ÖZGEÇMİŞ	50



SİMGELER VE KISALTMALAR

ρ_{by}	: Bağıl yoğunluk
$\emptyset$	: Gözeneklilik
ΔV	: Hacim değişimi
C	: Karbon
Cr	: Krom
Fe	: Demir
KİTAM	: Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezi
Mn	: Mangan
Mo	: Molbiden
N	: Azot (Nitrogen)
Ni	: Nikel
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	: Silikon
TM	: Toz metalurjisi
W	: Aşınma oranı
Δm	: Ağırlık değişimi
ρ	: Yoğunluk

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Toz metalurjisi yöntem ile parça üretim aşamaları.....	6
Şekil 3.2. Toz metalürjisi ile üretilen parçalar	7
Şekil 3.3. Atomizasyon yöntem ile toz üretim aşamaları.....	9
Şekil 3.4. Silindirik değirmende hareketinin gösterimi	9
Şekil 3.5. Kimyasal yöntem ile demir tozu üretimi	10
Şekil 3.6. Toz toplama için bir elektroliz hücresi	10
Şekil 3.7. Tek yönlü presleme.....	11
Şekil 3.8. Nikel tozunun sinterlemesi sırasında boyun oluşumu	12
Şekil 3.9. İki küre sinterleme teorisi	13
Şekil 3.10. Sıvı faz sinterlemesinde mikroyapısal değişiklikler	14
Şekil 4.1. İndüksiyon sıcak presinin şematik gösterimi	18
Şekil 4.2. İndüksiyon sinterleme mekanizması (Ongunyurt, 2019).....	19
Şekil 4.3. Toz metal burçlarının, atmosferik koşullarda indüksiyon yöntemiyle 1 ila 3 dakika ve geleneksel yöntemle inert bir ortamda 30 dakika sinterlenmesinin sonucunda elde edilen basma dayanım değerleri.....	20
Şekil 5.1. Paslanmaz Çeliklerin Schaeffler diyagramı.....	22
Şekil 6.1. Deneysel Çalışmanın iş akış şeması	25
Şekil 6.2 AISI 316L Paslanmaz çelik soğuk preslenmiş numune.....	26
Şekil 6.3. İndüksiyon cihazında koruyucu tüp ve vakum ortamında sinterlenen numuneler.	26
Şekil 6.4. Radwag AS 220.R2 hassas terazi	27
Şekil 6.5. İndüksiyonla sinterleme düzeneği	27
Şekil 6.6. Value 4 Vakum pompası cihazı	28
Şekil 6.7. Darbe deneyi cihazı	30
Şekil 6.8. Aşınma testi deney düzeneği	31
Şekil 6.9. Taramalı elektron mikroskobunun çalışma prensibini gösteren diyagram	32
Şekil 6.10. Jeol marka JSM7001F model SEM cihazı.....	32
Şekil 7.1. 1100°C ve 1200°C indüksiyonla sinterlenmiş 316L paslanmaz çelik numunelerin ortalama bağıl yoğunluk değerleri	33
Şekil 7.2. 1100°C ve 1200°C indüksiyonla sinterlenmiş 316L paslanmaz çelik numunelerin % ortalama gözeneklilik değerleri	34
Şekil 7.3. a) 1200°C ve b) 1100°C sinterlenen numunelerin darbe deneyi sonrası görüntüsü	35
Şekil 7.4. a) 1100°C ve b) 1200°C'de sinterlenen numunelerin aşınma sonrası görüntüsü.....	36
Şekil 7.5. Aşınma testi sonrası hacimsel farklılık grafiği	36
Şekil 7.6. 1100°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin aşınma deney SEM görüntüsü (x500)	37
Şekil 7.7. 1100°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin aşınma deney SEM görüntüsü (x1000)	38

Şekil 7.8. 1200°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin aşınma deney SEM görüntüsü (x500)	39
Şekil 7.9. 1200°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin aşınma deney SEM görüntüsü (x1000)	39
Şekil 7.10. 1100°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x100)	40
Şekil 7.11. 1100°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x500)	41
Şekil 7.12. 1100°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x1000)	41
Şekil 7.13. 1200°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x100)	42
Şekil 7.14. 1200°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x500)	43
Şekil 7.15. 1200°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x1000)	43

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 5.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin içerikleri	23
Tablo 6.1. AISI 316L Paslanmaz çelik tozunun içeriği	26
Tablo 7.1. Darbe deneyi sonuçları	34



1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, geniş bir uygulama alanı, mükemmel mekanik özellikler ve yüksek korozyon direnci nedeniyle endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle 316L paslanmaz çelik, mükemmel mekanik özellikler ve yüksek korozyon direnci sunmasıyla öne çıkar. Bu malzeme, biyomedikal uygulamalar, kimyasal işlemler, deniz uygulamaları ve petrokimya endüstrisi gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılır (Bal B., 2013). Bu özellikler, malzemenin performansını belirlemek ve belirli uygulamalar için uygunluğunu belirlemek için mekanik karakterizasyonun önemli olduğunu gösterir.

Toz metalurjisi, metal tozlarının sıkıştırılmasını ve yoğunlaştırılmasını mümkün kılan bir materyal işleme yöntemidir, genel olarak bu yöntem daha ekonomik ve daha etkili bir üretim tekniği olarak değerlendirilir (German, 2005).

Sinterleme, metal parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılan bir ısıtım işlemi tekniğidir. Genellikle, toz metalurjisi (T/M) işlemlerinin bir parçası olarak uygulanır ve yüksek sıcaklıkta ve belirli bir süre boyunca uygulanan basınç altında malzeme yoğunlaştırılır. Sonuç olarak, mikro yapıda tahıl büyümesi ve malzemenin mekanik özelliklerinde önemli bir artış sağlanır (R. German, 2014).

Son yıllarda, indüksiyonla sinterleme teknolojisi, hızlı ısıtım süreleri, yüksek enerji verimliliği ve malzemenin mekanik özelliklerini kontrol etme yeteneği ile dikkat çekmektedir (Zhang, 2018). Ancak, indüksiyonla sinterlenmiş 316L paslanmaz çelik malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi tam olarak anlaşılmamıştır. Bu yöntem, sinterlemenin hızlı ısınma süreleri ve yüksek verimliliği ile tanınmasını sağlar, bu da malzemenin daha homojen bir yapıya ve daha iyi mekanik özelliklere sahip olmasını sağlar (Olevsky & Froyen, 2006). İndüksiyon sinterleme, malzemenin özelliklerini belirgin bir şekilde geliştiren hızlı ısınma ve soğuma hızlarına izin verir.

Bu tez çalışması, 1100°C ve 1200°C'de indüksiyonla sinterleme uygulanmış 316L paslanmaz çelik numunelerin mekanik özelliklerini incelenmiştir. Özellikle, çentik darbe testi ve aşınma testi kullanılarak malzemenin darbe dayanıklılığı ve aşınma direnci belirlenir. Bu testler, malzemenin mukavemetini ve dayanıklılığını belirlemek için standart yöntemlerdir.

Sinterleme sürecinin ve özellikle sinterleme sıcaklığının, malzemenin mekanik özelliklerini belirleyen ana faktörlerden biri olduğu bilinmektedir. Bu çalışma, bu

faktörlerin etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde anlamak ve bu bilgileri malzeme seçimi ve işlem parametrelerinin belirlenmesinde kullanmak için kritik öneme sahiptir.

Bu tez çalışması ile 316L paslanmaz çelik numunelerin indüksiyonla sinterlenmesinin, malzemenin darbe dayanıklılığı ve aşınma direnci üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla çeşitli mekanik testlerin sonuçlarını deneysel bir yaklaşımla sunulmuştur. Bu çalışma, malzeme seçimi ve üretim proseslerinde kritik öneme sahip olan malzemelerin performansını belirleme süreçlerine katkı sağlayacaktır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gerçekleştirilen tez çalışması ile ilgili araştırılan ve incelenen literatür özetleri aşağıda verilmiştir.

Çivi vd. (2011) yaptıkları çalışmada toz metalürjisi tekniği kullanılarak bir karışım hazırlanmıştır. Bu karışım, Demir tozu, %3 Bakır, %0.5 Grafit ve %1 Kenolube'den oluşmaktadır. Örnekler, hem geleneksel sinterleme yöntemi hem de indüksiyonla sinterleme yöntemi kullanılarak sinterlenmiştir. İndüksiyon sinterleme sürecinin uzamasıyla birlikte, maksimum dayanıklılık ve çökme oranlarında artış görülmüştür. Mikro yapısal analizler, sinterleme süresinin uzadıkça bakırın demir tozu arasında ve çevresinde daha çok yayıldığını ortaya koymuştur.

Gezici vd. (2019) yaptıkları çalışmada, Al-Mg-Si-Cu-B4C/SiC-Gr-TiO2-SiO2 bileşenlerini içeren hibrit metal matrisli kompozit malzemelerin mikro yapı, mekanik ve tribolojik özelliklerine dair bir analiz yapılmıştır. Bu çalışmada, toz metalürjisi yaklaşımı tercih edilmiştir. Al-Mg-Si-Cu-B4C-Gr ve Al-Mg-Si-Cu-SiC-Gr toz harmanlarına belirli miktarlarda TiO2 ve SiO2 tanecikleri ilave edilmiştir. Hibrit tozlar, tek ekseninde basınç altında sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ve sonrasında sinterlenmiştir. Mikro yapısal incelemeler, güçlendirici bileşenlerin alüminyum matris içerisinde homojen bir dağılım sergilediğini belgelemiştir. Yapılan aşınma testlerinde, SiC bileşenini içeren örneklerin B4C içerenlere kıyasla daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Seramik taneciklerin farklı miktarlarda eklenmesi, malzemelerin sertlik değerlerinde önemli bir artışa sebep olmamıştır. İndüksiyonla üretilen hibrit kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik niteliklerini geliştirmek için bir yöntem, seramik güçlendirici bileşenlerin ıslanabilirliğini artırmaktır. Bu durum, daha yüksek sinterleme sıcaklıklarının uygulanması ve ağırlıkça daha az güçlendirici oranlarının kullanılmasıyla elde edilebilir.

Kuşoğlu vd. (2011) yaptıkları çalışmada Toz metalürjisi tekniğiyle, demir tabanlı farklı bileşenlerden oluşan kompakt malzemelere hem geleneksel sinterleme hem de mikrodalga enerjisi ile sinterleme işlemleri uygulanmıştır. Bu iki sinterleme yönteminin mekanik etkileri, 3-nokta bükme testi numuneleri ile tespit edilmiştir. Ek olarak, peletlerin mikro yapısal ve morfolojik özellikleri ile elementel değişimlerini belirlemek adına boyutlandırma, cıva porozimetresi, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu gibi karakterizasyon teknikleri kullanılmıştır. Sonuçlar,

mikrodalga enerjisi kullanılarak sinterlenen demir bazlı kompakt malzemelerin, geleneksel sinterleme yöntemi ile üretilenlere kıyasla daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğunu belirtmiştir.

Akpınar vd. (2011) yaptıkları çalışmada Toz metalürjisi metodu kullanılarak, %3 Bakır, %0.5 Grafit ve %0.8 kenolube yağlayıcı içeren Högenas ASC 100.29 demir tozu kullanılmıştır. İndüksiyon sinterlemesi için düşük ila orta frekanslar (2.5-5 kHz) aralığında ayarlanabilir bir indüksiyon sistemi ile ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, indüksiyon ısıtma prosedürü nümerik bir modelle temsil edilmiş ve örneklerdeki ısı dağılım grafikleri çizilerek deneysel verilerle mukayeseli bir şekilde incelenmiştir. İndüksiyonla sinterlenen örnekler, 10 Amper akım değerinde, düşük frekans (2.5 kHz) ve 600°C sıcaklıkta, 5 Kw güçte ön ısıtma ve 17.5 Amper akım değerinde, orta frekans (45 kHz) ve 1120°C sıcaklıkta, 12 Kw güçte Argon gazı atmosferinde sinterlenmiştir. Bu yaklaşım, örneklerde oluşabilecek ısıl şoku engellemiştir ve sonuç olarak üstün fiziksel ve mekanik özellikler sağlamıştır (Akpınar, 2013).

Çavdar vd. (2009) yaptıkları çalışmada toz metalürjisi yöntemini kullanarak demir esaslı iki farklı sinterleme metodu kullanmışlardır. Bir kısmı geleneksel yöntemle, atmosfer kontrollü fırında 2kW güç ile 1120°C'de 30 dakikada sinterlenirken, diğer bir kısmı 2.8kW gücündeki 900kHz Ultra yüksek frekanslı indüksiyon sistemini (UYFİS) kullanarak, 1000°C ile 1200°C arasında altı değişik sıcaklıkta ve her birinde 5 dakikalık periyotlarla sinterleme gerçekleştirildi. Toz Metalurji (TM) örneklerinin sertlik, yoğunluk ve mikro yapı görüntüleri analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, UYFİS kullanılarak 1120°C'de 30 dakikada elde edilen değerlere, konvansiyonel sinterleme yöntemi ile ulaşıldığını göstermiştir. Böylece, Demir bazlı TM numunelerinin indüksiyon sistemi ile sinterlenmesi 6 kat daha kısa sürede gerçekleştirilmiştir.

Gül vd. (2016) yaptıkları çalışmada, çeşitli oranlarda TiC, SiC, zımpara tozu ve Al₂O₃ katkılı TM 316L matris kompozit malzemelerin üretimini incelemiştir. Geleneksel ve mikrodalga sinterleme yöntemleri kullanılarak farklı ısıl işlemler uygulanmıştır. Mikrodalga sinterlemenin, hızlı ısınma ve daha temiz mikroyapı oluşturma avantajı bulunmuştur. İnce 316L ve seramik tozları kullanımı, malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmiştir. Genel olarak, en iyi mekanik, aşınma ve korozyon

özellikleri hacimce %5 ince zımpara tozu ile zenginleştirilmiş kompozitlerde bulunmuştur (Gül, 2016).

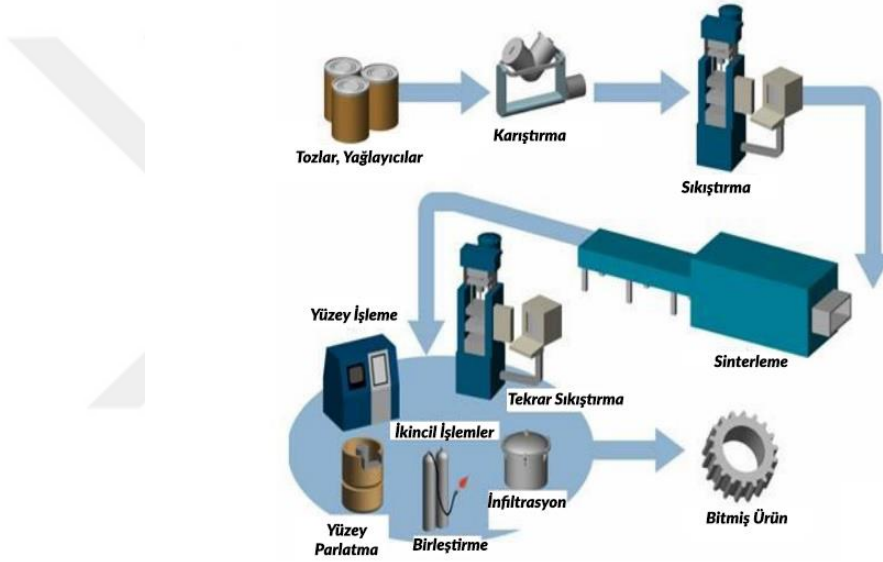
German vd. (2014) indüksiyonla sinterlemenin konvansiyonel sinterlemeye kıyasla nasıl daha hızlı ısınma hızları sağlayabileceğini ve bu sayede malzemelerin daha kısa sürede daha yüksek yoğunluklara ulaşabildiğini göstermiştir. Bu çalışma, indüksiyonla sinterlemenin, özellikle yoğunluk gerektiren uygulamalar için yüksek performanslı malzemelerin üretiminde etkili bir yöntem olabileceğini ortaya koymaktadır.

Thakur vd. (2017) indüksiyonla sinterleme sürecinde kullanılan elektriksel frekansın malzeme özellikleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Thakur vd, frekansın yükselmesiyle malzemenin yoğunluğunun ve mekanik özelliklerinin önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir. Bu sonuçlar, sinterleme sürecinin optimizasyonunda elektriksel frekansın potansiyel bir parametre olarak dikkate alınabileceğini göstermektedir (Thakur, 2017).

Xu vd. (2020) Yaptıkları çalışmada, nano boyutlu silikon karpitin yüksek frekanslı indüksiyon ısıtmalı sinterlemesini incelenmiştir. Çalışmada, indüksiyonla sinterleme yönteminin, bu tip malzemelerin hızlı ve etkili bir şekilde sinterlenmesine olanak sağladığını ve malzemenin mukavemet ve sertlik özelliklerini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir (Xu, 2020).

3. TOZ METALÜRJİSİ

Toz metalürjisi, metal ya da seramik tozlarına mekanik ve termal uygulamalar yaparak bu materyalleri tek bir bütün haline getirme sürecidir. Toz metalürjisi, ergitme ve ergitmeden önce gelen bir malzeme işleme teknolojisidir (Angelo, 2008). Günümüzde, toz metalürjisi işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır ve geleneksel imalat işlemine bir alternatiftir. Bu aşamalar, TM üretimi, üretilen tozların karıştırılması, tozların preslenmesi, sinterleme (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma vb.) adımlarından oluşmaktadır (Lawley, 1992). Toz metalürjisi sürecine göre üretim aşamaları Şekil 3.1, şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Toz metalurjisi yöntem ile parça üretim aşamaları (Güven, 2011)

Toz, katı parçacıklardır ince olarak bölünmüş, boyutu ise 1 mm' den daha küçüktür. Tozlar genellikle metaliktir. Bir tozun yüzey alanın hacmine göre yüksek olması en önemli karakteristiği (Lawley, 1992). Demir ve pek çok farklı metalde, presleme ve sinterleme teknikleriyle malzemenin teorik yoğunluğunun sadece %80'ine erişilebilir. Teorik yoğunluğun %90'ı veya daha fazlasına ise ikinci bir presleme işlemiyle ulaşılabilir. Üretilen maksimum yoğunluk, aynı zamanda parçanın boyutlarına ve şekline de bağlıdır.

3.1. Toz Metalürjisi Kullanıldığı Alanlar

Metal tozlarından elde edilen bileşenler, kendinden yağlanabilen rulman burçları, tungsten ampul telleri ve testereler, sürekli magnetler, elektriksel bağlantı parçaları ve fırçalar, dişli mekanizmalar, nükleer enerji yakıt bileşenleri, pompalar,

paslanmaz sinterlenmiş filtre parçaları, çeşitli mekanik bileşenler, paslanmaz sinterlenmiş parçalar ve çok daha fazla alanda kullanılıyor (Çavdar, 2009).



Şekil 3.2. Toz metalürjisi ile üretilen parçalar (Çavdar, 2009)

3.2. Toz Metalürjisi Avantaj ve Dezavantajları

Toz metalürjisi, birçok avantajı olan bir teknolojisidir. Ancak, bazı dezavantajları da vardır.

Toz metalürjisinin avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir:

Avantajları:

- Yüksek hassasiyet: Toz metalürjisi, karmaşık şekiller ve boyutları olan parçaların üretiminde yüksek hassasiyet sağlar. Bu, daha fazla malzeme tasarrufu ve daha az atık üretimi anlamına gelir.
- İyi mukavemet: Toz metalürjisi ile üretilen parçalar, yüksek mukavemet ve dayanıklılığa sahiptir. Bu nedenle, özellikle yüksek sıcaklıklara ve aşınmaya maruz kalan parçaların üretiminde kullanılır.
- Daha az işleme gerektirir: Toz metalürjisi ile üretilen parçalar, diğer yöntemlerle üretilen parçalara göre daha az işleme ihtiyacı duyar. Bu da üretim süresini kısaltır ve maliyetleri azaltır.
- Daha fazla malzeme çeşidi: Toz metalürjisi, farklı malzeme türleri kullanarak parçaların üretiminde kullanılabilir. Bu da farklı özellikler gerektiren parçaların üretiminde kullanılabileceği anlamına gelir.

- Çevre dostu: Toz metalürjisi, diğer üretim teknolojilerine göre daha çevre dostu bir yöntemdir. Atık üretimi daha azdır ve geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılabilir.

Dezavantajları:

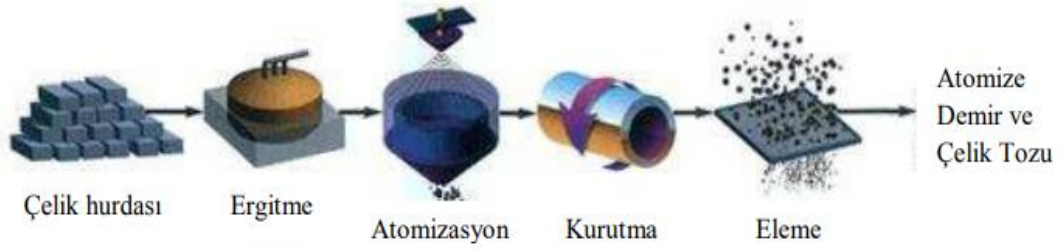
- Yüksek maliyet: Toz metalürjisi, diğer imalat süreçlerinden daha pahalıdır. Özellikle, yüksek sıcaklıklarda sinterleme işlemi için özel fırınlar gerektirir.
- Düşük üretim hızı: Toz metalürjisi ile üretilen parçaların üretim süreci diğer yöntemlere göre daha uzundur. Bu nedenle, büyük miktarda parça üretimi gerektiren işlemler için toz metalürjisi maliyetli olabilir.
- Toz işleme güvenliği: Toz metalürjisi, toz halindeki malzemelerin kullanılması nedeniyle işleme güvenliği sorularına neden olabilir. Tozların solunması, yangın riski ve patlama riski gibi sorunları barındırır.
- Sınırlı malzeme boyutu: Toz metalürjisi, üretilebilecek malzeme boyutlarına sınırlama getirir. Malzemelerin çok büyük veya çok küçük boyutlarda olması durumunda, üretim süreci daha zor hale gelir.
- Zor kontrol edilebilir üretim

3.3. Metal Tozların Üretim Yöntemleri

Metal tozları, çeşitli yöntemlerle üretilebilir. Bazı yaygın metal tozu üretim yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılarak açıklanmıştır.

3.3.1. Atomizasyon

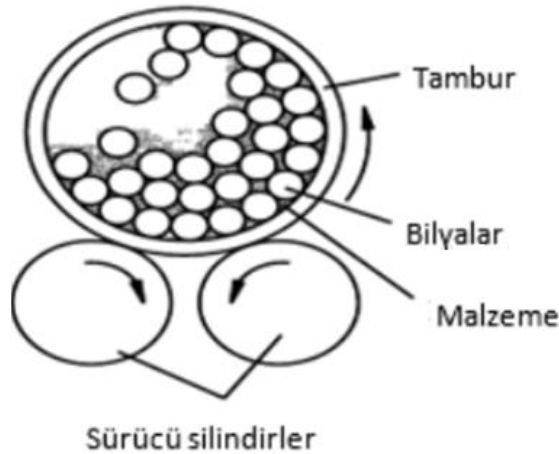
Atomizasyon, sıvı metalin yüksek basınçlı gaz veya su jetleri kullanılarak toz haline getirilmesi işlemidir. Bu yöntem, metal tozlarının üretimi için en yaygın yöntemlerden biridir. Diğer toz üretim yöntemleri arasında metal ve alaşım tozlarının üretiminde en çok atomizasyon yöntemleri tercih edilmektedir. Atomize tozlar, diğer üretim süreçlerinde erişilemeyen özelliklere ve avantajlara sahiptir (Ayata, 2014).



Şekil 3.3. Atomizasyon yöntem ile toz üretim aşamaları (Şenel, 2018)

3.3.2. Öğütme

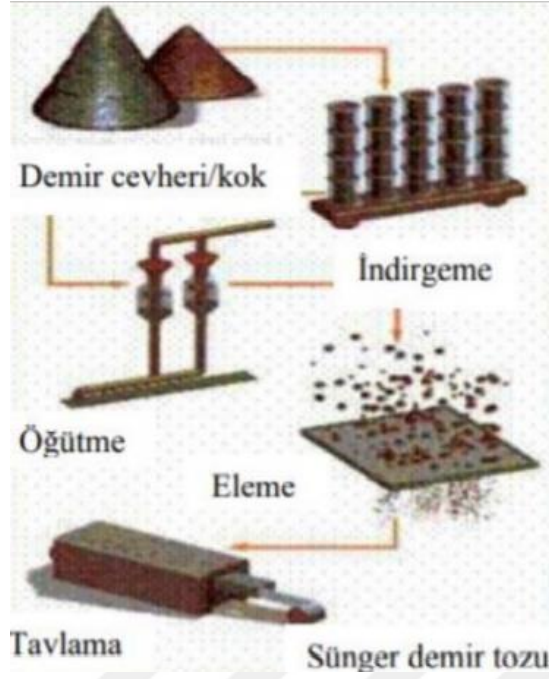
Öğütme, sert metallerin parçalanması ve toz haline getirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle metal tozları için küçük ölçekli üretimlerde tercih edilir. Öğütmek, öğütme bilyeleri toz haline indirgenecek olan malzemenin cinsine göre seçilir, yüksek enerjili bir sistemde bilyeler çarpıştırılarak parçaların daha küçük parçalar haline getirme ilkesidir (Ayata,2014). Şekil 3.4’de kavanoz öğütücü değirmeni görülmektedir.



Şekil 3.4. Silindirik değirmende hareketinin gösterimi (Boushiha, 2020)

3.3.3. Kimyasal Yol

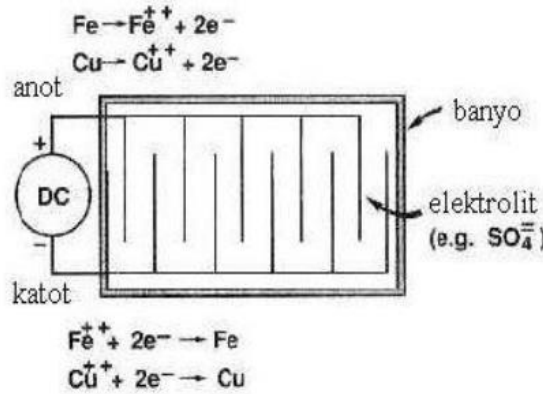
Kimyasal yol, metal tozlarının üretimi için farklı kimyasal reaksiyonlar kullanır. Metal tozları ve kimyasalların kullanılmasıyla, farklı metal tozları üretilebilir. Bu yöntemde toz, oksit indirgeme, çözeltiden veya gazdan çökeltme, Termal ayrışma, kimyasal gevrekleşme, hidrit çökeltme gibi farklı kimyasal işlemle yapılır. Bu kategoride en sık kullanılan işlem oksit indirgemedir, termal kırılma ve çökeltmedir (Ayata,2014).



Şekil 3.5. Kimyasal yöntem ile demir tozu üretimi (Güntürk, 2022)

3.3.4. Elektroliz

Elektroliz yöntemi, elektrik akımı kullanarak metal katyonlarının toz haline getirilmesidir. Yüksek maliyetli olmasından kaynaklı demir tozu üretimi diğer yöntemlerde daha avantajlıdır. Bu yöntem, özellikle alüminyum ve bakır gibi bazı metallerin üretimi için kullanılır (Ayata, 2014).



Şekil 3.6. Toz toplama için bir elektroliz hücresi (Karaca, 2014)

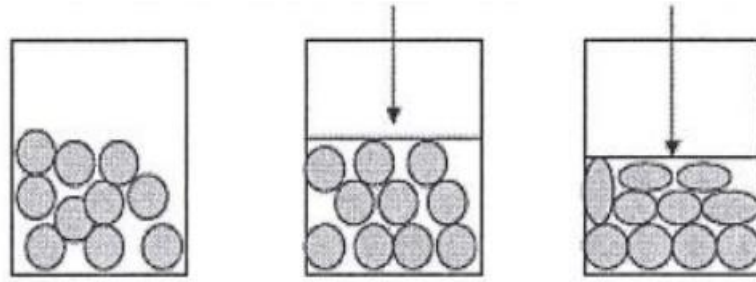
3.4. Tozların Karıştırılması

Harmanlama, tek bileşenli karışımlar için genel terimdir ve karıştırma, çok bileşenli toz karışımlar için kullanılan terimdir. Örneğin, katı bağlayıcı ve metal tozu'un kombinasyonu, çoklu bileşenlerin bir temsilidir. Bu ayrıca ek elementel ve

moleküler tozlar eklenirken de kullanılır. Toz hacmi, karıştırıcı hacminin %50-60'ı olduğunda en iyi şekilde sonuçlar elde edilir. Karıştırması sırasında, genellikle 5-30 dakikada başarılı olur. Karıştırmanın ana avantajı, karışımın iyi bir bileşim sağlayarak tozun her parçasında sabit ve homojen bir yoğunluk elde etmektir (Ak, 2014).

3.5. Presleme

Tozların karıştırılmasından sonraki adım, toz karışımının şekillendirilmesi, yani presleme, sıkıştırma veya briketlemedir. En yaygın şekillendirme yöntemi, toz halindeki bileşimin bir kalıba dökülmesi ve hidrolik veya mekanik bir pres kullanılarak şekillendirilmesidir. Bu işlemde elde edilen parça, yoğunluğa ve dayanıklılığa sahiptir, ancak hamdır, yani henüz sinterlenmemiştir. Üretilen ham parça, toz metalürjisi işleminin sonraki aşaması olan sinterleme işleminde yoğunluğunu ve mukavemetini elde edecektir (Dikici, 2010).



Şekil 3.7. Tek yönlü presleme (R. M. German, 1997)

3.6. Sinterleme

Sinterleme, birbiriyle temas halindeki parçacıkların yüksek sıcaklıklarda birbirine bağlanmasına olanak verir. Bu bağ, erime noktasının altında katı halde atomik hareketlerle oluşturulabilir. Bununla birlikte, birçok durumda bu, bir sıvı fazın oluşumu ile olur. Mikro düzeydeki birleşme süreci, birbirine temas eden partiküller arasında 'boyun' oluşumu şeklinde belirginleşir. Bu boyunlaşma, mukavemetin ham mukavemete kıyasla artmasını ve diğer birçok faydalı özelliği geliştirir (Yönetken, 2008)



Şekil 3.8. Nikel tozunun sinterlemesi sırasında boyun oluşumu (Yönetken, 2008)

Sinterleme, istenen nihai özellikleri elde etmek için preslenmiş parçaların kontrollü bir atmosferde ve yüksek sıcaklıkta ısıtılmasıdır. Çoğu metal erime noktasının %70-80'i olan bir sıcaklıkta sinterlenmiş olsa da bazı refrakterlerin sinterleme sıcaklığı kendi erime noktası %90 kadar olabilir. Karışım birden fazla malzeme içeriyorsa, işlem sıcaklığı bazı bileşenlerin erime noktasından daha yüksek olabilir, bu da düşük erime noktalı malzemelerin erimesine ve yüksek erime noktalı tozlar arasındaki boşlukları doldurmasına neden olabilir (Ak, 2014).

Sinterleme genellikle 3 aşamada gerçekleşir ve sinterleme fırınında 3 farklı bölge oluşturulur

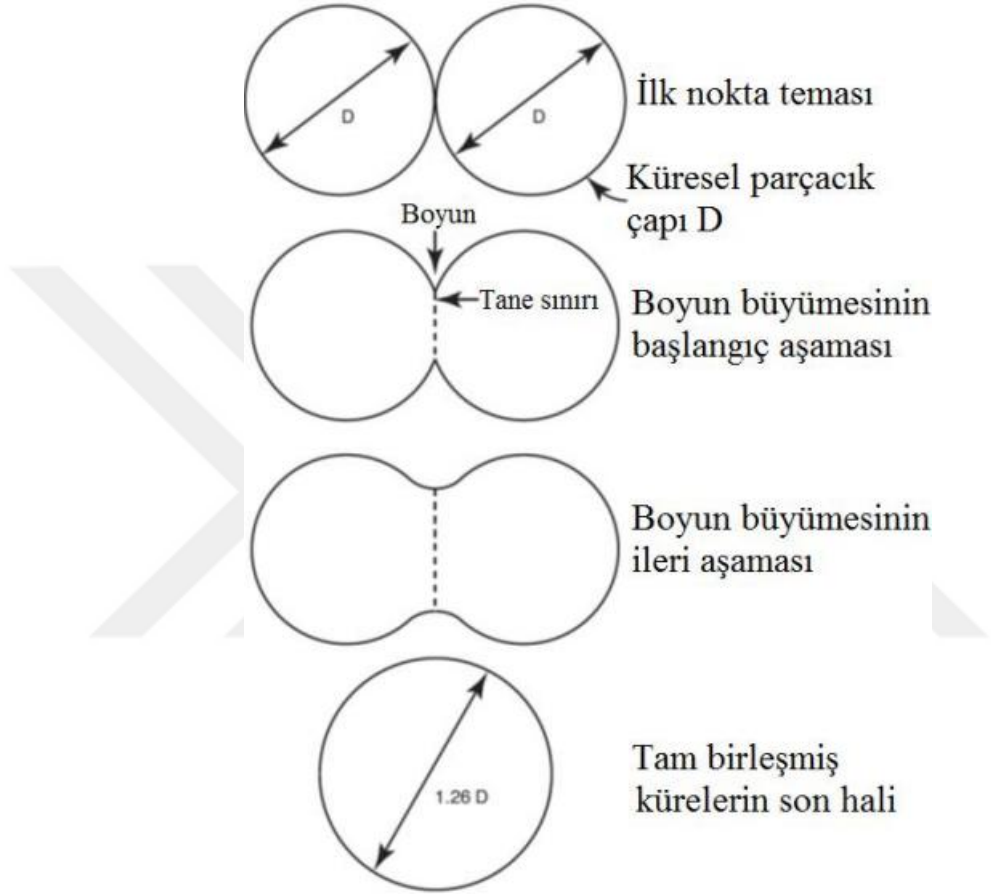
- Yanma veya temizleme bölgesi
- Yüksek sıcaklık bölgesi
- Soğutma bölgesi

Sinterleme prosedüründe, yapılacak malzemelerin niteliklerine bağlı olarak, sinterleme sürecinin ve sıcaklığının ayarlanması önemlidir. Sinterlenmiş ürünlerde gözlemlenen düşük direnç ve yoğunluk, genellikle uygun olmayan sinterleme sıcaklığı ve süresinin sonucu olabilir. Bu zaman ve ısı yoğunlukla deneysel yöntemlerle tespit edilir. Sinterleme ısısı, kullanılan partiküllerin erime noktasına mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Ancak, sinterleme süresine spesifik bir değer atamak genellikle zordur.

3.6.1. Katı Hal Sinterlemesi

Katı hal sinterleme, malzemenin difüzyonla taşınmasını içerir. Bu süreçte gereken enerji, toz yüzeyi ile boyun bölgesi arasındaki serbest enerji veya kimyasal potansiyel farkından kaynaklanır. (Ayata, 2014). En yaygın katı faz sinterleme işlemi,

sinterlemenin geleneksel işlemlerden daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği toz metalurjisi yöntemidir. Proses, toz tartımı, karıştırma, sıkıştırma ve sinterlemeden oluşur. Düşük sıcaklıklarda sinterlemenin avantajları, istenmeyen faz oluşumunun azalmasını, homojen toz dağılımını ve gözeneklilik gibi katılaşma kusurlarından engel olması gösterilebilir (Gezici, 2019).

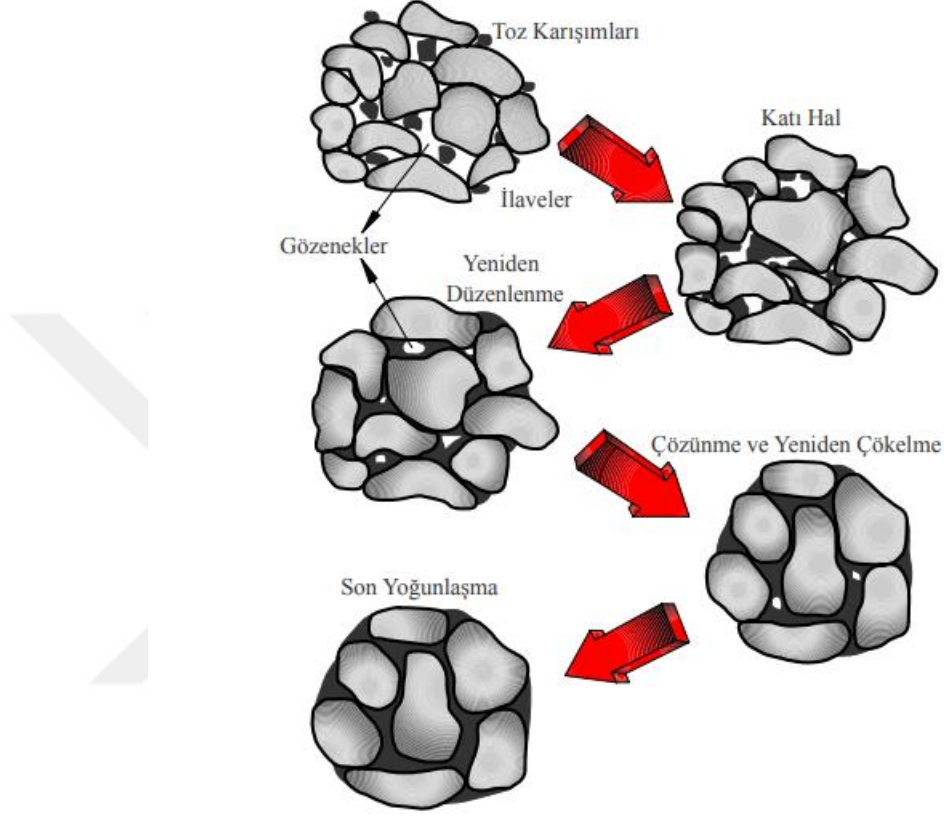


Şekil 3.9. İki küre sinterleme teorisi (Gezici, 2019)

3.6.2. Sıvı Faz Sinterlemesi

Sıvı faz sinterleme esnasında hem sıvı faz hem de katı toz birikintisi aynı anda mevcuttur. Genel olarak, sıvı faz sinterleme, partiküller arasındaki bağı artırır ve sinterleme hızına katkıda bulunmaktadır. Sıvı fazın neden olduğu kılcal sürüklenme kuvvetleri sayesinde tanecikler birbirini çeker ve basınçsız hızlı yoğunlaşma gerçekleşir. Meydana gelen sıvı faz, partiküller arasındaki sürtünmeyi minimize ederek yeniden düzenlenme sürecini hızlandırır. Parçacıklar arası bağlanma, gözenek yapısında ve mukavemet, dayanıklılık, iletkenlik, manyetik geçirgenlik ve korozyon direnci gibi parça özelliklerinde önemli değişikliklerle ilişkilidir (Özgün, 2007).

Sıvı faz sinterleme sırasında, sıvı fazı elde etmek için farklı kimyasal yapıdaki tozlar kullanılır. İki tozun etkileşimi ile bir sıvı faz oluşur. Bir sıvı faz oluşturmanın başka bir yöntemi, ön alaşımlı metal tozu sıvı ve katılaşma eğrileri arasındaki bir sıcaklığa ısıtmaktır. Ortaya çıkan katı ve sıvı faz karışımı, süpersolidüs sinterlemeye yol açar (James, 1985).



Şekil 3.10. Sıvı faz sinterlemesinde mikroyapısal değişiklikler (Özgün, 2007)

4. İNDÜKSİYONLA SİNERLEME

İndüksiyonla sinterleme, toz metalurjisi veya seramiklerin üretiminde kullanılan bir sinterleme yöntemidir. Bu yöntemde, bir indüksiyon bobini, toz malzemenin bir kısmını sinterlemek için yüksek frekanslı bir manyetik alan üretir.

İlk olarak, toz malzeme, sinterleme kabına yerleştirilir ve sıcaklık artırılarak kısmen sinterlenir. Daha sonra, indüksiyon bobini, sinterlenmiş kısmın üzerine yerleştirilir ve manyetik alan oluşturulur. Manyetik alan, sinterlenmemiş kısmın içinde elektriksel akımlar oluşturur ve malzeme ısınır. Bu, malzemenin daha da sinterlenmesine ve son olarak tamamen sinterlenmiş bir parça elde edilmesine yardımcı olur.

İndüksiyonla sinterleme yöntemi, yüksek sıcaklıkta ve kısa sürede sinterlenme sağlayarak, yüksek kaliteli ve homojen malzemelerin üretimini mümkün kılar. Bu yöntem aynı zamanda enerji tasarrufu sağlar ve diğer sinterleme yöntemlerine göre daha hızlı bir üretim süreci sunar.

Toz metalurjisi üretim yönteminde daha önce de bahsedildiği gibi toz malzemeler preslenerek tozlar birbirine yaklaştırılmakta ve sinterleme yönteminde yaklaşan tozlar arasındaki mesafe verilen bir enerji miktarı kadar azaltılmaktadır. Sinterleme sırasında mikroyapısal değişiklikler meydana gelir. Sıkıştırma sırasında toz tanecikleri birbirine yaklaşır ve yoğunluk artar. Sinterleme sırasında, sarmal ısıtıcı, demirli toz metalleri, vakum veya atmosferde ana metalin erime sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa kadar ısıtır. Metal parçalar metalurjik bağlar oluşturur ve difüzyonla bir alaşım yapılıır (Çivi, 2011). İndüksiyon sisteminin en önemli özelliği hızlı ısınmasıdır çünkü ısı doğrudan parça üzerinde üretilir.

4.1. İndüksiyonla Sinterleme Prensibi

İndüksiyonla ısıtma, elektriksel olarak iletken bir ortamda oluşturulan girdap akımları ile ısıtmadır. Alternatif bir manyetik alan ile malzeme. Eşitlik benzer. Girdap akımları D olarak belirlenir.

$$D = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (4.1)$$

Burada f frekans, μ malzeme manyetik geçirgenliğidir ve σ ise malzeme elektriksel iletkenliği.

Geleneksel sinterleme ile karşılaştırıldığında, indüksiyonla sinterleme daha uygun maliyetli bir süreç olarak önerilir çünkü indüksiyon üniteleri geleneksel sinterleme fırınlarına göre daha küçük (Hirschho JS, 1970), daha basit ve bakımı daha kolaydır. İndüksiyonla ısıtma hızlı olduğu için koruyucu atmosfer olmadan gerçekleştirilebilir. Tozların sinterlenmesi için indüksiyonla ısıtmanın etkisinin kullanılmasına izin veren iki şema mümkündür. İlk şemada, çok daha yaygın olanı, iletken bir kap veya bir durdurucu rolünü oynayan bir kalıp, girdap akımları tarafından ısıtılırken, kalıptaki toz radyasyon ve termal iletim yoluyla ısıtılır (RM, 1996). Bu şema genellikle orta ve yüksek frekanslı işlemlerde kullanılır. Tahsisli indüksiyonlu akımlar yalnızca iletkenlerde üretilebilir, doğrudan indüksiyonlu sinterleme, işlemin başlangıcında yüksek elektrik iletkenliğine sahip toz kompaktları gerektirir. İndüksiyon sinterleme tekniğinin özelliği, ısıtılmış kompaktın soğuk ortamıdır (Guyon A, 2014). İndüksiyonla ısıtma sinterlemesinin her iki şeması da hızlı ısıtma ve hızlı soğutma sağlar (ikincisi bobin akımı kesildiğinde gerçekleşir), sinterleme süresini önemli ölçüde kısaltır ve enerji verimliliği sağlar. Koruyucusuz başarılı indüksiyonla sinterlemesi için, kompakt, elektriksel olarak iletken olmalı ve homojen ısınma sağlamak için basit bir şekle sahip olmalıdır. Düzensiz kesitli parçalar için, Tarama işleminin adramatik indirgeme, (Hermel W, 1980) tarafından verilen bir örnekten görülebilir . 12 dakika sinterlenmiş bir demir kompakt indüksiyon, aynı sıcaklıkta 60 dakika boyunca geleneksel olarak sinterlenmiş kompaktın mukavemetine ulaşmıştır.

4.2. İndüksiyonla Sinterlemenin Avantajları

- Hızlı ve Etkili Sinterleme: İndüksiyonla sinterleme, sıcaklık hızlı bir şekilde artırılabilir ve malzeme yüzeyinde oluşan elektromanyetik akımlar sayesinde

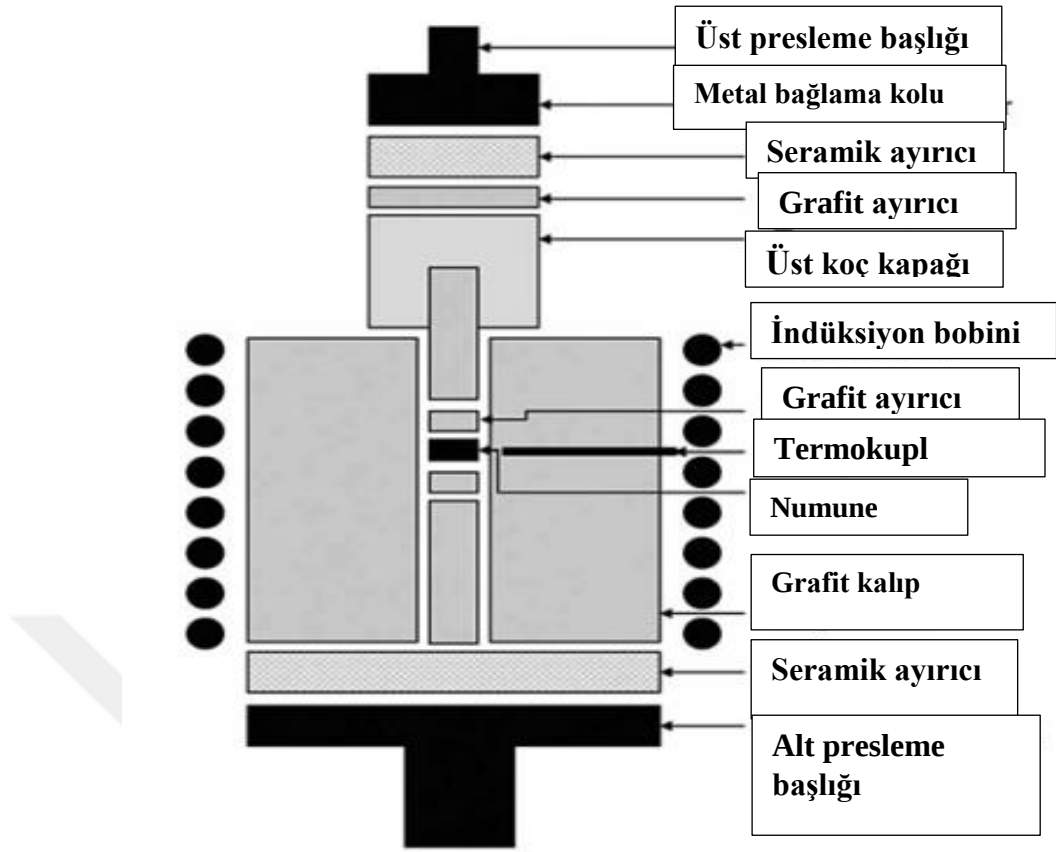
yüksek sıcaklıklar daha etkili bir şekilde elde edilir. Bu, sinterleme işlemini hızlandırır ve enerji maliyetlerini azaltır.

- Verimlilik: Bobin ve güç dönüştürücüsünün modern verimli tasarımları, %90'dan daha yüksek verimlilik değerleri elde etmeyi sağlar ve geleneksel ısıtma tekniklerini önemli ölçüde geliştirir. Ayrıca, sadece indüksiyon hedefi ısıtıldığından, çevre ve çevreleyen elemanlar üzerinden ısı kaybı minimize edilir ve yüksek sıcaklıklar elde edilebilir (Lucía, Maussion, Dede, & Burdío, 2013).
- Numune ile doğrudan temas etmeyen ısıtma bobininin varlığı, kalite sorunlarının yaşanmamasını sağlar.
- Kontrollü ısıtma: indüksiyonla sinterleme sistemi tarafından uygulanan güç ve konumu, bobin ve güç dönüştürücüsünün uygun tasarımı ve kontrolü sayesinde hassas bir şekilde kontrol edilebilir. Sonuç olarak, yerel ısıtma, önceden belirlenmiş sıcaklık profilleri gibi gelişmiş özellikler uygulanabilir (Lucía et al., 2013).
- Sinterleme prosesinin tekrarlanabilirliğinin ve sürekliliğinin yüksek olması

Genel olarak indüksiyonla sinterlemenin avantajları bakıldığında yüksek enerji verimliliği, kayıpsız olması, prosesin hızlı ve yüksek kontrol edilebilirliği gözlemlenmiştir (Ongunyurt, 2019).

4.3. İndüksiyonla Sinterleme Ekipmanları

Tozlar genellikle iletken bir kalıba yerleştirilir ve numuneye tek eksenli bir basınç uygulanır (LaLonde AD, 2011). Örnek bir yük çerçevesinde preslenirken grafit kalıbın indüksiyonuyla ısıtıldığı bir sıcak pres sistemini göstermektedir (Şekil 4.4). Sistem vakum altında veya koruyucu atmosfer içinde. Başarıyla sinterlenmiş PbTe ve SiGe termoelektriklere sahip olmak, geleneksel yöntemlerle üretilen malzemelere yakın özellikler gösteren çok daha uzun süre sıcak presleme, indüksiyonlu ısıtmanın sinterleme, kıvılcım plazma sinterlemeye uygun bir alternatif sunar.



Şekil 4.1. İndüksiyon sıcak presinin şematik gösterimi (LaLonde AD, 2011)

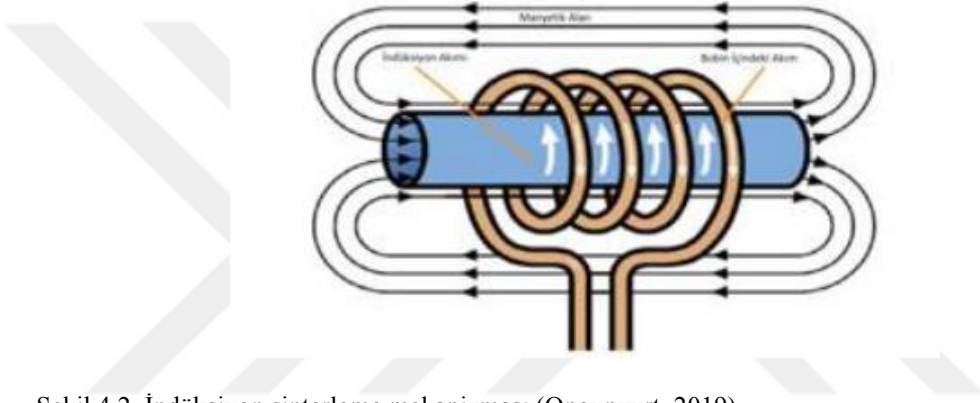
4.4. İndüksiyonla Sinterleme Mekanizması

İndüksiyonla sinterleme mekanizması, manyetik malzemelerin manyetik alan etrafında dönen indüksiyon bobini sayesinde hızlı bir şekilde ısınması ve sinterleşmesi prensibine dayanır. Bu yöntem, endüstriyel ölçekte sinterleme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

İndüksiyonla sinterleme, değişken elektrik akımı taşıyan bir iletken bobin yardımıyla gerçekleştirilir. Bobindeki akım, toz materyalin içerisinde eddy akımlarını tetikleyen bir manyetik alan oluşturur. Bobin genel olarak bakırdan oluşur. Bobinin aynı zamanda içerisinde soğutma suyu da geçmektedir. İletken olmayan malzemelerde, manyetik akıyı çekmek için indüksiyon bobinin içinde başka bir iletkene ihtiyaç vardır. İletken madde, manyetik akıyı çekme yoluyla ısınır ve bu ısıyı izolasyon malzemesine aktarır (Karaca & Çavdar, 2014). Genel olarak, bobinin boyutu, çapı, malzemenin uzunluğundan, çapından biraz daha büyüktür. Kısmen ısıtılması gereken malzemeler için bobinin uzunluğu, ısıtılan yüzeyin uzunluğundan biraz daha kısadır.

İndüksiyonla ısıtma yüksek hızlarda gerçekleştirilebilir $-100^{\circ}\text{C min}^{-1}$ (Dudina DV, 2010) ila $1400^{\circ}\text{C min}^{-1}$. Alternatif akım kapatıldığında, indüksiyonlu sinterlenmiş numunelerin soğutulması $500-600^{\circ}\text{C min}^{-1}$ 'de gerçekleşir (Khalil KA, 2012). İndüksiyon sinterleme sırasındaki sıcaklık genellikle kalıbın duvarına odaklanmış bir pirometre ile kontrol edilir.

İndüksiyon sinterleme ile numune 600°C sıcaklığa 5-6 saniyede ulaşır ve 3-5 dakikada sinterlenir. Geleneksel yöntemlerle sinterleme süresi yaklaşık 30-45 dakikadır. İndüksiyon sinterleme ile, kalıptaki sıkıştırılmış toz karışımındaki manyetik akıyı çeken metal parçacıkların oranı arttığı için, kompakt parça daha hızlı ısınır (Gezici, 2019).



Şekil 4.2. İndüksiyon sinterleme mekanizması (Ongunyurt, 2019)

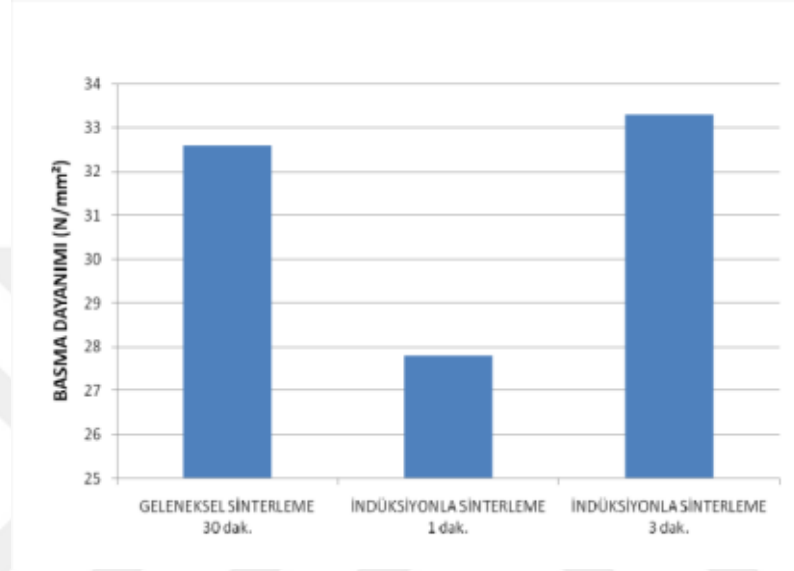
4.5. İndüksiyonla Isıtma Sistemlerinin Kullanım Alanları

İndüksiyonla ısıtma, bir manyetik alan kullanarak ısıtma işlemidir. Bu yöntem, metal parçaların hızlı bir şekilde ısınmasını sağlamak için kullanılır. İndüksiyonla ısıtma sistemleri, birçok farklı endüstride kullanılır. Bazı örnekleri şunlardır:

- Yüzey sertleştirme
- Bölgesel ısıtma
- Genel ısıtma
- Kaynaklama
- Mutfakta kullanım
- Metal yumuşatma (tavlama)

4.6. İndüksiyonla Sinterlemenin Geleneksel Sinterlemeye Göre Farklılığı

Yapılan inceleme sonucunda Şekil 4.3'de görüldüğü gibi indüksiyonla sinterlenmiş numunelerin mukavemet değerlerinin geleneksel sinterlenmiş numunelerden önemli ölçüde farklı olmadığı bulunmuştur. Bu nedenle fırın sinterleme yerine indüksiyonla sinterleme kullanılabilir, bu da zamandan ve maliyetten önemli ölçüde tasarruf sağlayabilir (Çivi, 2011).



Şekil 4.3. Toz metal burçlarının, atmosferik koşullarda indüksiyon yöntemiyle 1 ila 3 dakika ve geleneksel yöntemle inert bir ortamda 30 dakika sinterlenmesinin sonucunda elde edilen basma dayanım değerleri. (Çivi, 2011)

5. TOZ METAL 316L PASLANMAZ ÇELİKLER

316L paslanmaz çelikler, toz metalurjisi yöntemi ile üretilen malzemelerdir. 316L, yüksek kaliteli östenitik paslanmaz çelik ailesinden 316'dır. Bu grup metalik özelliklere sahiptir ve ayrıca, taneler arası korozyona ve gerilimli korozyon çatlamasına karşı çok dirençlidir. Eşsiz yapıştırma kabiliyetine ve mekanik avantajlara sahiptir. 316L paslanmaz çelik, biyo-uygulamalarda yaygın olarak kullanılan malzemelerden biridir (Kaya, 2019).

316L, 1950 yılında üretilmiş, korozyon riskini azaltmak için 316 paslanmaz çeliğin karbon içeriğini %0,08'den maksimum %0,03'e düşüren, biyouyumlu bir metaldir. "L", düşük anlamına gelen İngilizce "low" kelimesinden gelir. Düşük karbon içeriği nedeniyle, krom karbürün yüzeyde birikme olasılığı daha düşüktür ve bu nedenle yüksek bir korozyon direncine sahiptir (Kaya, 2019).

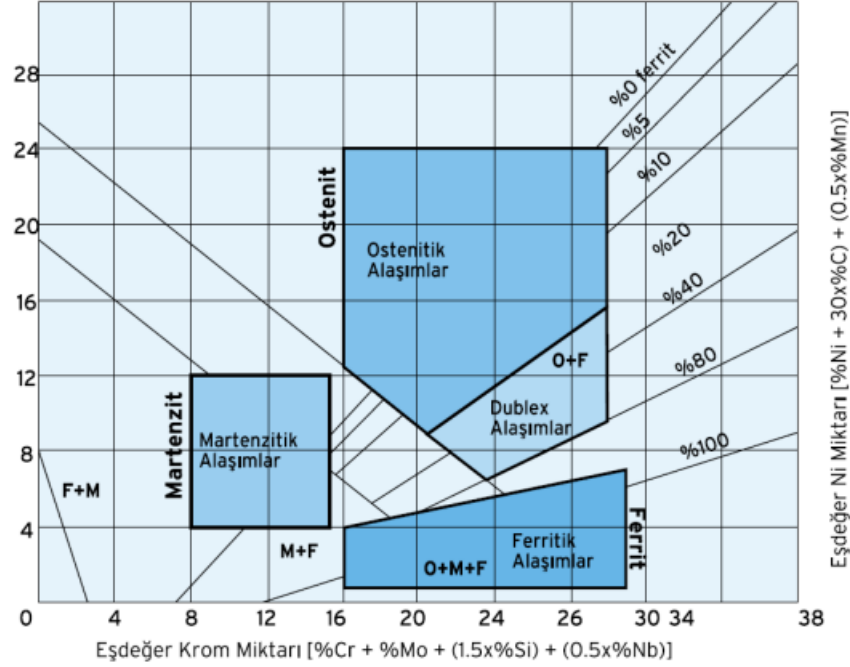
Bu yöntemde, paslanmaz çelik tozları öncelikle birleştirilir ve ardından bir kalıba yerleştirilirler. Kalıp, sıcaklık ve basınç altında sıkıştırılır ve sonrasında yüksek sıcaklıkta fırınlanarak yoğunlaştırılır. Son olarak, şekillendirme, parlatma ve yüzey işlemleri ile ürüne son hal verilir.

316L paslanmaz çelikler, genellikle korozyon direnci, yüksek sıcaklık dayanımı, oksidasyon direnci ve biyouyumluluğu nedeniyle tıbbi cihazlar, havacılık, otomotiv, kimya endüstrisi, gemi yapımı ve diğer birçok uygulamada kullanılır. Ayrıca, bu çeliklerin yüksek mukavemeti ve işlenebilirliği nedeniyle de tercih edilirler.

5.1. Toz Metal Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler, en az %11 krom içeren demir esaslı alaşımlardır. %30 üstünde krom veya %50'den az demir içeren sadece birkaç paslanmaz çelik türü mevcuttur. Krom içeriği sayesinde yüzeylere güçlü bir şekilde yapışan ince, sünek oksit bir tabaka oluşturur. Bu nedenle kimyasal ortamda pasifleştirilirler. Bu oksit tabakası, oksijen içeren bir ortamda bir oksit tabakası oluştuğunda ve dış etkenlerden dolayı bozulduğunda kendi kendini yenileyen bir tabakadır. Paslanmaz çelik, çeşitli ortamlarda mükemmel korozyon direnciyle öne çıkan bir malzeme grubudur. Bunun nedeni içerdikleri yüksek krom içeriğidir. Bunu yapabilen bir çelik, minimum %11 krom gerektirir. Bu krom oranına ek olarak nikel ve molibden ilavesi de bu korozyon direncine katkıda bulunur (Ak, 2014).

Paslanmaz çelikler mikro yapılarına göre genel olarak dört farklı gruba ayrılırlar. Bu; ferritik, martensitik, dubleks ve östenitik çelik olarak adlandırılır (Çelik, 2012). Bunların oluşum mekanizmaları Schaeffler diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Paslanmaz Çeliklerin Schaeffler diyagramı (Çelik, 2012)

5.2. Toz Metalurjisi ile Üretilmiş Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelik, diğer ferritik ve martensitik paslanmaz çeliklere göre korozyon direnci en yüksek paslanmaz çelik türüdür. Yüksek sıcaklık uygulamaları için de çok uygundur. ferritik ve martensitik çeliklerin oksidasyon direnci 700°C'nin üzerinde düşerken östenitik paslanmaz çelikler 900°C'de bile yüksek oksidasyon direnci gösterir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin sürünme direnci ve işlenebilirliği yüksektir. Bu tip paslanmaz çelikler, ferritik çeliklere göre daha yüksek arayer atom seviyelerine dayanabilir, ancak "L" serisi, stabilizatörler olmadan da kaynaklanabilir. Manyetik değiller. Bu özelliklerin bir sonucu olarak, ferritik Fe-Cr'ye nikel eklenmesi düşük sıcaklıklarda östenit-ferrit tane sınırlarını etkiler ve oda sıcaklığının üzerinde manyetik dönüşüm olmaz. Düşük sıcaklıklarda östenitik yapı, ferromanyetik martensitik bir yapıya dönüşür. Dövme işleminde nikel atomlarını değiştirmek için nitrojen veya manganez eklemek alışılmadık bir durum değildir (Ak, 2014).

Tablo 5.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin içerikleri (Ak, 2014)

AISI	% ELEMENTER İÇERİK						
	Cr	Ni	Mn	Si	C	Mo	N
303L	17-19	8-13	2 max	1 max	0,03 max	-	0,03 max
303N1, N2	17-19	8-13	2 max	1 max	0,03 max	-	0,2-0,6
304L	18-20	8-12	2 max	1 max	0,03 max	-	0,03 max
304N1, N2	18-20	8-12	2 max	1 max	0,03 max	-	0,2-0,6
316L	16-18	10-14	2 max	1 max	0,03 max	2-3	0,03 max
316N1, N2	16-18	10-14	2 max	1 max	0,03 max	2-3	0,2-,06
317L	19,5	14,8	2 max	1 max	0,03 max	3,5	0,03 max

Toz metalürjisi ile üretilen östenitik paslanmaz çeliklerin içerikleri yukarıda gösterilmiştir. 303L, 304L ve 316L türleri, düşük karbon modifikasyonları nedeniyle en popüler olanlardır. 304L genellikle östenitik paslanmaz çelik anlamına gelir ve en ekonomik olanıdır. Diğerlerinden farklı olarak 316L, geliştirilmiş korozyon direnci için molibden içerir. Sertlik değerleri açısından 304L'nin sertliği 316L'den daha yüksek, ancak mekanik özellikler açısından daha düşüktür.

5.3. Sinterlenmiş Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Dövme veya TM paslanmaz çelik, korozyon direnci ve fiziksel özellikleri nedeniyle tercih edilir. Ayrıca, birçok uygulamada mükemmel mekanik özelliklere ve sünekliğe sahiptir, bu da kullanım alanını artırır. Korozyona dayanıklı östenitik alaşımlar ve düşük maliyetli ferritik serisi belirli mekanik özelliklere sahiptir ve bazı uygulamalar için uygundur. Daha yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren uygulamalar için, martensitik veya çökeltme sertleştirmeli paslanmaz çelik kaliteleri gereksinimleri karşılayabilir. Daha önceki östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler ucuzdu, ancak düşük süneklikleri, uygulamalarını sınırlıyor. Çökeltme sertleştirmeli paslanmaz çelikler, yüksek mukavemet, süneklik ve mükemmel korozyon direnci ile beklentileri karşılar. Isıl işlem özellikleri ve işlenebilirlik, optimum özelliklere ulaşmak için kontrol edilmelidir. Östenitik ve ferritik bir mikro yapıya sahip dubleks paslanmaz çelik, her iki alaşım grubunun korozyon direncini ve mekanik özelliklerini sergileyebilir (Kuşoğlu, 2011).

5.4. TM 316L Paslanmaz Çeliğin Korozyon Davranışı

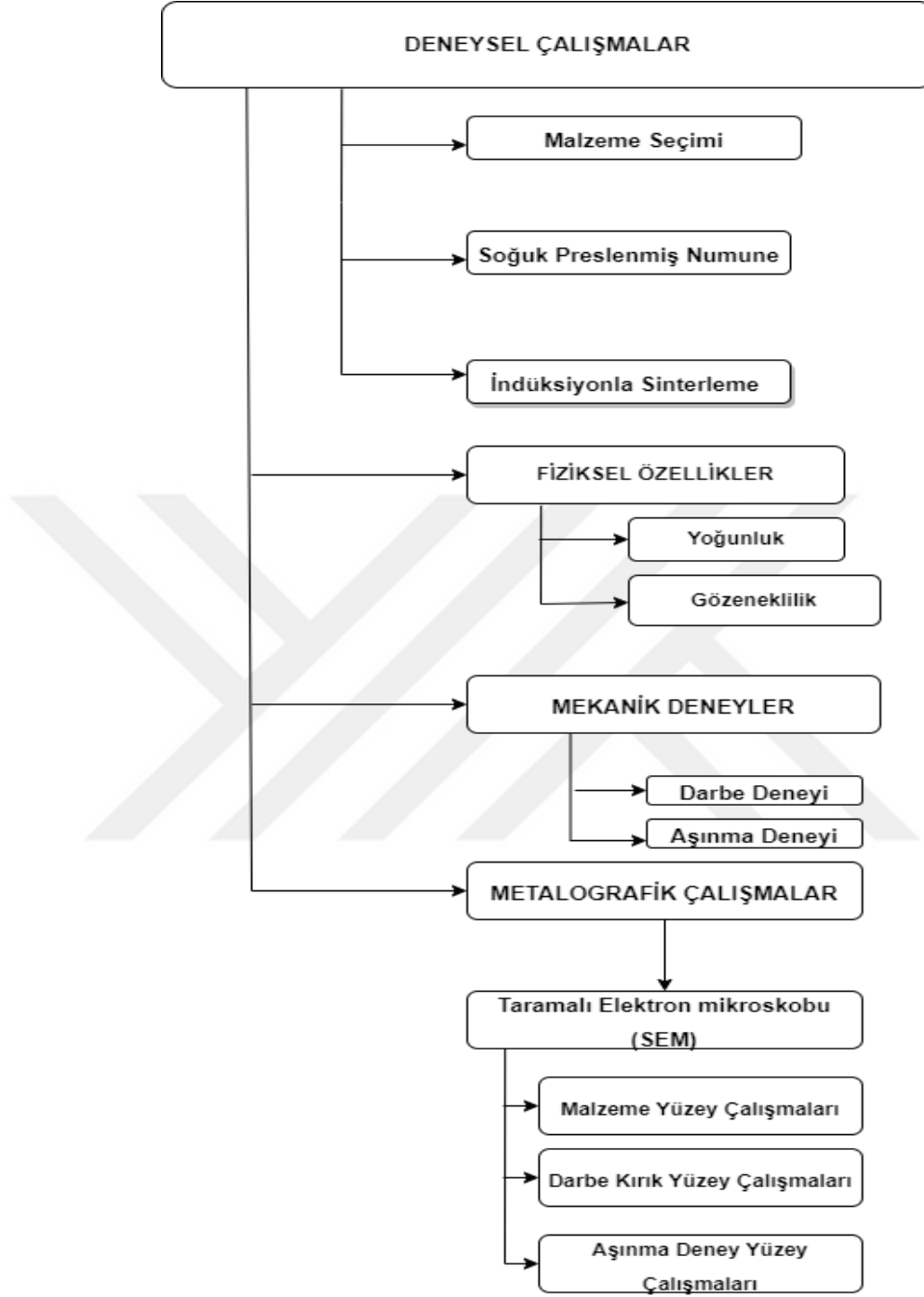
316L paslanmaz çelik, genellikle yüksek korozyon direnci gerektiren endüstriyel uygulamalarda kullanılan bir malzemedir. Toz metalurjisi ile üretilen 316L paslanmaz çelik, diğer üretim yöntemleriyle üretilen malzemelere göre daha homojen bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, 316L paslanmaz çelik toz metalurjisi ile üretildiğinde, malzemenin korozyon davranışı da daha iyi olabilir.

316L paslanmaz çelik, sulu ortamlarda korozyona karşı yüksek direnç gösterir. Özellikle, malzemenin klorür iyonlarına maruz kalması durumunda bile korozyon direnci oldukça yüksektir. Bunun nedeni, 316L paslanmaz çeliğin pasifleştirici krom oksit tabakası oluşturabilmesidir. Bu tabaka, malzemenin yüzeyini kaplar ve iç kısımların korozyona karşı direncini artırır.

Ayrıca, 316L paslanmaz çelik yüksek sıcaklıklarda da korozyona karşı direnç gösterir. Örneğin, malzeme 800°C'ye kadar olan sıcaklıklarda korozyona karşı dirençlidir. Ancak, daha yüksek sıcaklıklarda korozyon direnci azalabilir.

Sonuç olarak, toz metalurjisi ile üretilen 316L paslanmaz çelik, diğer üretim yöntemleriyle üretilen malzemelere göre daha homojen bir yapıya sahip olduğundan, daha yüksek bir korozyon direnci gösterebilir. Ancak, malzemenin korozyon davranışı, kullanılan ortamın özelliklerine (örneğin, sıcaklık, pH, tuzluluk) bağlı olarak değişebilir.

6. MATERYAL VE YÖNTEM



Şekil 6.1. Deneysel Çalışmanın iş akış şeması

6.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan AISI 316L paslanmaz çelik numuneler soğuk preslenmiş şekilde temin edilmiştir. Deneyde kullanılan malzemenin toz içeriği ise çizelge 6.1’de gösterilmiştir ve numuneye ait görüntü şekil 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.1. AISI 316L Paslanmaz çelik tozunun içeriği

Tür	İçerik						
	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	Fe
AISI 316L	17.4	12.8	2.3	0,2	0.8	0.08	Kalanı



Şekil 6.2 AISI 316L Paslanmaz çelik soğuk preslenmiş numune

6.2. Numunelerin Sinterlenmesi

Preslenmiş numuneler daha sonra sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler indüksiyon sisteminde koruyucu tüp ve vakum ortamında iki farklı sıcaklıkta 1100°C ve 1200°C sinterlenmiştir ve doğal soğuma yoluyla soğutulmuştur. İndüksiyonla sinterlenerek elde edilen numuneler şekil 6.3 ‘de verilmiştir.



Şekil 6.3. İndüksiyon cihazında koruyucu tüp ve vakum ortamında sinterlenen numuneler

6.3. Deneyde Kullanılan Cihazlar

Bu başlıkta AISI 316L paslanmaz çelik numunelerinin indüksiyonla sinterlenmesi sırasında kullanılan cihazlara yer verilmiştir.

6.3.1. Hassas Terazi

Bu çalışma kapsamında 316L paslanmaz çelik numunelerin ağırlıklarının tespitlerinde Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Radwag AS 220.R2 marka hassas terazi kullanılmıştır. Cihaza ait görüntü Şekil 6.4’de verilmiştir.



Şekil 6.4. Radwag AS 220.R2 hassas terazi

6.3.2. İndüksiyonla Isıtma Cihazı

Bu çalışma kapsamında AISI 316L paslanmaz çelik indüksiyonla sinterlenmesi için kullanılan Ondokuz Mayıs üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan TMI KJ GROUP markalı indüksiyonla ısıtma cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait görüntü şekil 6.5’ de verilmiştir.



Şekil 6.5. İndüksiyonla sinterleme düzeneği

6.3.3. Vakum Pompası

Ondokuz Mayıs üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan VALUE 4 vakum pompa cihazı AISI 316L paslanmaz çelik numunelerinin indüksiyonla sinterlenmesi sırasında vakumlanması için kullanılmıştır. Vakum pompasına ait görüntü şekil 6.6’da verilmiştir.



Şekil 6.6. Value 4 Vakum pompası cihazı

6.4. Test Yöntemleri ve Karakterizasyon

6.4.1. Yoğunluk ve Gözeneklilik Oranın Belirlenmesi

T/M 316L paslanmaz çelik indüksiyonla sinterlenmiş numunelerin bağıl yoğunluk ve gözeneklilik ölçümlerini gerçekleştirebilmek için, ağırlık ve toplam hacim değerleri belirlenmiş olan örneklerin deneysel yoğunluklarının hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalar, eşitlik (6.1)’de ifade edilen özgül ağırlık denklemine göre hesaplanmıştır. Bu denklemde m: numunenin ağırlığını (g), V_T: numunenin toplam hacmini temsil etmektedir.

$$\rho = \frac{m}{V_T} \quad (6.1)$$

Bağıl yoğunluk, bir malzemenin yoğunluğunun (ρ), başka bir malzemenin yoğunluğuna (ρ_{by}) oranı olarak tanımlanır. Bu durumda, başka malzeme genellikle referans noktası olarak kabul edilir. Eşitlik (6.2)’de denkelmi verilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan referans malzeme 316L’dir. Bu malzemenin teorik yoğunluğu “ ρ_{teo} ” şeklinde ifade edilmektedir.

$$\rho_{by} = \frac{\rho}{\rho_{teo}} \quad (6.2)$$

Gözeneklilik oranı ($\emptyset$), malzemenin genel yapısında bulunan boş alanların toplam hacme olan oranını temsil eder. Yani, malzemenin toplam hacmi içindeki boşlukların hacmi tarafından belirlenen bir orandır. Bu, malzemenin iç yapısının ne kadar boş alan içerdiğini gösterir. Eşitlik (6.3)'de gözeneklilik oranını ifade eden denklem verilmiştir.

$$\emptyset = (1 - \rho_{by}) \times 100 \quad (6.3)$$

6.4.2. Darbe Deneyi

Darbe testi, malzemelerin darbe yüklerine karşı dayanıklılığını değerlendirmekte önemli bir yöntemdir. Bu test, malzemenin darbeli yükler altında ne kadar enerjiyi absorbe edebileceğini belirler. Bu enerji, genellikle malzemenin 'tokluğu' olarak ifade edilir.

Malzemelerin tane sınırlarında, ikinci fazların oluşumu ya da iç çatlakların varlığı gibi faktörler, darbe duyarlılığını etkileyebilir. Bu faktörler genellikle malzemenin iç gerilimlerini artırır ve bu da darbe durumunda malzemenin kırılma olasılığını yükseltir.

Toz metalurjisi malzemeleri, darbe testlerinde genellikle dökme demir malzemelere benzer bir davranış sergiler. Bu nedenle, bu tür malzemeler için darbe testi genellikle çentiksiz olarak gerçekleştirilir.

Darbe enerjisi 14 J'den düşük olan malzemeler için de genellikle çentiksiz darbe testi uygulanır. Bu durum, malzemenin düşük darbe enerjisi kapasitesini yansıtır ve çentikli darbe testinin gerekli olmadığını gösterir.

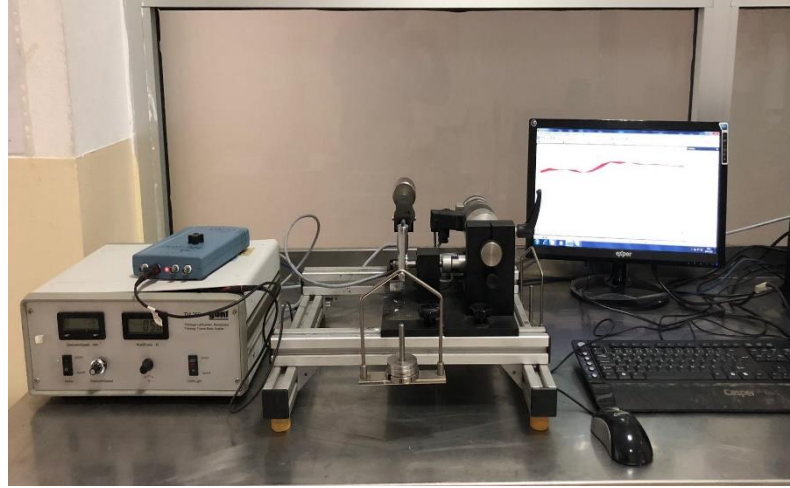
Darbe deneyi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarındaki ALŞA deney cihazında yapılmıştır. Deney numunelerinden, 55mm boyu ve 8,71x8,27 mm kesitinde numuneler 1100°C, ve 1200°C'de yaklaşık 7 dakika indüksiyonla sinterlenen numuneler hazırlanarak, oda sıcaklığında darbe deneyi yapılmıştır. Darbe deneyi cihazına ait görüntü şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Darbe deneyi cihazı

6.4.3. Aşınma Testi

İndüksiyonla sinterlenen AISI 316L numuneler Makina Mühendisliği Konstrüksiyon ve İmalat Laboratuvarı'nda bulunan GUNT TM260 Şekil 6.8 marka aşınma test cihazında aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testleri için, sinterlenmiş örnekler boyutlarına göre düzenli şekilde kesildi ve her iki sıcaklıkta üretilen numunelerin yüzeyleri zımpara kağıdı ve elmas pastası kullanılarak parlatıldı. Ardından, aşınma testleri için örnekler, bir pin-on-disk tribometre kullanılarak test edildi. Sürtünme mesafesi ve hızı, her iki sıcaklık grubu için aynı tutuldu. Aşınma test düzeneğine uygulanacak yük 10N olup, diskin dönüş hızı (n) 200 rpm olup ve deney süresi 20 dakikadır. Kontrol ünitesinden gelen veriler, PICO 4424 veri kaydedici ve yazılımı aracılığıyla her saniye bilgisayara aktarılır.



Şekil 6.8. Aşınma testi deney düzeneği

Aşınan numunenin ilk kütlesi (m_i) ve aşınma sonrası kütlesi (m_s) kullanılarak, Denklem (6.4)'ya göre test numunesinin kütlesindeki değişim hesaplanmaktadır. Hacim değişimi (ΔV), kütle değişiminin (Δm) deneysel yoğunluğa ρ_D bölünmesiyle hesaplanır (Denklem 6.5).

$$\Delta m = m_i - m_s \quad (6.4)$$

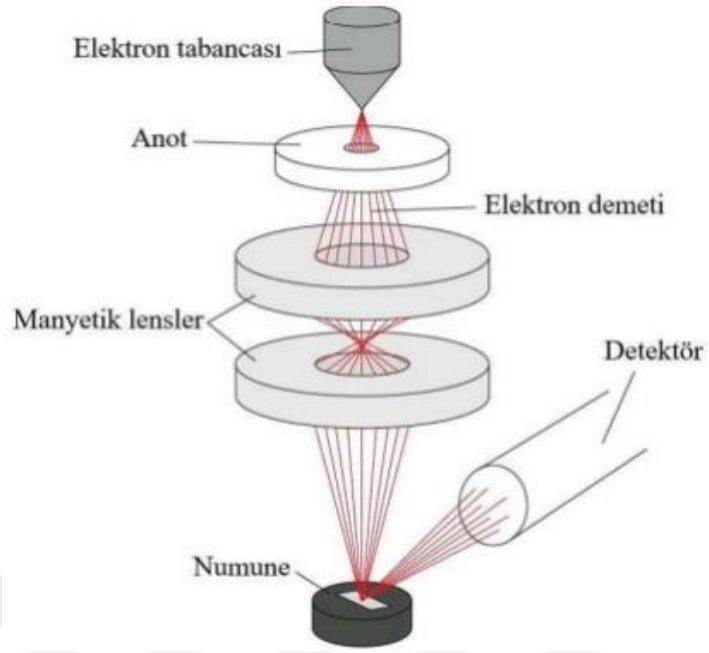
$$\Delta V = \Delta m / \rho_D \quad (6.5)$$

Son olarak Denklem (6.6) kullanarak test edilen numunenin aşınma oranını (W) belirlenmektedir. Denklemde uygulanan yük (F), kayma mesafesi (L) ve hacim değişimi (ΔV) cinsinden verilir. Aşınma oranının birimi $\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ 'dir.

$$W = \Delta V / F \times L \quad (6.6)$$

6.4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Taramalı elektron mikroskobu SEM, (scanning electron microscope), numunenin yüzeyini belirli bir alana odaklanmış bir elektron ışını ile tarayarak görüntü elde eden bir mikroskoptur. Bu çalışmada, numunelerin mikroyapısını analiz etmek için taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Elektronlar, numune bileşiminin bileşenlerini, numunenin yüzey topografisini ve numune bileşiminin nano ölçekte partikül dağılımını temsil eden sinyaller üretmek için numunedeki atomlarla etkileşime girer.



Şekil 6.9. Taramalı elektron mikroskobunun çalışma prensibini gösteren diyagram

Bu çalışmada sinterlenen numunelerin analizlerinin yapılması için Ondokuz Mayıs Üniversitesi KİTAM’da bulunan Jeol marka JSM7001F model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Şekil 6.10’da cihazın görüntüsü bulunmaktadır.



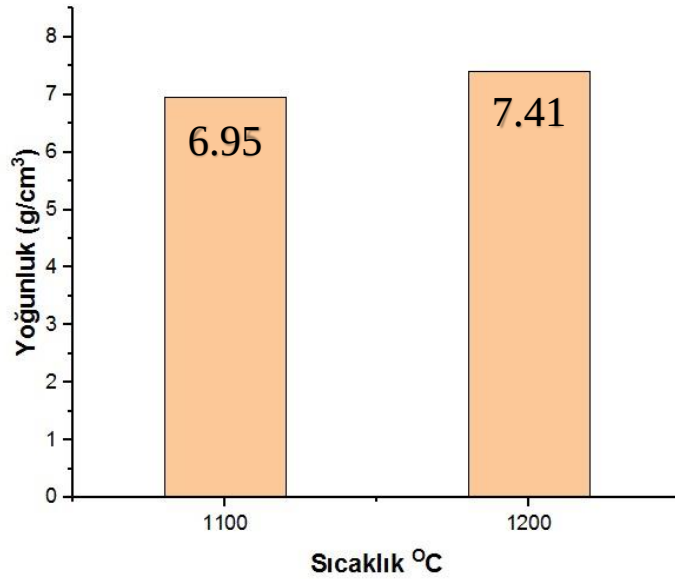
Şekil 6.10. Jeol marka JSM7001F model SEM cihazı

7. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu bölümde, indüksiyonla sinterlenmiş 316L paslanmaz çelik numunelerin mekanik özellikleri, darbe deneyi, aşınma test sonuçları, çekme dayanımı incelenmiştir. Ayrıca 316L paslanmaz çelik numunelerin mikroyapı SEM analizleri de bu bölümde değerlendirilmiştir.

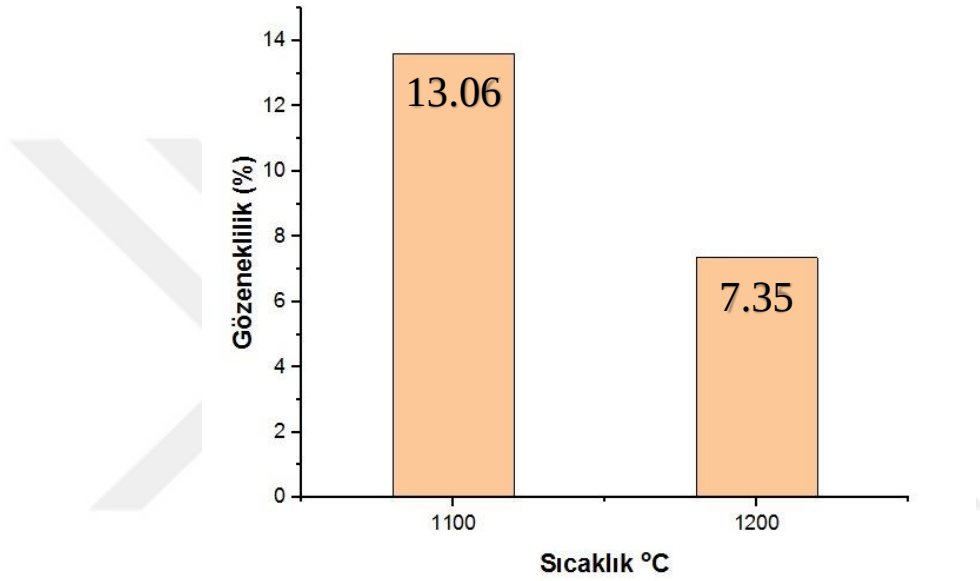
7.1. 1100°C ve 1200°C İndüksiyonla Sinterlenmiş Numunelerin Fiziksel Özelliklerine Etkisi

Çalışmanın bu bölümünde, indüksiyonla sinterlenmiş 316L paslanmaz çelik malzemelerin yoğunluk değerleri incelenmiştir. Elde edilen numunelerin deneysel yoğunlukları denklem (6.1)'de verilen formüle göre hesaplanmıştır. Şekil 7.1'de indüksiyonla sinterlenmiş 316L paslanmaz çelik numunelerin yoğunluk değerlerini farklı sinterleme sıcaklıklarında göstermektedir. Grafikte, sinterleme sıcaklığı arttıkça, malzemenin yoğunluğunda da belirgin bir artış görülmektedir. 1100°C'de sinterlenmiş örnek için yoğunluk değeri yaklaşık 6.95 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Diğer yandan, sinterleme sıcaklığı 1200°C'ye çıktığında, yoğunluk değeri önemli ölçüde artarak 7.41 g/cm^3 'e ulaşmaktadır. Bu yoğunluk artışı, sinterleme sıcaklığının artmasıyla malzemenin mikro yapısında oluşan değişikliklerden kaynaklanabilir. Yüksek sıcaklıklarda, malzeme atomları daha yüksek enerji seviyelerine ulaşır ve daha sıkı bir şekilde bir araya gelerek daha yoğun bir yapı oluşturur.



Şekil 7.1. 1100°C ve 1200°C indüksiyonla sinterlenmiş 316L paslanmaz çelik numunelerin ortalama bağıl yoğunluk değerleri

Şekil 7.2’de indüksiyonla sinterlenmiş 316L paslanmaz çelik numunelerin % ortalama gözeneklilik oranlarının değerlerini farklı sinterleme sıcaklıklarında göstermektedir. Gözeneklilik oranlarına bakıldığında, 1100°C ve 1200°C’de sinterlenen numuneler arasında belirgin bir fark görülmektedir. Grafik, 1100°C’de sinterlenen numunenin gözeneklilik oranının %13.06 olduğunu, bu oranın ise 1200°C’de sinterlenen numune için %7.35’e düştüğünü gösteriyor. Grafikten de gözlemleyebileceğimiz gibi, sinterleme sıcaklığının malzemenin gözeneklilik oranı üzerinde önemli bir etkisi vardır.



Şekil 7.2. 1100°C ve 1200°C indüksiyonla sinterlenmiş 316L paslanmaz çelik numunelerin % ortalama gözeneklilik değerleri

7.2. Darbe Deneyi Sonuçları

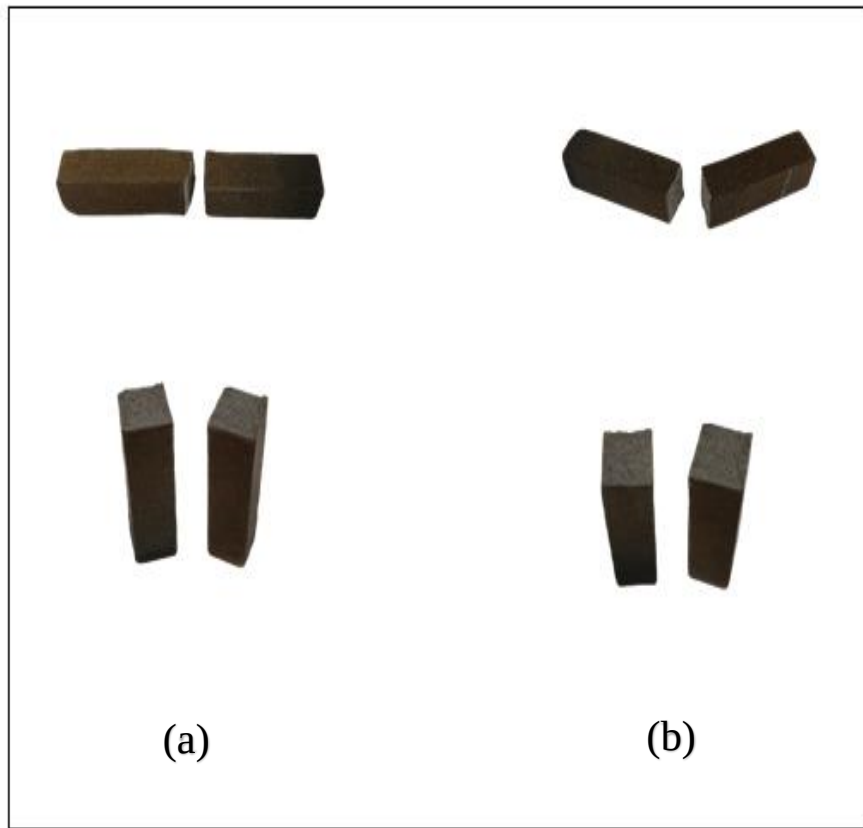
1100°C ve 1200°C de 7 dakika sinterlenen AISI 316L paslanmaz çelik numunelerin darbe deney sonuçları çizelge 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Darbe deneyi sonuçları

Numuneler	Kırılma Enerjisi /J	Kırılma Açısı
1100°C de sinterlenen numune	19.58	144.4°
1200°C de sinterlenen numune	13.47	148.5 °

1100°C’de sinterlenmiş örneklerde, kırılma enerjisi 19.58 J ve kırılma açısı 144.4° olarak bulundu. Öte yandan, 1200°C’de sinterlenmiş numunede kırılma enerjisi 13.47 J ve kırılma açısı 148.5° olarak belirlendi. Bu sonuçlar, sinterleme sıcaklığının

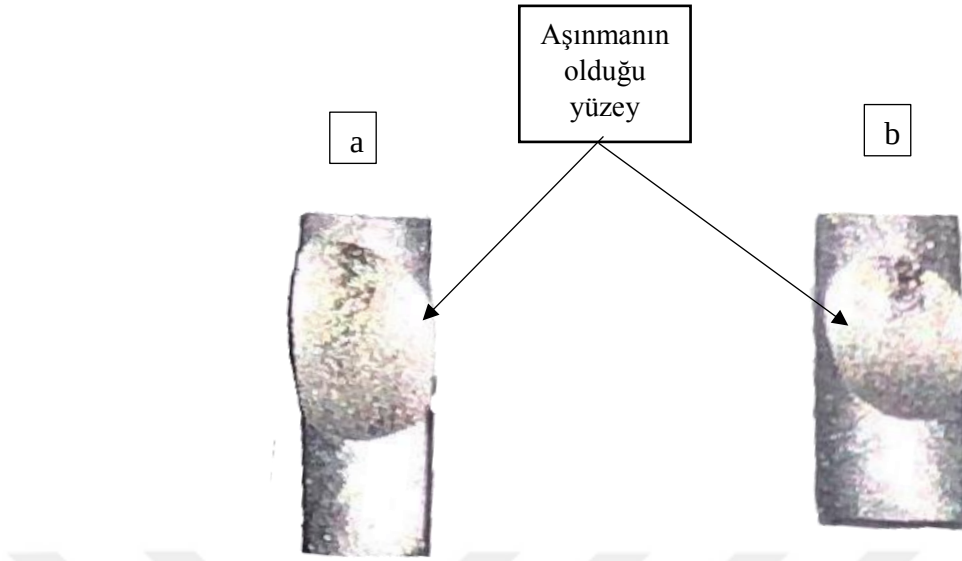
artmasıyla kırılma enerjisinin azaldığını göstermektedir. Bu durum, sinterleme sıcaklığının artmasının malzeme mikro yapısında değişikliklere yol açtığı ve bu değişikliklerin darbe dayanımını etkilediği olarak görülmüştür. Sinterleme sıcaklığı arttıkça, tane büyüklüğü ve faz dağılımı gibi mikro yapısal özellikler değişiklik meydana gelmiştir. Daha yüksek sinterleme sıcaklıklarında, tane büyüklüğü genellikle artar. Tane büyüklüğü arttıkça, tane sınırları boyunca oluşabilecek çatlaklar ve mikro çatlaklar meydana gelmiştir. Bu, malzemenin darbe dayanımını olumsuz etkilemiştir. Ayrıca, daha yüksek sinterleme sıcaklıkları, faz dağılımını ve mikroyapıyı değiştirmiştir. Şekil 7.3'te darbe testi sonrası numunelerin gösterilmektedir.



Şekil 7.3. a) 1200°C ve b) 1100°C sinterlenen numunelerin darbe deneyi sonrası görüntüsü

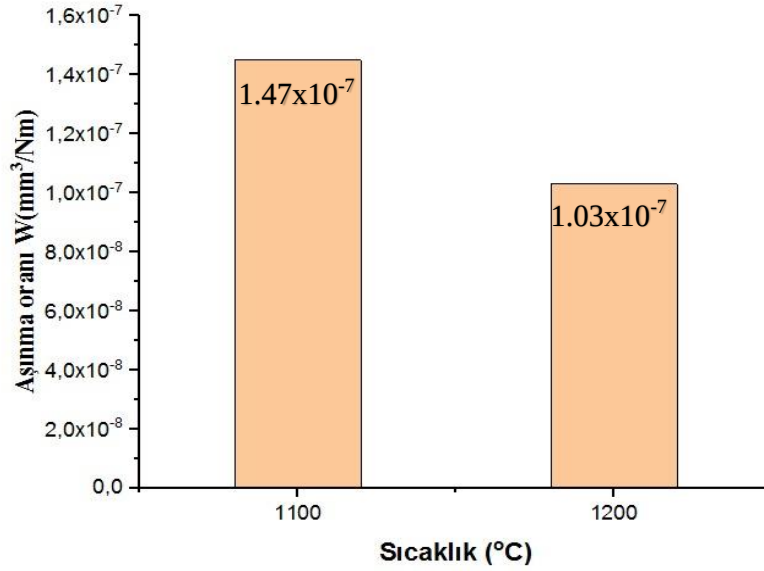
7.3. Aşınma Testi Sonuçları

Bu bölümde, 316L paslanmaz çelik malzemeler için $P= 10N$ yük altında ve kayma mesafesi (L) yaklaşık 500 m olarak hesaplanıp aşınma test sonuçları analiz edilmiştir. Numunelerin iki farklı sıcaklıkta indüksiyonla sinterleme sonrası uygulanan aşınma testinde oluşan oyuk/çukur derinliği ve uzunluğu Şekil 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4. a) 1100°C ve b) 1200°C’de sinterlenen numunelerin aşınma sonrası görüntüsü

Şekil 7.4’te görüldüğü gibi 1200°C sinterlenen numune daha az kütle kaybı ve daha az aşınmaya uğradığı gözlemlenmektedir 1100°C’de sinterlenen numuneye göre.



Şekil 7.5. Aşınma testi sonrası hacimsel farklılık grafiği

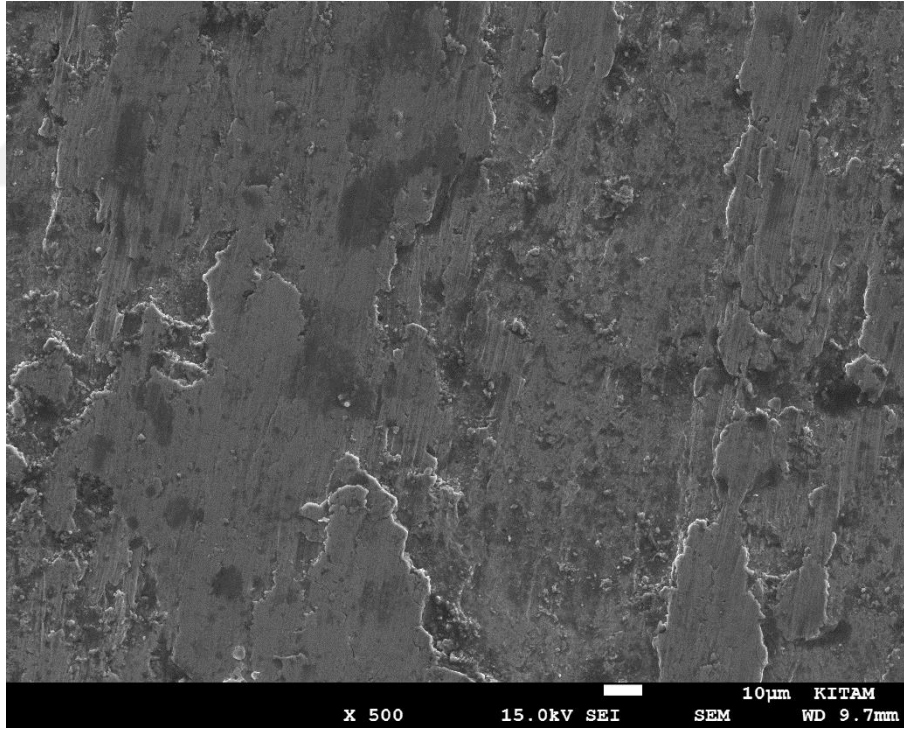
Şekil 7.5’te görüldüğü üzere indüksiyonla sinterlenmiş 316L paslanmaz çelik numunelere aşınma testi uygulandığında, 1100°C’de ($1.45 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/(\text{Nm})$) aşınma oranı ve 1200°C’de ($1.03 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/(\text{Nm})$) aşınma oranına uğradığı gözlemlenmektedir. Ancak, sinterleme sıcaklığı arttıkça, numunelerde meydana gelen

kütle kaybı azalmaktadır. Aşınma testi sonuçları incelendiğinde, 1200°C derecede sinterlenmiş örneklerin, daha düşük gözeneklilik ve daha düzgün tane yapıları sayesinde 1100°C derecede sinterlenmiş örneklerden daha iyi aşınma dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu bulgular, yüksek sıcaklıkta sinterlenmiş malzemenin daha düşük sıcaklıkta sinterlenmiş malzemeye göre daha homojen ve yoğun bir yapıya sahip olduğunu doğrulanmaktadır.

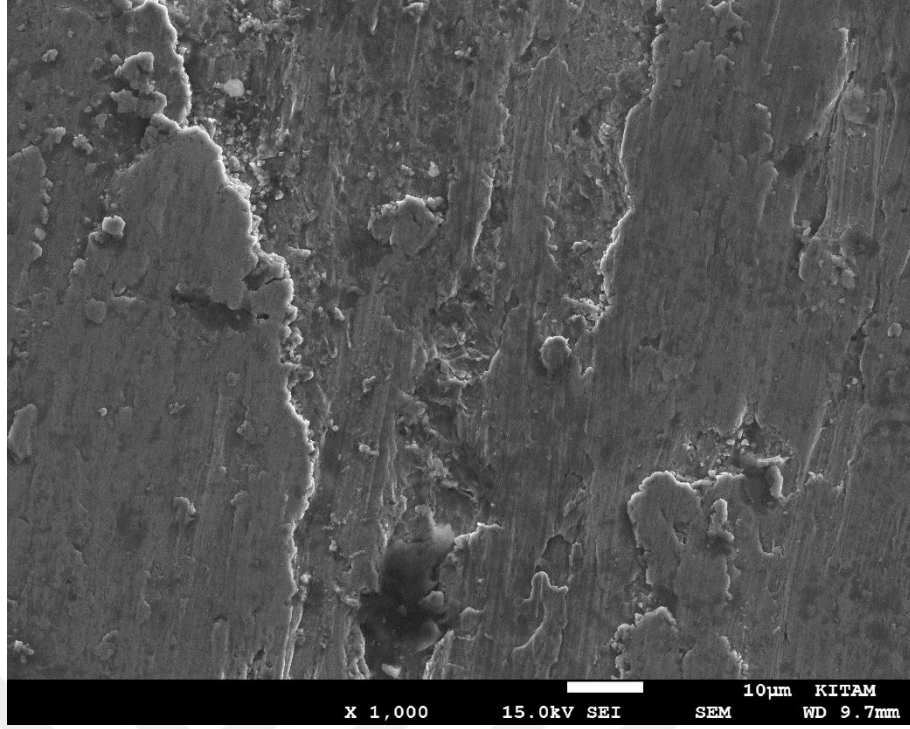
7.4. 1100°C ve 1200°C İndüksiyonla Sinterlenmiş Numunelerin Mikroyapı Analizi

7.4.1. Aşınma Testi SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntülerinin analizi, indüksiyonla sinterleme yöntemiyle işlenmiş 316L paslanmaz çelik numunelerin aşındıktan sonra yüzey morfolojilerinde ve yapısal özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri anlamamızda yardımcı olmaktadır.

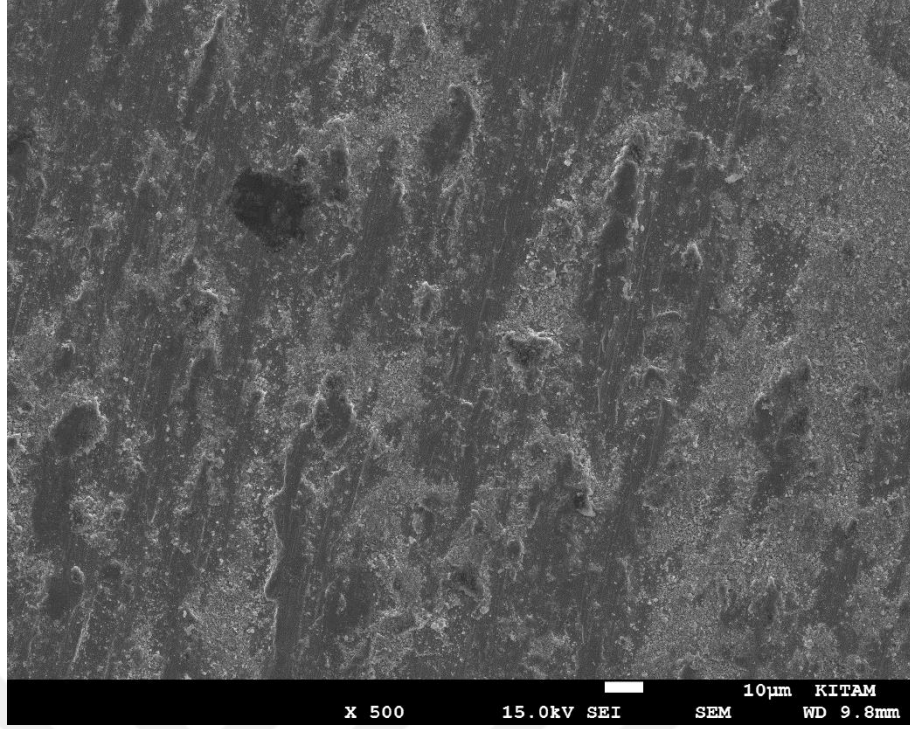


Şekil 7.6. 1100°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin aşınma deney SEM görüntüsü (x500)

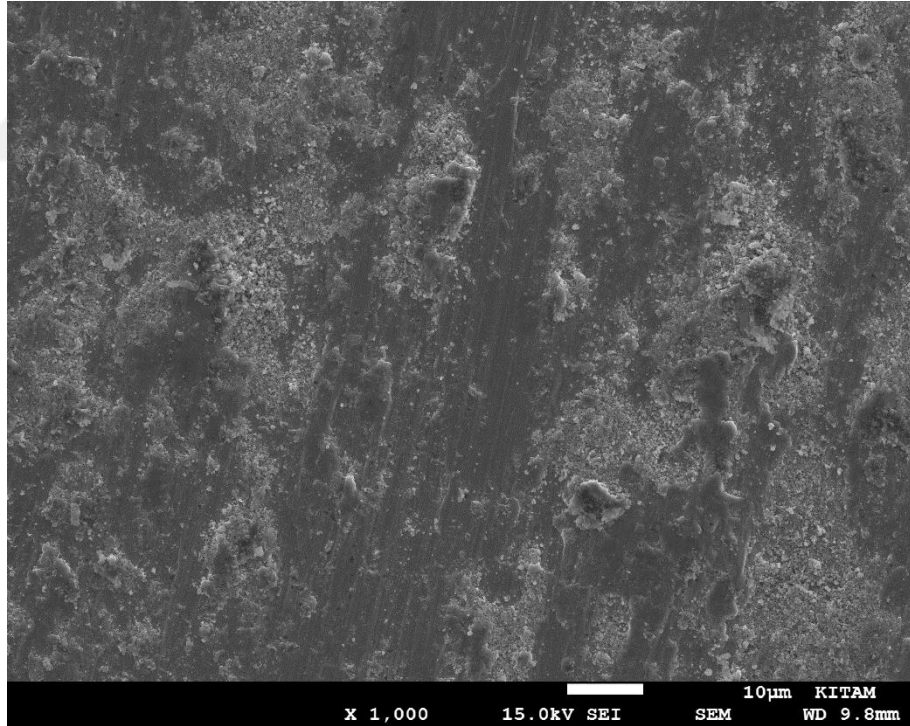


Şekil 7.7. 1100°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin aşınma deney SEM görüntüsü (x1000)

Şekil 7.6 ve 7.7’de 1100°C’de sinterlenen 316L paslanmaz çelik numunenin SEM aşınma deneyi sonrasında yüzeyinde belirgin bir pullanma olduğu gözlemlenmiştir. Bu tip aşınma genellikle abrasif aşınma olarak bilinir. Abrasif aşınma, yüzey üzerindeki çıkıntıların veya yabancı cisimlerin yüzeyi kazıyarak ve materyali kopararak meydana gelir. Bu durum, numunenin aşınma direncinin daha düşük olduğunu ve yüzeyin sürtünmeye karşı daha fazla hasar gördüğünü gösterir. Bu, sinterleme işlemi sırasında malzeme içinde oluşan daha yüksek gözeneklilik ve daha düşük yoğunluktan kaynaklanmaktadır. Sinterleme süreci boyunca, toz parçacıkları birleşir ve birlikte sinterler, ancak daha düşük sıcaklıklarda bu birleşme tam olarak gerçekleşmeyebilir. Bu durumda, sinterleme sonrası malzeme, tamamen yoğun bir yapıdan ziyade daha fazla gözenekli bir yapı oluşturur. Bu gözenekli yapı, malzemenin yüzeyindeki mekanik gerilimler altında daha kolay çatlamaya ve nihayetinde pullanmaya yol açabilir.



Şekil 7.8. 1200°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin aşınma deney SEM görüntüsü (x500)



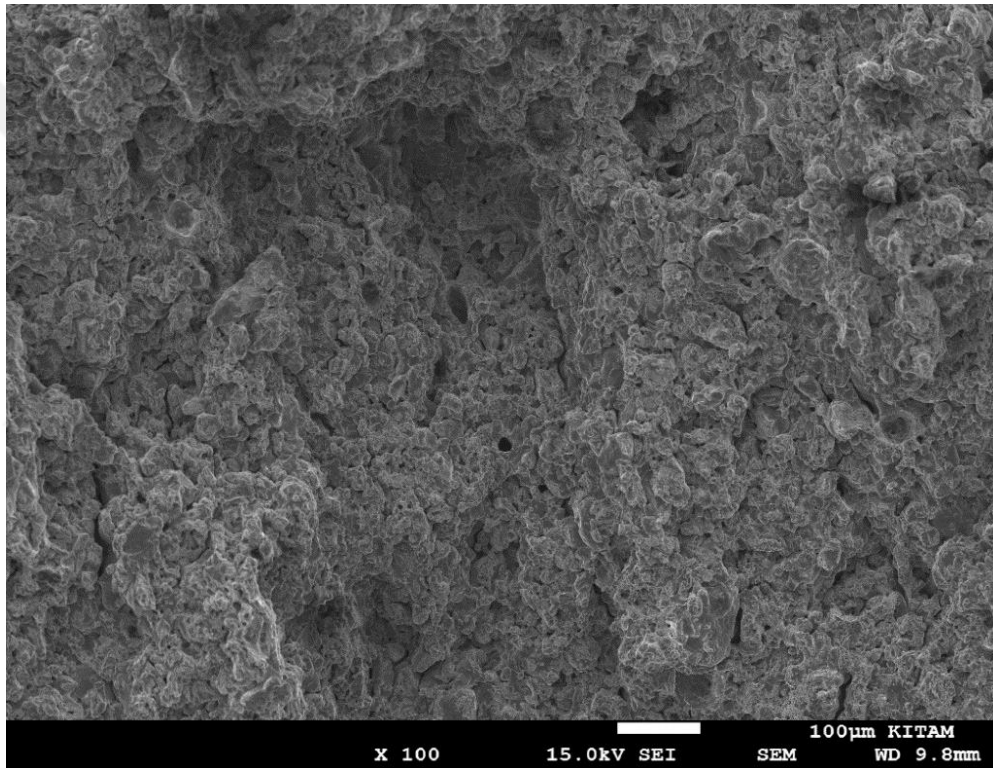
Şekil 7.9. 1200°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin aşınma deney SEM görüntüsü (x1000)

Öte yandan, Şekil 7.8 ve 7.9’da 1200°C’de sinterlenen 316L paslanmaz çelik numunenin SEM aşınma deneyi sonrasında yüzeyinde daha az pullanma olduğunu ve neredeyse bütün bir parça şeklinde kaldığını göstermiştir. Bu sonuç, numunenin yüksek sinterleme sıcaklığı sonucunda daha yoğun bir yapıya sahip olduğunu ve bu

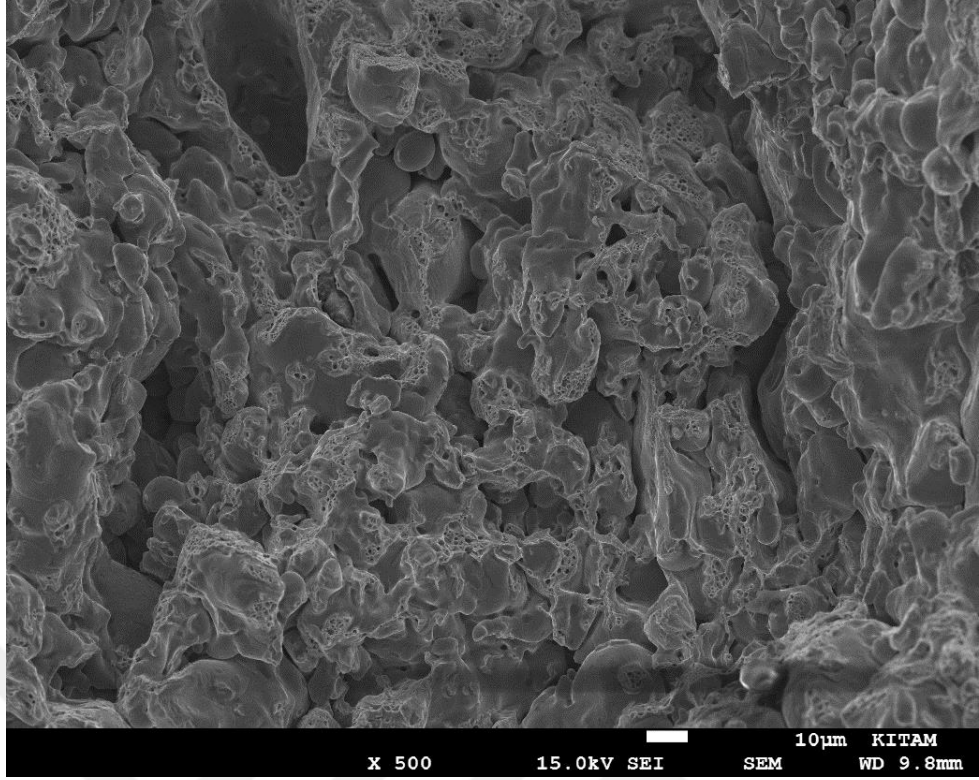
durumun aşınma direncini arttırdığını gösterir. Daha az pullanma, yüzeyin aşınma direncinin daha yüksek olduğunu ve malzemenin bir bütün olarak kalabildiğini gösterir. Bu nedenle, bu numune aşınma deneyi sonrası daha düşük bir kütle kaybı yaşamıştır. Bu sonuçlar, malzemenin sinterleme sıcaklığının, aşınma oranı ve mikroyapı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

7.4.2. Darbe Deneyi SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

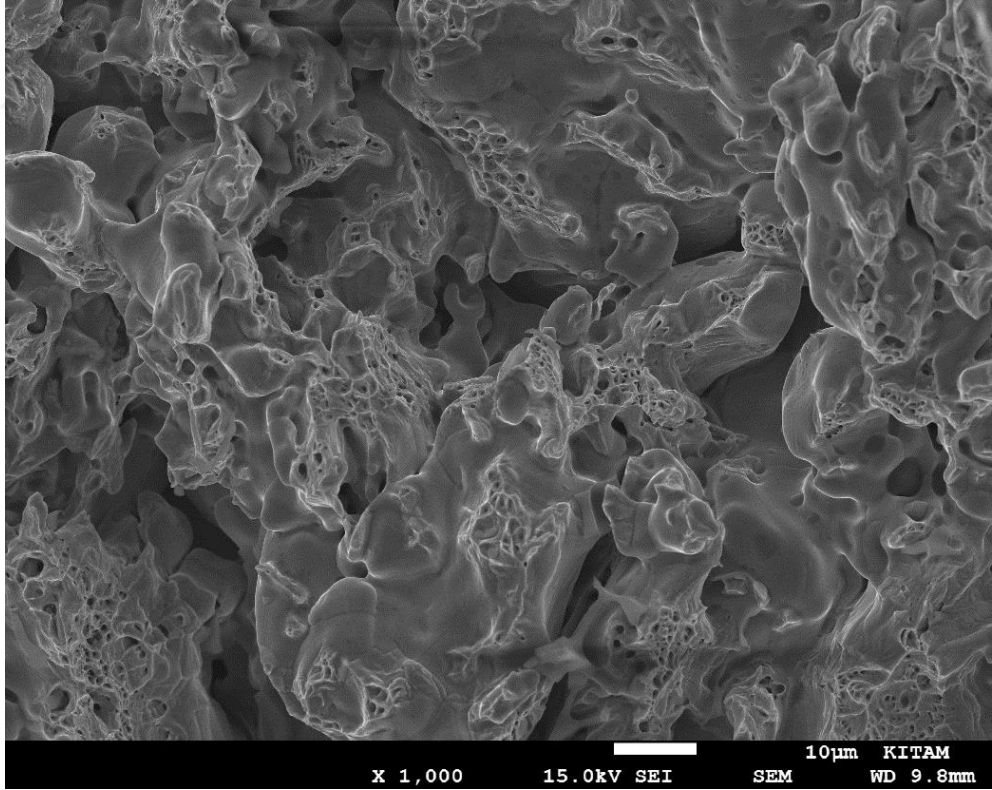
1100°C ve 1200°C'de sinterlenmiş numunelerin darbe deneyi sonrasında çekilen SEM görüntüleri, malzemenin kırılma mekanizmalarını ve tokluk özelliklerini anlamak için analiz edilmiştir.



Şekil 7.10. 1100°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x100)

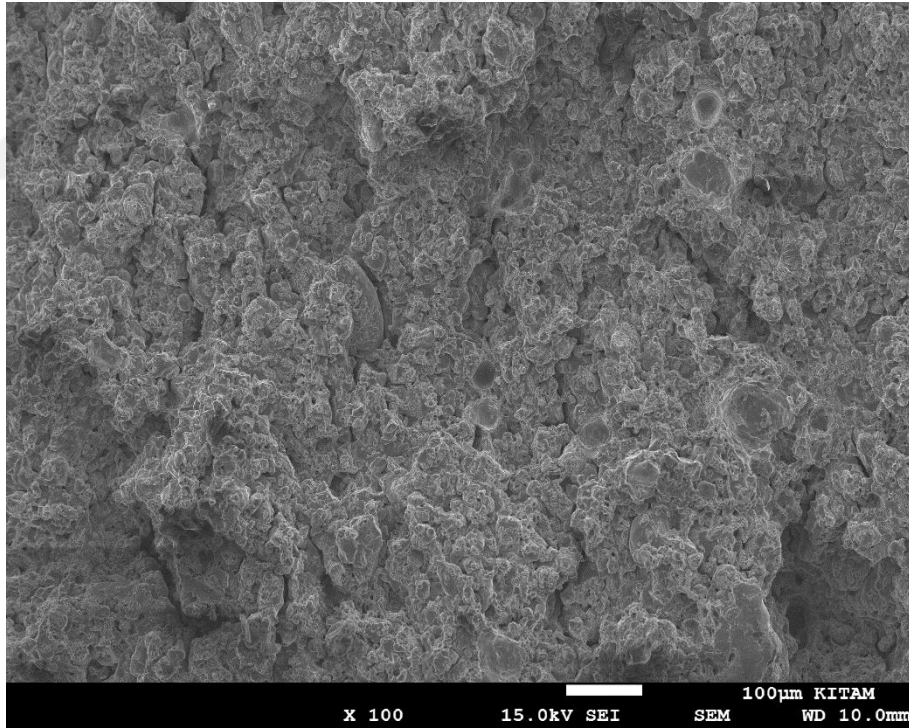


Şekil 7.11. 1100°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x500)

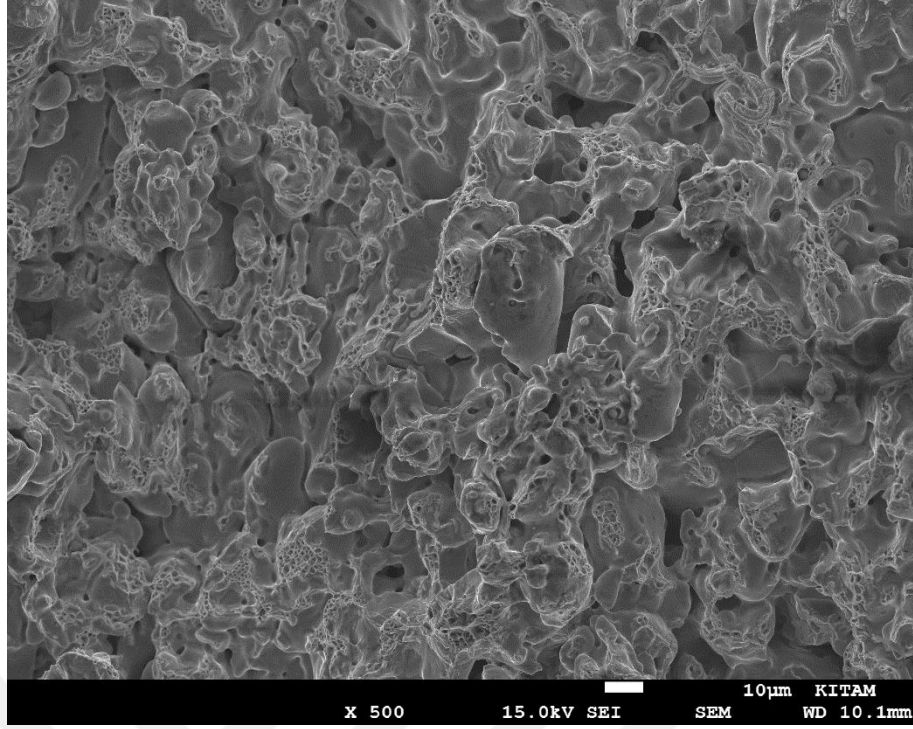


Şekil 7.12. 1100°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x1000)

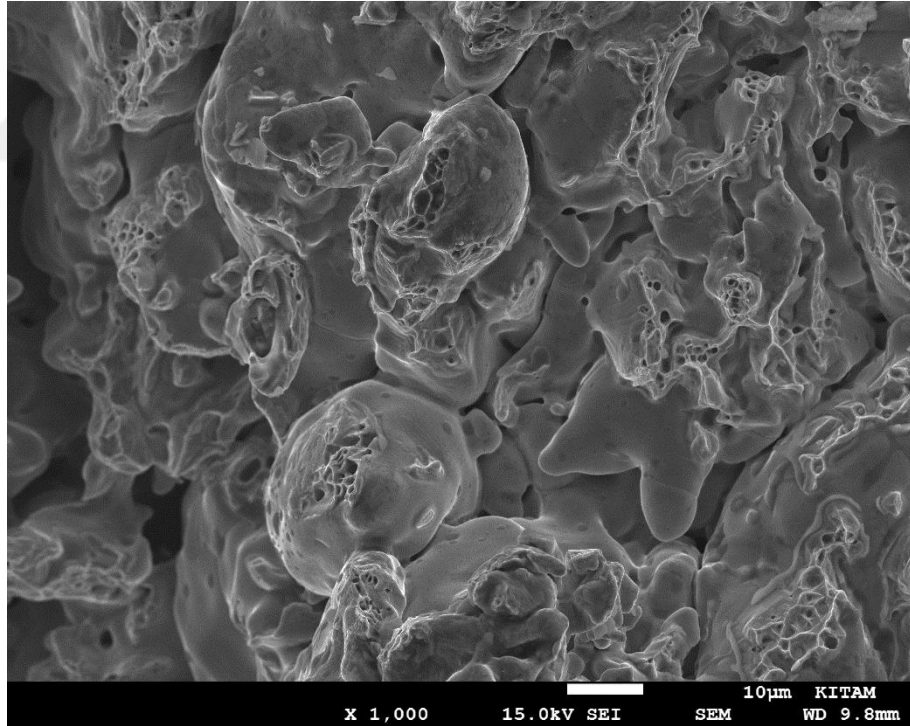
Darbe deneyi sonrasında SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizinde, Şekil 7.10'da 1100°C'de sinterlenmiş numunenin kırık yüzeyinde çukur ve tümsekli bir yapı gözlemlenmektedir. Bu tür bir yapı, genellikle sünek kırılma karakteristiklerine işaret eder. Sünek kırılmanın varlığı, TM örneklerin sinterleme işleminden geçtiğini doğrular niteliktedir. Sinterleme sürecinde, tozlar birbirlerine tutunur ve birleşirler, dolayısıyla 'boyun' olarak adlandırılan yapılar oluştururlar. Bu yapılar, tozların daha sağlam ve dayanıklı bir birleşim oluşturmasını sağlar. Şekil 7.11 incelendiğinde boşluklar gözükmemektedir o boşlukların olduğu yerlerde yetersiz sinterleme meydana geldiğini göstermektedir. Şekil 7.12 incelendiğinde kırık yüzeyinde belirgin bir gözenekli yapı tespit edilmiştir. Bu gözlem, sinterleme sürecinin tamamlanmadığını ve toz taneciklerinin yeterince birleşmediğini göstermektedir. 1100°C'deki daha düşük sinterleme sıcaklığı, tozların tamamen birleşmesini ve gözenekliliğin azalmasını engellemiş olabilir. Bu tespitler, 1100°C'de sinterlenmiş numunenin darbe deneyinde daha yüksek kırılma enerjisi sergilemesini desteklemektedir.



Şekil 7.13. 1200°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x100)



Şekil 7.14. 1200°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x500)



Şekil 7.15. 1200°C Sinterlenen 316L paslanmaz çeliğin darbe deney SEM görüntüsü (x1000)

Darbe deneyi sonrasında SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizinde, şekil 7.13'te 1200°C'de sinterlenmiş numunenin SEM görüntüsü incelendiğinde, 1100°C'deki numuneye kıyasla daha düzgün ve daha az çukur ve tümsekli bir yapı tespit edilmiştir. 1200°C'de sinterlenmiş numunenin kırık yüzeyinde bölgesel gevrek

kırılma bölgeleri gözlemlenmiştir. Bu kırılma türü, genellikle toz metal malzemelerin yüksek sinterleme sıcaklıklarında tane büyümesinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Tane büyümesi, malzemenin genel sünekliğini ve darbe direncini azaltabilir (German, 2014). Bu bulgu, 1200°C'de sinterlenmiş numunenin darbe deneyinde daha düşük kırılma enerjisi sergilemesini açıklar. Şekil 7.14 ve 7.15 incelendiğinde (500x) ve (1000x) büyütmede daha az gözenekli bir yapıya sahip olduğu gözükmemektedir. Bu gözlem, sinterleme işlemi sırasında, malzeme içindeki boşlukların veya gözeneklerin büyük oranda kapandığını ve dolayısıyla daha yoğun ve homojen bir yapı oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum, 1200°C'deki yüksek sinterleme sıcaklığının tozların birleşmesini ve gözeneklilik oranının azalmasını sağladığı anlamına gelebilir. Daha yoğun ve gözeneksiz yapılar genellikle daha yüksek mekanik mukavemete sahip olup, çeşitli mukavemet testlerinde daha iyi performans gösterirler (German, 2005). Ancak, bu yapılar genellikle daha az darbe enerjisini emer ve dağıtır, bu da 1200°C'de sinterlenmiş numunenin darbe deneyinde daha düşük bir kırılma enerjisi göstermesini açıklamaktadır.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, AISI 316L toz metalden hazırlanan ve farklı sıcaklıklarda indüksiyonla sinterlenmiş numunelerin mikro yapısal özelliklerini ve mekanik özelliklerini incelemektedir. Bu amaçla, darbe, aşınma, yoğunluk ve gözeneklilik testleri yapılmış ve bu testlerden elde edilen veriler SEM mikroskop ile incelenmiştir.

- Yoğunluk ölçümleri sonucunda, sinterleme sıcaklığı arttıkça yoğunluğun da arttığı tespit edilmiştir. 1100°C'de sinterlenmiş numunenin yoğunluğu 6.95 g/cm³ iken, 1200°C'de sinterlenmiş numunenin yoğunluğu 7.41 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Bu durum, sinterleme sıcaklığı arttıkça malzemenin daha kompakt bir yapıya sahip olmasından kaynaklanabilir ve malzeme bilimi açısından önemli bir bulgudur.
- Gözeneklilik ölçümleri, malzemenin darbe direnci ve aşınma direnci üzerinde büyük etkisi olan bir başka faktördür. 1100°C'de sinterlenmiş numunenin gözeneklilik oranı %13,06 iken, 1200°C'de sinterlenmiş numunenin gözeneklilik oranı %7,35 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, gözeneklilik oranının, malzemenin mekanik özelliklerini belirleyen önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.
- Darbe testi sonuçları da 1100°C'de sinterlenen numune SEM analizlerinde yüksek gözeneklilik ve çukurluklar göstermiştir. Aynı numunenin darbe deneyi sonuçları sünek kırılma göstermiş, yani malzeme üzerine uygulanan darbe enerjisi, malzemenin şekil değiştirmesine ve deformasyona uğramasına yol açmıştır. 1200°C'de sinterlenen numune ise SEM analizlerinde daha az gözeneklilik ve daha homojen bir mikro yapı göstermiştir. Bu numune üzerinde yapılan darbe deneylerinde ise bölgesel gevrek kırılma meydana gelmiştir. Bu, 1200°C'deki sinterleme sıcaklığının malzemenin darbe direncini etkileyerek daha gevrek bir yapıya yol açtığı göstermiştir.
- Aşınma testleri sonucunda, 1100°C'de sinterlenmiş numune, yüzeyinde daha fazla pullanma ve daha fazla kütle kaybı meydana gelmiştir. 1200°C'de sinterlenmiş numunenin yüzeyinde daha az pullanma ve daha az kütle kaybı meydana gelmiş, bu da aşınma direncinin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak artabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, sinterleme sıcaklığı, yoğunluk, darbe direnci, gözeneklilik ve aşınma direnci arasında belirgin bir ilişki olduğu ve bu parametrelerin malzemenin genel özelliklerini belirlediği tespit edilmiştir. Bu bilgiler, malzeme seçiminde ve uygulama alanının belirlenmesinde kullanılabilir ve gelecek araştırmalar için de değerli bir referans olabilir.



KAYNAKLAR

- Ak, H.D. (2014). *Geleneksel toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Aısı 304l ve Aısı 316l östenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerine sinterleme koşullarının etkisi*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akpınar. (2013). *Toz metal parçaların indüksiyonla sinterleme prosesinin deneysel ve teorik olarak modellenmesi*. Basılmamış Doktora Tezi. Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Angelo, S.R. (2008). *Powder metallurgy: Science, technology and applications*. New Delhi, India: PHI Learning.
- Ayata, A. (2014). *Toz metal alüminyum malzemelerin mikrodalga enerjisi ile sinterlenebilirliğinin incelenmesi*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bal, B. (2013). Corrosion behavior of 316L stainless steel for biomedical applications. *Materials Science and Engineering*. 33 (7). 4203-4214.
- Boushiha, K.F.I. (2020). *Toz metalurjisi yöntemiyle WC takviyeli cunusi kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu.
- Çavdar, U. (2009). *Demir esaslı toz metal parçaların indüksiyonla sinterlenmesinde parametrelerin belirlenmesi*. Basılmamış Doktora Tezi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa.
- Çelik, S. (2012). *Paslanmaz çeliklerin iç yapı ve türleri, sarıtaş çelik*. İstanbul: Sarıtaş.
- Çivi, C. (2011). *Demir esaslı T/M parçaların düşük frekanslı indüksiyonla sinterlenmesinde sürenin etkisi*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa.
- Dikici, B. (2010). *Toz metalurjisi yöntemiyle nikel titanyum alaşımlarının üretimi*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dudina, D.V., G. K., Li, Y., Aljerf, M., Braccini, M., Yavari, A.R. ve Inoue, A. (2010). Cu-based metallic glass particle additions to significantly improve overall compressive properties of an Al alloy. *Applied Science and Manufacturing*. 41 (10). 1551-1557
- German, R. (2014). *Sintering: From empirical observations to scientific principles*. Butterworth-Heinemann
- German, R.M. (1997). *Powder metallurgy science*. Princeton, NJ: Metal Powder Industries Fed.
- Gezici, L.U. (2019). *Yüksek frekanslı indüksiyon ile sinterlemenin hibrid alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerine etkisi*. Basılmamış Doktora Tezi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa.
- Gül, B. (2016). *Tek eksenli soğuk preslenmiş alüminyum ve seramik tozlarının geleneksel yöntemlerle ve ultra yüksek frekanslı indüksiyonla sinterlenmesi*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa.
- Güntürk. (2022). *Grafen-Si₃N₄ takviyeli Ti₆Al₄V köpük matrisli kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Güven. (2011). *Toz metalurjisi ve metalik köpükler*. Bitirme Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

- Guyon, A.B.D., Chaix, J.M. ve Carry, C.P. (2014). Densification and microstructure changes of micron size nickel powder during direct induction sintering. *Powder Metal*. 57. 54–60.
- Hermel, W.L.G. ve Krumphold, R. (1980). Review of induction sintering: Fundamentals and applications. *Powder Metall*. 3. 130–135.
- Hirschho, J.S. ve Maxwell, G.M. (1970). Induction sintering has potential for powder metal parts. *Metal Progress*. 97. 135–138.
- James, B. (1985). Liquid phase sintering in ferrous powder metallurgy. *Powder Metallurgy*. 28 (3). 121-130.
- Karaca, B. (2014). *Yüksek frekanslı indüksiyon jeneratörü ile toz metal parçaların sinterlenmesi*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa.
- Karaca, B. ve Çavdar, U. (2014). Saf ve bor karbür takviyeli alüminyum tozlarının ultra yüksek frekanslı indüksiyon jeneratörü ile sinterlenmesi. *Mühendis ve Makina*. 59-64.
- Kaya. (2019). *Hassas döküm yöntemiyle biyomedikal alanda kullanılan 316L paslanmaz çelik üretimi ve karakterizasyonu*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Khalil KA, A. A. (2012). Effect of high-frequency induction heat sintering conditions on the microstructure and mechanical properties of nanostructured magnesium/hydroxyapatite nanocomposites. *Mater Des*. 36. 58–68.
- Kuşoğlu, İ.M. (2011). *Demir esaslı metal tozlarından geleneksel ve mikrodalga sinterleme yöntemleri ile malzeme üretimi ve özelliklerinin karşılaştırılması*. DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- LaLonde, A.D. ve Snyder, G.J. (2011). Rapid consolidation of powdered materials by induction hot pressing. *Rev Sci Inst*. 82. 025104.
- Lawley, A. (1992). *Atomization: The production of metal powders, metal powder industries federation*. New Jersey, USA: Princeton.
- Lucía, O., Maussion, P., Dede, E.J. ve Burdío, J.M. (2013). Induction heating technology and its applications: past developments, current technology and future challenges. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 61 (5). 2509-2520.
- Olevsky, E. ve Froyen, L. (2006). Constitutive modeling of spark-plasma sintering of conductive materials. *Scripta Materialia*. 55 (12). 1175-1178.
- Ongunurt. (2019). *İndüksiyon sinterleme tekniği kullanılarak açık hücreli 6061 alaşımlı köpüklerin üretimi ve karakterizasyonu*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgün, Ö. (2007). *Toz metalurjisi ile üretilen alaşımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özellikleri*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Rm, G. (1996). *Sintering theory and practice*. New York: Wiley.
- Şenel, M.C. (2018). *Grafen-seramik tanecik takviyeli alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin toz metalurjisi yoluyla üretimi, mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi*. Basılmamış Doktora Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Thakur, A. E. A. (2017). Effect of electrical frequency on the properties of materials processed by induction sintering'. *Materials & Design*. 132. 36-45.

- Xu. (2020). *High-frequency induction heated sintering of nano-sized silicon carbide*. Ceramics International.
- Yönetken. (2008). *Seramik-metal tozlarının akımsız nikel kaplanarak toz metalurjisi tekniği ile kompozit üretimi*. Basılmamış Doktora Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitim Anabilim Dalı, Afyon.
- Zhang. (2018). Microstructure and mechanical properties of 316L stainless steel fabricated by selective laser melting. *Applied Surface Science*. 441. 13-23.



ÖZ GEÇMİŞ

Mustafa Yashar Juamaah Shwrba, Altun köprü Lisesinden mezun olduktan sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliğinden 2019 yılında mezun oldu. 2019 yılında Omü Makina Mühendisliği Ana Dalında Yüksek Lisans programına girdi.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0009-0000-1540-3097

Yayınlar

1. Shwrba, M.Y.J, Kurgan N. ve Gürbüz M., (2023). “Mechanical characterization of 316L stainless steel materials sintered by induction” 9th international ”Başkent” congress on physical, engineering, and applied sciences on May 20-23, 2023.