

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİR ESASLI T/M PARÇALARIN DÜŞÜK FREKANSLI
İNDÜKSİYONLA SİNERLENMESİNDE SÜRENİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisi Can ÇİVİ

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Konstrüksiyon ve İmalat

MANİSA 2011

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİR ESASLI T/M PARÇALARIN DÜŞÜK FREKANSLI
İNDÜKSİYONLA SİNERLENMESİNDE SÜRENİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisi Can ÇİVİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Haziran 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Temmuz 2011

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Enver ATİK
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. N.Sinan KÖKSAL
Doç.Dr. Raşit ATA

MANİSA 2011

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİL LİSTESİ	III
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
TEŞEKKÜR	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. TOZ METALURJİSİ	5
2.1 TOZ ÜRETİMİ.....	11
2.1.1 Mekanik Yöntemler.....	11
2.1.1.1 Talaşlı Üretim.....	12
2.1.1.2 Öğütme.....	12
2.1.1.3 Mekanik Alaşımlama.....	12
2.1.2 Kimyasal Yöntemler.....	13
2.1.3 Elektroliz Yöntemi.....	14
2.1.4 Atomizasyon Yöntemleri.....	14
2.3 TOZ METALÜRJİSİ İLE PARÇA ÜRETİMİ.....	15
2.4 SİNERLEME.....	17
2.4.1 İNDÜKSİYONLA SİNERLEME VE ÖZELLİKLERİ.....	19
2.4.2 İNDÜKSİYON AKIMI.....	20
2.4.3 İNDÜKSİYON AKIMI İÇİN BOBİN TASARIMI.....	22
2.4.4 BOBİN ÜRETİMİ.....	23
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
3.1 NUMUNE HAZIRLANMASI.....	25
3.2 NUMUNELERİN SİNERLENMESİ.....	27
3.3 NUMUNELERE UYGULANAN DENEYLER.....	34
4. DENEY SONUÇLARI	39
4.1 SİNERLEME SIRASINDA OLUŞAN AĞIRLIK VE HACİM FARKI ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI:.....	39
4.1.1 Ağırlık Farkı Ölçümü Sonuçları.....	39

4.1.2 Hacim Farkı Ölçümü Sonuçları	40
4.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Sonuçları	41
4.3 ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ SONUÇLARI	45
4.4 SERTLİK ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI	49
4.5 NUMUNELERİN MİKRO YAPI GÖRÜNTÜLERİ	53
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR.....	65

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Dövme ile Toz proseslerinin karşılaştırılması	6
Şekil 2.2 Toz metalurjisi yönteminde parça üretim iş akış adımları	7
Şekil 2.3 Toz metalurjisi tekniğinin kullanımının üç ana sebebinin gösterilişi	8
Şekil 2.4 Toz metalurjisi ile üretilen parçalar	9
Şekil 2.5 Toz metalurjisi ile üretilen parçalar	9
Şekil 2.6 Toz metalurjisi ile üretilen parçalar	9
Şekil 2.7 Toz metalurjisi ile üretilen parçalar	10
Şekil 2.8 Toz metalurjisi ile üretilen parçalar	10
Şekil 2.9 Toz metalurjisiyle üretilen parçalar	10
Şekil 2.10 Toz metalurjisiyle üretilen parçalar	10
Şekil 2.11 Toz ile üretilen parçaların pazar payları	11
Şekil 2.12 Bilyalı öğütme	12
Şekil 2.13 Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi	13
Şekil 2.14 Elektroliz ile toz üretimi	14
Şekil 2.15 Toz Sıkıştırma Kademeleri	16
Şekil 2.16 Kalıpta sıkıştırma	16
Şekil 2.17 Sinterlemenin şematik gösterimi	18
Şekil 2.18 Toz Metal burçların, atmosfer ortamında indüksiyonla 1 ile 3 dakika ve geleneksel yöntemle inert ortamda 30 dakika sinterlenmesi sonucunda oluşan basma dayanımı değerleri	19
Şekil 2.19 İndüksiyon akımı	20
Şekil 2.20 çeşitli parça şekilleri için bobinler	21
Şekil 2.21 Parçanın düzgün yerleştirilmemesi sonucu oluşan ısı farklılıkları	22
Şekil 2.22 Çeşitli bobin tasarımları	23
Şekil 2.23 Oluşturulan bobin	24
Şekil 3.1 Kullanılan Metal Tozu	25
Şekil 3.2. Hassas tartı	25
Şekil 3.3 Metal tozunun döküldüğü kalıp	26

Şekil 3.4 100 tonluk hidrolik pres	26
Şekil 3.5 Preste basılan numune	27
Şekil 3.6 Oluşturulan numunenin teknik resmi	27
Şekil 3.7 Oluşturulan numunenin sinterlendiği fırın	27
Şekil 3.8 İndüksiyonla sinterleme düzeneği.....	28
Şekil 3.9 Bakır indüksiyon bobininin teknik resmi.....	29
Şekil 3.10 Bakır indüksiyon bobini	29
Şekil 3.11 İndüksiyonla sinterleme düzeneğinde numunelerin bobin içerisindeki konumları, sinterleme süresi ve sinterleme aşamaları.....	30
Şekil 3.12 İndüksiyon cihazında atmosfer ortamında sinterlenen numuneler	31
Şekil 3.13 Numune merkezindeki oksitler ve serbest bakırlar	31
Şekil 3.14 Numune yüzeyindeki dekarbürize olmuş tabaka	32
Şekil 3.15 Konveyör Bantlı Sinterleme Düzeneği	32
Şekil 3.16 Konveyör Bantlı Sinterleme Düzeneği	33
Şekil 3.17 Numune üzerindeki sıcaklığı ölçen lazerli pirometre	33
Şekil 3.18 İndüksiyon Bobini ve Cam boru	34
Şekil 3.19 Ölçüm yapılan noktalar	34
Şekil 3.20 Yüzey Pürüzlülüğü Cihazı	35
Şekil 3.21 Çekme deneyi cihazı.....	35
Şekil 3.22 Üç nokta eğme deneyi	36
Şekil 3.23 Üç nokta eğme deneyinin şematik gösterimi	36
Şekil 3.24 Üç noktadan eğme deneyi ile kırılan numune.....	37
Şekil 3.25 Kesilen numune	37
Şekil 3.26 Parlatma cihazı	37
Şekil 3.27 Numunede sertlik ölçümü yapılan noktalar	38
Şekil 4.1 Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin grafiksel gösterimi	45
Şekil 4.2 İndüksiyonla 8,33 dakika sinterlenen örnek numunenin gerilme-uzama grafiği	45
Şekil 4.3 İndüksiyonla 15 dakika sinterlenen örnek numunenin gerilme-uzama grafiği	46
Şekil 4.4 İndüksiyonla 30 dakika sinterlenen örnek numunenin gerilme-uzama grafiği	46

Şekil 4.5 Numunelerin maksimum eğme mukavemetleri.....	48
Şekil 4.6 Numunelerin maksimum çökme miktarları.....	49
Şekil 4.7 Sertlik ortalamalarının grafiksel olarak gösterimi.....	53
Şekil 4.8 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 1'in mikroyapı görüntüsü	53
Şekil 4.9 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 2'nin mikroyapı görüntüsü	54
Şekil 4.10 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 3 ün mikroyapı görüntüsü.....	54
Şekil 4.11 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 4'ün mikroyapı görüntüsü	54
Şekil 4.12 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 5'in mikroyapı görüntüsü	55
Şekil 4.13 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 6'nın mikroyapı görüntüsü	55
Şekil 4.14 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 7'nin mikroyapı görüntüsü	55
Şekil 4.15 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 8'in mikroyapı görüntüsü	56
Şekil 4.16 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 9'un mikroyapı görüntüsü	56
Şekil 4.17 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 10'un mikroyapı görüntüsü	56
Şekil 4.18 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 11'in mikroyapı görüntüsü	57
Şekil 4.19 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 12'nin mikroyapı görüntüsü	57
Şekil 4.20 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 13'ün mikroyapı görüntüsü	57
Şekil 4.21 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 14'ün mikroyapı görüntüsü	58
Şekil 4.22 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 15'in mikroyapı görüntüsü	58
Şekil 4.23 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 16'nın mikroyapı görüntüsü	58
Şekil 4.24 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 17'nin mikroyapı görüntüsü	59
Şekil 4.25 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 18'in mikroyapı görüntüsü	59
Şekil 4.26 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 19'un mikroyapı görüntüsü	59
Şekil 4.27 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 20'nin mikroyapı görüntüsü	60
Şekil 4.28 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 21'in mikroyapı görüntüsü	60
Şekil 4.29 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 22'nin mikroyapı görüntüsü	60
Şekil 4.30 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 23'ün mikroyapı görüntüsü	61
Şekil 4.31 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 24'ün mikroyapı görüntüsü	61
Şekil 4.32 a)8,33 dakika b)15 dakika c)30 dakika sinterlenen örnek numunelerin görüntüleri	62

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 İndüksiyonla 8,33 dakika sinterlenen numunelerin ağırlık farkı ölçüm sonuçları	39
Çizelge 4.2 İndüksiyonla 15 dakika sinterlenen numunelerin ağırlık farkı ölçüm sonuçları ...	39
Çizelge 4.3 İndüksiyonla 30 dakika sinterlenen numunelerin ağırlık farkı ölçüm sonuçları ...	40
Çizelge 4.4 İndüksiyonla 8,33 dakika sinterlenen numunelerin hacim farkı ölçüm sonuçları..	40
Çizelge 4.5 İndüksiyonla 15 dakika sinterlenen numunelerin hacim farkı ölçüm sonuçları	41
Çizelge 4.6 İndüksiyonla 30 dakika sinterlenen numunelerin hacim farkı ölçüm sonuçları	41
Çizelge 4.7 İndüksiyonla 8,33 dakika sürede sinterlenen numunelerin sinterlemeden önce ve sonraki yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri.....	42
Çizelge 4.8 İndüksiyonla 15 dakika sürede sinterlenen numunelerin sinterlemeden önce ve sonraki yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri.....	43
Çizelge 4.9 İndüksiyonla 30 dakika sürede sinterlenen numunelerin sinterlemeden önce ve sonraki yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri.....	44
Çizelge 4.10 8,33 dakika indüksiyonla sinterlenen numunelerin üç nokta eğme deneyi ölçüm değerlerinin sonuçları.....	47
Çizelge 4.11 15 dakika indüksiyonla sinterlenen numunelerin üç noktadan eğme deney ölçüm değerlerinin sonuçları.....	47
Çizelge 4.12 30 dakika indüksiyonla sinterlenen numunelerin üç noktadan eğme deney ölçüm değerlerinin sonuçları.....	48
Çizelge 4.13 İndüksiyonla 8,33 dakika sinterlenen numunelerin Vickers sertlik değerleri	50
Çizelge 4.14 İndüksiyonla 15 dakika sinterlenen numunelerin Vickers sertlik değerleri	51
Çizelge 4.15 İndüksiyonla 30 dakika sinterlenen numunelerin Vickers sertlik değerleri	52
Çizelge 4.16 Parçaların sertlik ortalamaları	52

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin her aşamasında çok büyük emekleri olan hocam Doç. Dr. Enver ATİK'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Tezimde emeği olan Yrd. Doç. Dr. N. Sinan KÖKSAL ve Yrd. Doç. Dr. Uđur ÇAVDAR'a teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmalarımnda kullandığım metal tozunu sağlayan Tozmetal A.Ő. ve Aytaç ATAÇ'a teşekkür ederim. Çalışmalarımnda desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada, toz metal parçaların düşük frekanslı indüksiyonla sinterlenmesinde sinterleme süresinin numunelerin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında %3 Cu, % 0,5 Grafit ve yağlayıcı olarak %1 Kenolube içeren Högenas ASC 100.29 demir tozu kullanılmıştır. Toz karışımı 600 N/mm^2 sabit basınç altında preste sıkıştırılmış ve $10 \times 10 \times 55 \text{ mm}$ boyutunda numune haline getirilmiştir.

Numuneler, karşılaştırma amacı ile elektrik direnç fırınında 30 dakika klasik yöntemle ve indüksiyonla sinterleme düzeneğinde 8,33; 15; 30 dakika sürelerle 1120 C 'de sinterlenmiştir. İndüksiyonla sinterleme, numuneleri atmosferin olumsuz etkilerinden korumak amacıyla %10 hidrojen içeren Azot-Hidrojen gazı ortamında yapılmıştır.

Numunelerin sinterlemeden önce ve sonra boyut, ağırlık ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır. Sinterlenmiş numunelerin 3 nokta eğme deneyi ile maksimum gerilme ve çökme miktarları ölçülmüştür. Numunelerin sertlikleri belirlenmiş ve mikroyapıları incelenmiştir.

İndüksiyonla 8,33 dakika sinterleme ile 30 dakika klasik sinterlemede elde edilen maksimum mukavemet ve çökme miktarlarından daha yüksek değerler elde edilmiştir. İndüksiyonla sinterleme süresi arttıkça bu değerlerin de arttığı belirlenmiştir. Mikroyapı incelemelerinde, klasik sinterlemeye benzer şekilde indüksiyonla sinterleme süresi arttıkça bakırın demir tozları arasında ve etrafında daha fazla ergidiği belirlenmiştir.

Geliştirilen indüksiyonla sinterleme düzeneği toz metal numunelerin seri üretime uygun olarak sinterlenmesine imkan sağlamaktadır.

ABSTRACT

In this study, the effects of sintering time on mechanical properties of powder metal materials which sintered with low frequency were investigated. Hogenas ASC 100.29 iron powder (%3 Cu, %0,5 Graphite and %1 kenolube lubricant by weight) was used. Metal powder was pressed under 600 N/mm^2 and $10 \times 10 \times 55 \text{ mm}$ samples were formed.

Samples were sintered with electric resistance furnace for 30 minutes and with induction sintering for 8,33, 15 and 30 minutes at 1120°C to compare. Induction sintering was applied in %10H₂%90N₂ atmosphere to protect samples from the negative effect of air.

Dimension, weight and surface roughness measurement was applied to samples before and after sintering. Maximum stress and maximum strain of sintered samples are determined by three point bending test. Microhardness and microstructure of sintered samples were determined.

It is defined that maximum stress and maximum strain of 8,33 minutes sintered samples with induction were higher than 30 minutes classical sintered samples with furnace and by increase of time, these values were increased. It was seen that with increasing time, copper melted better between and around iron powder.

Developed induction sintering mechanism enables mass production sintering of powder metal samples.

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Toz metalurjisi yöntemi, işlem basamağının azlığı, tekrarlanabilirlik, ölçü hassasiyeti, çeşitli bileşimlerin kolayca elde edilebilmesi ve bazı malzemelerin (örneğin sert olmakla birlikte ergime derecesi çok yüksek bazı polimerlerin) ancak bu yöntemle elde edilebilmesi gibi avantajları nedeniyle günümüzde oldukça yaygınlaşmaktadır.

Toz metalurjisi yönteminde, farklı bileşimdeki tozlar sıkıştırılır ve sıkıştırmanın ardından sinterlenir. Sinterleme, preslenerek sıkıştırılan parçalara, bu parçaları yararlı ürün haline getirmek için önemli derecede mukavemet artışını kazandırdığından, toz metalurjisinin önemli konularından biridir.

Sinterleme geleneksel olarak sinterleme fırınlarında gerçekleştirilir. Bunun yanı sıra hızlı sinterleme yöntemleri geleneksel sinterlemeye önemli bir alternatiftir. İndüksiyonla sinterleme, mikrodalga ile sinterleme, plazma sinterleme, lazer sinterleme, deşarj sinterleme, hızlı sinterleme yöntemleridir [1].

Erol [2], Ni kaplanmış WC ve Fe tozlarını mikrodalga sinterleme yöntemiyle 500-900°C sıcaklık aralığında sinterlemiştir. Elde edilen numunelere uygulanan X-Ray, SEM, basma testi ve sertlik testleri sonucunda 900°C'de yapılan sinterlemenin en iyi dayanım değerlerini verdiği, WC ve Fe tozlarının mikrodalga sinterlemesinin, seramik ile güçlendirilmiş Ni-Fe kompozitlerini üretmek için uygun bir teknik olduğu görülmüştür.

Anklekar ve arkadaşları [3], MPlF FC-0208 bileşimindeki (Fe+%2 Cu+%0,75 yağlayıcı) numunelere geleneksel ve mikrodalga sinterleme yöntemlerini uygulamışlardır. Sinterleme sıcaklığı 1100 ve 1300 °C arasında ve sinterleme süresi 5-20 dakika aralığında değiştirilmiştir. Numuneler %5 H₂ %95 N₂ karışım gaz altında sinterlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, mikrodalga sinterleme yöntemiyle sinterlenen numunelerde daha yüksek yoğunluk, daha yüksek sertlik ve daha yüksek maksimum eğilme gerilmesi değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca numunelerin iç yapıları incelendiğinde, mikrodalga ile sinterlenen numunelerin iç yapılarında daha küçük ve üniform boşluklar gözlenirken, geleneksel yöntemle sinterlenen numunelerin iç yapılarında üniform olmayan ve daha büyük boşluklara rastlanmıştır.

Shen ve arkadaşları [4], Al₂O₃ tozlarını kıvılcım plazma sinterleme yöntemi ile sinterlemiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yöntemin, yoğunluğu artırdığı gözlemlenmiştir. Bu sayede Al₂O₃ tozlarının, geleneksel sinterleme yöntemine göre daha kısa sürelerde ve daha düşük sıcaklıkta (yaklaşık 1150 °C) sinterlenebileceği belirlenmiştir. Isının direk olarak parçada oluşturulan elektriksel alan ile sağlanması ile tane sınırı difüzyonu ve tane

sınırı göçünün hızlandığı ve bu sayede daha yüksek sıcaklıkta sinterlemeye gerek kalmayacağı için, tanecik yapısının değişmeyeceği belirlenmiştir.

Simchi ve Pohl [5], lazer ile sinterlenen demir tozlarının yoğunluk ve iç yapılarını incelemiştir. Lazer gücü, tarama aralığı, tarama oranı, tabaka kalınlığı, tarama geometrisi ve sinterleme atmosferinin etkileri incelenmiştir. Sinterleme yoğunluğunun, enerji girdisi ile belirli değerlere kadar arttığı (0.2 kJ mm⁻³) daha sonra ise çok az artış gösterdiği belirlenmiştir. Mikroyapının büyük gözeneklerden ve lazer yönündeki uzamış ferrit çekirdeklerinden oluştuğu gözlemlenmiştir. Demir tozlarının bu çalışmada model olarak kullanıldığı ve ergime noktası uygun olan diğer tozların da bu yöntemle sinterlenebileceği belirtilmiştir.

Zhang ve arkadaşları [6], Ti/Si/C metal tozlarını 1:1:2 ve 2:2:3 oranlarında argon atmosferinde karıştırıp 1200-1400°C arasında 50 Mpa basınç altında deşarj yöntemi ile sinterlemiştir. Sinterlemeden sonra örneklerin mikroyapıları X-Ray, optik ve SEM mikroskoplarda incelenmiştir. Sonuçlar, bütün fazların Ti₃SC₂ den ve az miktarda TiC den oluştuğunu göstermiştir. Optimum sinterleme sıcaklığının 1200-1300°C arası olduğu görülmüştür. 2:2:3 oranında karıştırılan faz 1275°C'nin üzerinde sinterlendiğinde, Ti₃SC₂ yoğunluğunun %99 civarında olduğu görülmüştür. Ti₃SC₂'nin tanecik boyutunun sinterleme ile 5-10 mikrondan 80-90 mikrona yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, göreceli olarak düşük sıcaklıklarda Ti/Si/C metal tozlarından deşarj yöntemi ile Ti₃SC₂ sentezlenebileceğini gösterir.

Kim ve arkadaşları [7], saf WC ve Co sert metal tozlarını yüksek frekansta sinterlemiştir. Yaptıkları çalışmada bu şekilde sinterlemenin yüksek yoğunluğa hızlı bir şekilde ulaşmayı ve bu sayede tane büyümesini engellediğini belirtmişlerdir. İndüksiyonla sinterleme işlemini presleme ile aynı zamanlı olarak 50 MPa basınç altında gerçekleştirmişlerdir. Yaklaşık 2 dakika boyunca sinterlenen tozlar ile %99.9 yoğunluğa ulaşılmıştır. Sinterlemesi gerçekleştirilen WC ve farklı bileşimdeki WC-Co tozları incelendiğinde, Co eklenmesinin, yoğunlaşma sıcaklığını azalttığını gözlemlenmiştir.

Wen-Fung Wang [8], sinterlenmiş ve indüksiyonla sertleştirilmiş Fe-C-Cu alaşımlarının mikroyapı ve sertliklerine alaşım elementlerinin ve proses faktörlerinin etkilerini incelemiştir. Çalışmalarında SC 100.26 ve PASC 60 (%0,6 P içerikli) tozlar grafit ve bakır ile karıştırılmış, sıkıştırıldıktan sonra sinterlenmiş ve P içerikli tozlara indüksiyon ile sertleştirme işlemi uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar Fe-C-Cu alaşımının mikroyapısının bakır ilavesi ile farklılık gösterdiğini göstermiştir. Ön alaşımlı Fe tozlarına bakır ilavesinin, hacmi artırdığı gözlemlenmiştir. Ferritik faz bakırın çözülmesiyle önemli derecede sertleşmiştir. P içerikli numunelerde sinterleme sonrasında önemli derecede hacim artışı görülmüştür. Hacim artışı, presleme basıncının artmasıyla artmıştır. Fe-C-Cu-P alaşımlarının sertliği, presleme basıncının

ve karbon oranının artışıyla artış göstermiştir. Fosforun çözeltili sertleşmesine uğraması, daha yüksek sertlik artışına sebep olmuştur. Sinterlenen karbon içerikli alaşımların sertlik değerleri, sıkıştırma basıncına bağlıdır. Sinterlemeden sonra yapılan indüksiyonla yüzey sertleştirmede sertleşme değerlerinin, presleme basıncı ve karbon oranı arttıkça arttığı görülmüştür. Bu durumu fosfor ilavesi artırmıştır.

Shimchi [9], yaptığı çalışmada lazerle sinterlenen demir tozlarına C ve Cu ilavesinin, yoğunluk ve mikroyapıya etkisini incelemiştir. Çalışmasında ayrıca demir tozunun boyutunun, sinterleme kinetiğine etkisini incelemiştir. Çalışmaları sonucunda alaşım elementlerinin yoğunluğu artırdığını gözlemlemiştir. Lazer şiddetini artırdığında, enerji girdisinin artması ile oluşan yüksek sıcaklıklarla toz boşluklarının kolayca dolduğunu gözlemlemiştir. Bakırın, düşük konsantrasyonlarda dahi bağlayıcı rolü oynadığı ve bakır ile beraber sıvı faz oluşturduğu gözlemlenmiştir. Demir tozuna ilave yapılan karbonun, kafes içerisine girerek, ergime noktasını, yüzey gerilimini ve viskoziteyi değiştirerek sinterleme kinetiğini artırdığı gözlemlenmiştir. Lazerle sinterlenen numunelerin iç yapısının homojen perlit ve ferrit tanelerinden oluşturduğu gözlemlenmiştir. Düşük miktarda martenzit ve temperlenmiş martenzit oluşturduğu görülmüştür. Özellikle yüksek lazer şiddetinde parçacık boyutu küçüldükçe, daha yüksek yoğunluğun oluşturduğu ve alaşım elementlerinin sinterleme kinetiğine etkilerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Doğru proses şartları uygulandığında, klasik sinterleme ile aynı yoğunluğun ve mekanik özelliklerin elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Narasimhan [10], yaptığı çalışmada katı faz ve sıvı faz sinterlemenin toz metal parçaların sinterlenmesinde önemli rol oynadığını öne sürmüştür. Bu amaçla grafit içerikli, grafit ve bakır içerikli, grafit ve nikel içerikli, fosfor içerikli ve bor içerikli demir tozlarını sinterlemiştir ve mekanik özelliklerini incelemiştir. 1120°C'de hidrojen azot karışımı ortamında yaptığı sinterleme sonucunda karbon ve nikel karbon içeren demir tozlarının sinterleme sonrası çekmesinin düşük miktarda olduğunu ve bu sayede net şekil elde edildiğini gözlemlemiştir. Bakır fosfor ve bor ilaveli tozlarda, sıvı faz sinterlemenin görüldüğünü ve bu sayede mukavemetin arttığını belirlemiştir. Bor içeren toz karışımı ile yapılan sinterlemede yoğun arttığını ancak bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini belirtmiştir. 2001 yılında yaptığı bu çalışmada, sinterleme mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasıyla, toz metal parça kullanımının daha yaygın olacağını belirtmiştir.

Ranjan [11], çalışmasında düşük alaşımlı çeliğe bakır ve vanadyum karbonitrit ekleyerek sinterlemiş, bunların yoğunluğa ve mekanik özelliklere etkisini araştırmıştır. Ayrıca yaptığı çalışmada parçalara ısı işlem uygulamış ve etkilerini incelemiştir. Sinterleme 1120°C'de hidrojen gazı ortamında 1 saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem, parçaları 1000°C'de 10 dakika boyunca ısıtıp daha sonra oda sıcaklığında yağda soğutulması ile gerçekleştirilmiştir.

Çelikteki karbon oranının artırılması ile (%0,3 ten %0,5'e) daha iyi yoğunluk ve daha iyi mekanik özellikler elde edilmiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda bakır ilavesinin yoğunluğu azaltmasına rağmen, çeliğin mekanik özelliklerini iyileştirdiğini gözlemlemiştir. Isıl işlem sonrasında ise mekanik özelliklerin daha da iyileştiği görülmüştür. En iyi özellikler %10 bakır ve %0 vanadyum karbonitrit içeren numunelerde elde edilmiştir. Çeliğe VCN (vanadyum karbonitrit) ilavesinin mekanik özelliklere ve yoğunluğa bir katkı yapmadığı ancak bakır içerikli bileşimde yoğunluğu düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bakırın çözünmesinin çeliğin kafes parametrelerini genişlettiğini ve dolayısıyla boyutsal artış sağladığını belirtmiştir. Bakır ilavesinin sertliği önemli derecede artırdığını gözlemlemiştir (100 HV'den 350 HV'e). Isıl işlem yapılan numunelerde ise bakır oranı arttıkça ısıl işlem sonucu elde edilen sertliğin arttığını gözlemlemiştir. (150 HV'den 400 HV'e)

Ksiong ve arkadaşları [12], çalışmalarında bakır esaslı uçak fren malzemelerinin sinterlenmesinde (%50-60 Cu, % 15-20 Fe ve SiO₂ %15-20 Grafit ve MoS₂ %5 Sn ve Mn), sinterleme basıncının ve sıcaklığının mikroyapı ve tribolojik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Sabit sinterleme sıcaklığında basıncı 0,5 Mpa'dan 1,5 Mpa'a çıkartıldığında gözeneklilik, aşınma kaybı ve sürtünme katsayısı önemli derecede azalmıştır. Sabit sinterleme sıcaklığında basıncın 0,5 Mpa'dan 1,5 Mpa'a çıkartılması durumunda ise gözeneklilik, aşınma kaybı ve sürtünme katsayısı azalmaya devam etmiş fakat daha az miktarda azalmıştır. Basıncın 2,5 Mpa'ın üzerine çıkarılmasında ise değerlerde değişme gözlenmemiştir. Sabit basınç altında ise, sinterleme sıcaklığı 900°C'den 930°C'ye çıkarılması ile yoğunluk önemli derecede artmış ve aşınma davranışları önemli derecede iyileşme göstermiştir. 1000°C'nin üstündeki sinterleme sıcaklıklarında ise yoğunluk artmasına rağmen tribolojik özelliklerde önemli derecede değişme gözlemlenmemiştir. Sinterleme presleme sonrasında 3-4 saat boyunca Hidrojen gazı ortamında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, hızla gelişen ve klasik üretim yöntemlerinin yerini alan toz metalurjisi yönteminde klasik sinterleme fırını yerine düşük frekanslı indüksiyonla sinterleme amaçlanmıştır. Bu gayeyle, yüksek enerji maliyeti olan ve bir parçanın üretiminin uzun sürede yapıldığı "klasik sinterleme fırınları"nın yerini alabilecek bir "indüksiyonla sinterleme düzeneği" tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu düzeneğin seri imalata uygun olması amacıyla düzeneğe bir konveyör bant sistemi kullanılmıştır. Böylece parçalar sürekli olarak sinterlenebilmiştir. Ayrıca sinterlemenin "İndüksiyonla Sinterleme Yöntemi" sayesinde çok daha az bir hacimde ve daha kısa sürelerde, daha az enerji harcanarak gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. İndüksiyonla sinterlemenin, klasik sinterlemedeki işlem basamaklarını tümüyle içermesi de bu çalışmanın bir amacıdır.

2. TOZ METALURJİSİ

Toz Metalurjisi, metal tozları ve tozlardan kütleli malzeme ve şekillendirilmiş parça üretiminin bilim ve teknolojisidir. Toz metalurjisi teknolojileri parçacıkları üretir, bunların özelliklerini kontrol eder, istenilen şekillere sıkıştırır ve belirli bir sıcaklığa ısıtıp parçacıklar arasında bağ oluşturarak güçlü bir ürüne dönüştürür. Şekillendirmenin önemi, kalıp boşluğunun defalarca kullanıldığı seri üretime uygun olmasıdır. Bu sayede parça başına maliyetler düşer. Ürünlerin pek çoğu özgün mikroyapı ve performans özelliklerine sahip olduğundan kullanım imkanı bulur [13].

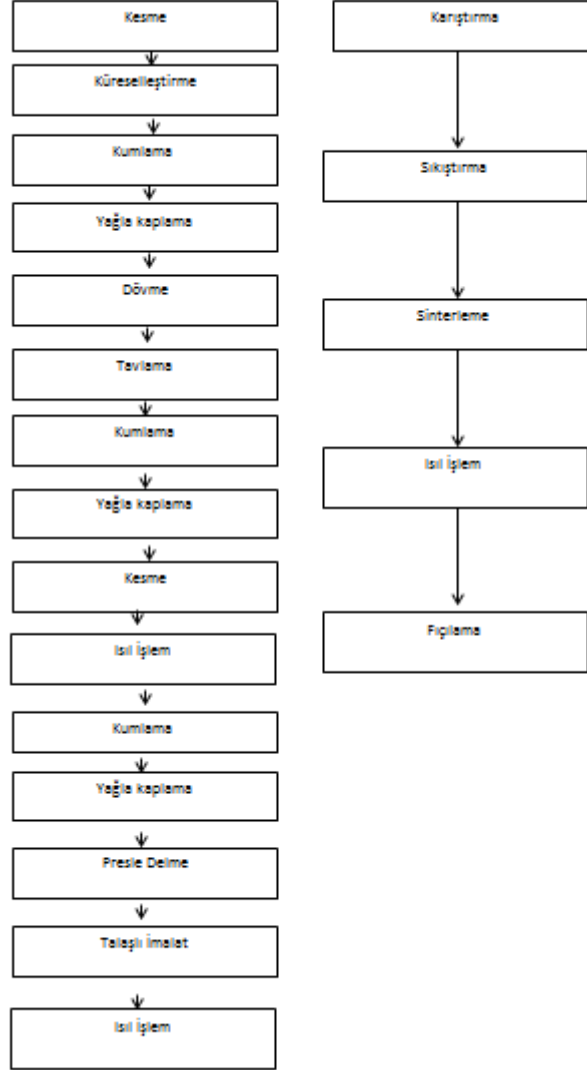
Toz Metalurjisi ile malzeme üretim yöntemi düşük enerji maliyeti, malzemenin maksimum düzeyde faydalanabilme ve düşük üretim masrafları nedeniyle giderek önem kazanmakta ve geleneksel metal şekillendirme yöntemlerinin yerini almaktadır [14]. Yakın toleransta parça üretimi ile malzeme tasarrufu ve düşük enerji tüketimine bağlı olarak özellikle seri üretimlerde maliyet oldukça düşmektedir [15].

Toz Metalurjisi , çok eskilerden beri bilinen ve uygulanan bir yöntem olmasına rağmen uygulama açısından yeni sayılabilecek bir üretim tekniğidir. Tarihe baktığımızda tozlardan metal parçaların elde edilmesi İnkalar tarafından mücevher üretimine uygulanmış, Mısırlılar ise milattan önce 3000'li yıllarda demir tozlarını kullanmışlardır. Diğer bir eski tarihi örnek ise Hindistan'daki 6.5 tonluk Delhi sütunudur, milattan sonra 375 ile 414 yılları arasında indirgenmiş demir tozlarından yapılmıştır. 1800 lü yıllarda madeni paralar preslenme ve sinterleme ile bakır, gümüş ve kurşun tozlarından üretilmiştir. Tozların ilk önemli kullanımı 1920 yılında tungsten-karbür kesici takımlarının üretimi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Tozların kullanımında en önemli dönüm noktalarından biri ise, Edison için, tungsten tozları kullanarak dayanıklı lamba flamanı geliştiren Coolidge'e atfedilmektedir. Hemen ardından 1930'lu yıllarda sert metaller (WC-Co), gözenekli yataklar ve elektrik temas elemanları geliştirilmiştir. 1940'lı yıllara kadar toz teknikleri yeni sert malzemeler, izolatörler, çelik üretim refrakterleri, demir içeren yapısal alaşımlar ve refrakter metallerin üretimini içermişlerdir. İlk uygulamaların çoğunda toz, malzeme türünü genişletmek için kullanılmıştır. Günümüzde ise toz halinde veya sinterlenmiş ürünler hemen her mühendislik sisteminde kullanılmaktadır. Önceleri, toz esaslı parçalar sadece düşük maliyet nedeniyle tercih edilirken, günümüzde tercih sebebi kalite, homojenlik ve tekrarlanabilir üretim gibi faktörleri içerir [13].

Günümüzde ileri teknoloji uygulamaları için, sürekli olarak yeni ve nitelikli yöntem ve malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Toz metalurjisi yönteminin çeşitlilik, malzeme tasarrufu, karmaşık şekillerde parça üretimi, mikro yapısal ve kimyasal homojenlik gibi özelliklerinden dolayı, ileri malzemelerin üretiminde önemi giderek artmaktadır [16].

Toz metalurjisi ile sinterlenen parçalar, bir çok farklı malzeme bileşimine, bir çok farklı şekle sahip malzeme üretebilmeye ve üretim sonucunda da tam bir ölçü elde etmeye olanak sağlar. Toz metalurjisi ile parça üretmenin en büyük yararlarından biri, proses sonucunda daha az işlem basamağı ile malzemeye son şeklinin verilmiş olmasıdır [17].

Şekil 2.1'de toz metalurjisi ile dövme prosesinin karşılaştırılması verilmiştir. Dövme prosesine göre toz çok daha az sayıda işlem basamağı içermektedir.



Şekil 2.1 Dövme ile Toz Metalurjisi proseslerinin karşılaştırılması [18].

Toz metalurjisi, tozların işlemden geçirilerek yararlı parçalara dönüştürülmesi ile ilgilidir. Toz metalurjisinin ana adımları Şekil 2.2'de gösterilmiştir. İlk genel alan "toz teknolojisi"dir ve ilgi alanı parçacıkların yapısı, tozların üretim teknikleri, sınıflandırma, karakterizasyon ve tozların taşınmasıdır. Tozların boyut ve şekillerinin incelenmesi toz teknolojisinin önemli ve sıkça

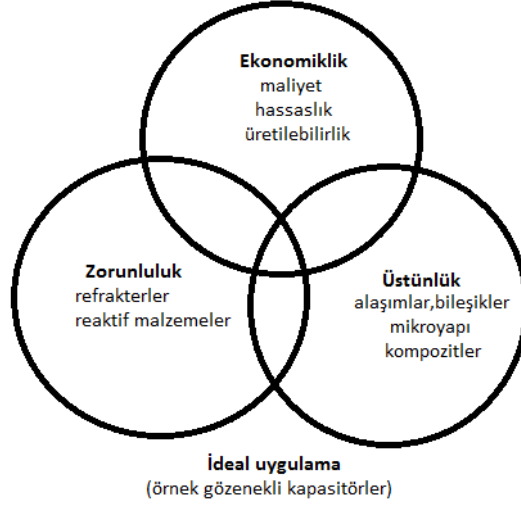
başvurulan faaliyetlerindedir. Toz yoğunlaştırma faaliyetleri sıkıştırma ve sinterlemeyi kapsar. İhtiyaç duyulan parçayı üretmek için kullanılan ana teknolojiler tozun şeklini, özelliklerini ve yapısını değiştirir. Sinterleme, tozlara uygulanan ve parçacıkların bağlanmasını sağlayan bir ısıl işlemdir. Böylece çok sağlam ve kullanışlı katılar elde edilmiş olur. Sıkıştırma ve sinterleme aşamalarından sonra, dikkat özelliklere kayar ki önemli olan mikroyapıdır. Tozdan şekillendirmenin önemli avantajlarından birisi mikroyapı kontrolüdür. Fazlar karışık olabilir. Diğer malzeme şekillendirme teknikleri uygulamaya göre mikroyapı sağlama konusunda toz metalurjisi ile yarışamazlar [13].



Şekil 2.2 Toz metalurjisi yönteminde parça üretim iş akış adımları [13].

Toz metalurjisi, üretim metotları içerisinde en çok tercih edilen ve sürekli olarak kullanımı artan bir teknolojidir. Toz metalurjisinin birçok tercih edilme sebebi bulunmaktadır. Üç anahtar etken; maliyet, özellikler ve reaktivitedir. Şekil 2.3'teki diyagram, toz metalurjisi uygulamalarının nasıl kategorize edildiğini göstermektedir. Bunlardan ilki karmaşık geometrili parçaların ekonomik üretimine dayalı pek çok uygulamadır. Toz metalurjisi ürünlerinin kullanılması için pek çok üstün özellik ve mikroyapısal uygunluk vardır. Örnek olarak gözenekli filtreler, sermetler (seramik-metal kompozitleri), tungsten karbürden veya elmas kompozitlerden sert kesici takımlar verilebilir. Bu malzemeleri diğer tekniklerle üretmedeki yetersizlik bu sektörün büyümesine katkıda bulunmuştur. Venn diyagramında gösterilen son daire zorunluluk uygulamalarına karşılık gelmektedir. Bu malzemelerin diğer tekniklerle üretilmeleri oldukça zordur. Örnekler arasında seramikler, pek çok reaktif ve refrakter metaller ve ergitilmesi pratikte uygun olmayan bazı polimerler gibi sert ve yüksek sıcaklık malzemeleri vardır [13]. Üretilen malzemelerin gözenekliliği mekanik özellikleri zayıflatmakla beraber kendinden yağlama gerektiren yerlerde yatak malzemelerinin tek üretim yöntemi toz metalurjisi yöntemiyle [19].

Sıklıkla her üç kategorideki elementler, toz metalurjisi uygulamalarında yer alır. Gerçekten, önemli büyüme ve genişleme muhtemelen yüksek kaliteli, düşük maliyetli, amaca uygun şekillendirilmiş; ekonomiklik, zorunluluk ve üstünlüğün geliştirilmiş bileşenlerinden kaynaklanacaktır [13].



Şekil 2.3 Toz metalurjisi tekniğinin kullanımının üç ana sebebinin gösterilişi [13]

- Düşük maliyetli malzemelerden hassas, yüksek kaliteli yapısal parçaların çok miktarda üretilmesi,
 - Tam yoğunluk ve güvenilirliğin ön planda olduğu yüksek performanslı malzemelerin üretilmesi,
 - İşlemi zor olan homojen mikroyapılı, tam yoğunluklu ve yüksek performanslı alaşımların üretilmesi,
 - Özel alaşımlardan, tipik olarak karışık fazlı kompozitlerin, ekonomik olarak sıkıştırılması,
 - Amorf, mikrokristalli, nano ölçekli veya yarı kararlı alaşımlar gibi denge durumunda bulunmayan malzemelerin sentezlenmesi,
 - Benzersiz içeriğe sahip, karmaşık, sıra dışı ve işlevli parçaların üretilmesi
- Toz metalurjisinden gelecekte beklenenleri ifade eder [13].

Şekillerde toz metalurjisinden üretilen çeşitli parçalar yer almaktadır.



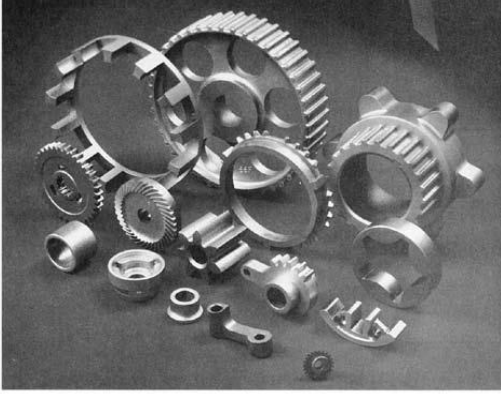
Şekil 2.4 Toz metalurjisi ile üretilen parçalar [20]



Şekil 2.5 Toz metalurjisi ile üretilen parçalar [20]



Şekil 2.6 Toz metalurjisi ile üretilen parçalar [20]



Şekil 2.7 Toz metalurjisi ile üretilen parçalar [21]



Şekil 2.8 Toz metalurjisi ile üretilen parçalar [22]

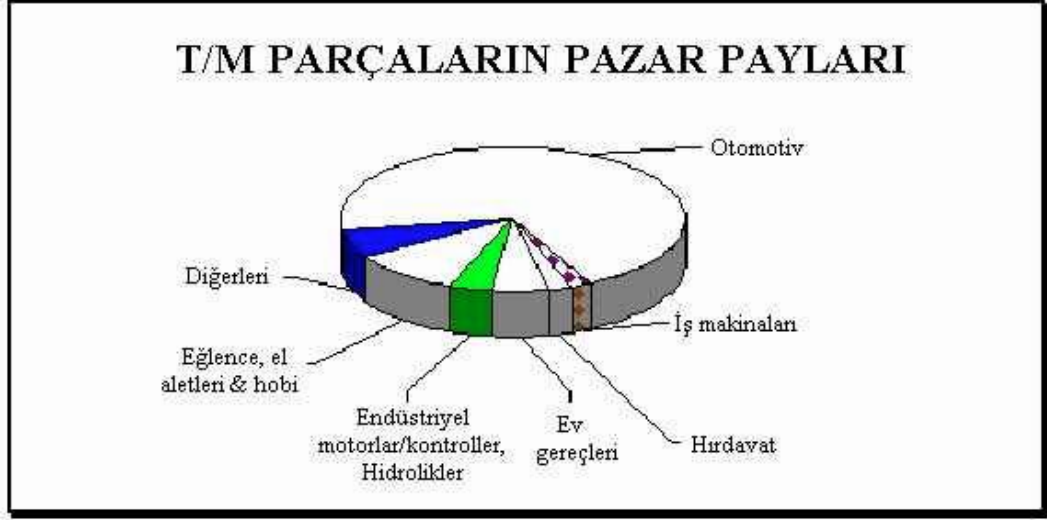


Şekil 2.9 Toz metalurjisiyle üretilen parçalar [22]



Şekil 2.10 Toz metalurjisiyle üretilen parçalar [23]

Toz ile üretilen parçaların dünya genelindeki pazar payı Şekil 2.11'deki grafikte verilmiştir. Bu pazarın %75'i otomotiv endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Avrupa yapımı arabalar 7 kg, Japon yapımı arabalar 5 kg, Amerikan arabaları ise 16 kg'dan daha fazla toz metal parça içermektedir [24].



Şekil 2.11 Toz ile üretilen parçaların pazar payları [24]

2.1 TOZ ÜRETİMİ

Toz metalurjisiyle parça üretimi tozun üretilmesi ile başlar. Toz metalurjisi ile üretilen parçanın yapısı, parçayı oluşturan tozun özelliklerine direkt olarak bağlıdır. Bir tozun nasıl üretildiği bilinirse, tozun boyutu ve şekli gibi özellikleri tahmin edilebilir.

Hemen hemen her malzeme toz haline getirilebilir, fakat belli bir malzemeyi toz haline getirmek için seçilen yöntem, maliyet, tepkimeler ve istenilen özellikler gibi faktörlerin karışımına bağlıdır. Toz üretim yöntemleri;

1. Mekanik üretim yöntemleri
 2. Elektrolizle üretim yöntemleri
 3. Kimyasal üretim teknikleri
 4. Atomizasyon teknikleri
 5. Buharlaştırma yöntemleri
- şeklinde sınıflandırılabilirler [13].

2.1.1 Mekanik Yöntemler

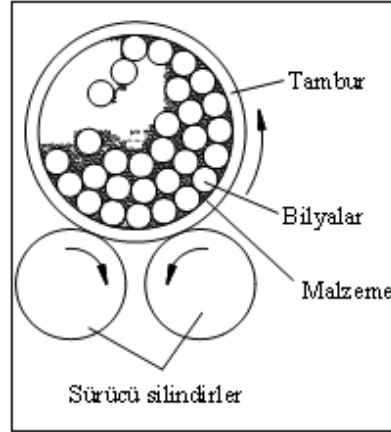
Talaşlı üretim, öğütme ve mekanik alaşımlama olmak üzere üç grupta incelenebilir [13].

2.1.1.1 Talaşlı Üretim

Bu yöntemle tornalama, frezeleme ve taşlama gibi talaş kaldırma teknikleri kullanılarak çok iri ve karmaşık tozlar üretilir. Üretilen tozlar, öğütülerek ince tozlar haline getirilebilir. Toz özelliklerinin kontrolündeki zorluk, oksitlenme, yağlanma, kir tutma ve diğer malzeme hurdaları ile karışarak kirlenme problemleri olabilir. Yüksek karbonlu çelik tozları bu yöntemle üretilir [25].

2.1.1.2 Öğütme

Bir metal tozu üretim tekniği olmakla birlikte, diğer tekniklerle üretilmiş tozların kırılması için de kullanılan öğütme, en çok bilyeli değirmenlerde yapılmaktadır. Kırılgan malzeme tozlarının üretiminin yapıldığı bu yöntemde, temel prensip parçalanacak malzeme ile sert bir cisim arasında bir darbe meydana gelmesini sağlamaktır [25]. Şekil 2.12'de yöntem görülmektedir.



Şekil 2.12 Bilyalı öğütme [13]

Eğer öğütülen malzeme gevrek ise, bilyelere çarpışmanın etkisiyle çok küçük tozlara bölünür. Öğütülen malzeme sünek parçacıklardan oluşuyor ise, çarpışma sonucunda şekil değiştirerek yassılaşırlar [25, 26].

2.1.1.3 Mekanik Alaşımlama

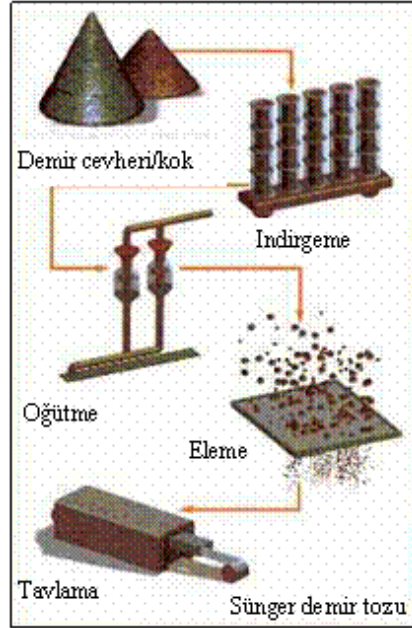
Mekanik alaşımlama yöntemi, kuru ve katı haldeki tozların birbirlerine periyodik olarak kaynaklanmasını ve tekrar bu kaynakların kırılmasını sağlayarak daha ince ve homojen bir mikroyapıda, yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılır [27]. Mekanik

alaşımlama yönteminde tozlar kapalı bir kap içerisine konular ve şaft döndürülür. Tozlar, şaft kolları ve bilyeler yardımı ile deforme edilir ve bu tozlarda kırılma ve soğuk kaynaklaşmalar meydana gelir [25].

2.1.2 Kimyasal Yöntemler

Metal tozlarının kimyasal yöntemle üretimi, metal oksitlerin (demir, bakır, tungsten, molibden, nikel ve kobalt) CO veya hidrojen gibi indirgeyici gazlarla oksitlerinden kimyasal olarak indirgenmesidir [28, 25].

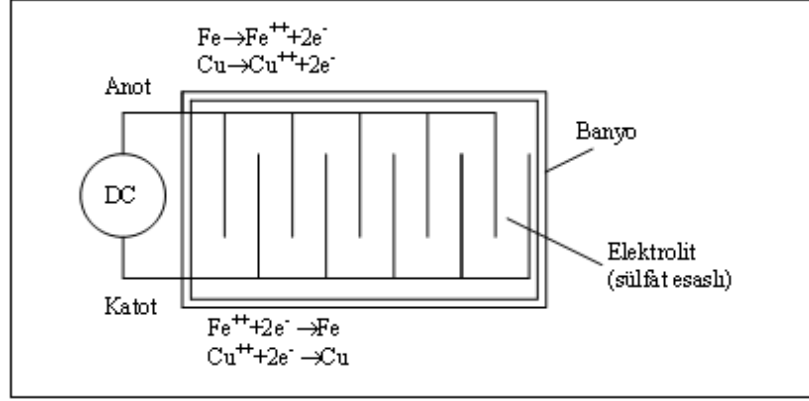
Kimyasal yöntemle üretilen sünger-demir tozu bu yöntemin önemli bir uygulama örneğidir. Sünger demir, demir oksit cevherinin uygun nitelikte indirgeyici elemanlara indirgenerek süngerimsi bir kütleye dönüştürülmesiyle elde edilir. Magnetit (Fe_3O_4), kok ve kireç taşı ile karıştırılır ve seramik kaplara doldurulur. Karışım seramik kaplar içerisinde $1260\text{ }^{\circ}C$ sıcaklıktaki fırınlarda 68 saat bekletilir [26]. İndirgenmenin tamamlanması ile sünger demir elde edilir. Şekil 2.13'te kimyasal yöntemle demir tozu imalatı görülmektedir [25].



Şekil 2.13 Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi [24].

2.1.3 Elektroliz Yöntemi

Elektroliz yöntemiyle, oksitlerden oluşan tozlar katoda akım vermek suretiyle elektrolitik banyoda çökertilir ya da iyi kırılabilme özelliğinde katot da toplanır. Şekil 2.14'te yöntem görülmektedir.



Şekil 2.14 Elektroliz ile toz üretimi [13].

Banyo teknesi kurşun kaplıdır. Elektrolitik olarak bakır sülfat ve sülfirik asit kullanılır. Anot bakır katod ise antimuanlı kurşundur [29]. Elektroliz yöntemi ile genel olarak bakır tozları imal edilir [13].

2.1.4 Atomizasyon Yöntemleri

Atomizasyon, bir sıvı demetinin farklı boyutlardaki çok sayıda damlacıklara ayrılmasıdır [30]. Temel prensip, bir potanın dibindeki delikten akmakta olan ergimiş metalin üzerine yüksek basınçlı gaz veya sıvı püskürtülmesidir. Hava, azot ve argon sıklıkla kullanılan gazlardandır ve su ise çok sık tercih edilen sıvıdır. Burada gaz veya sıvı, ergiyik haldeki metal demetini farklı boyutlarda çok sayıda damlacıklara ayırır. Damlacıklar daha sonra katılarak metal tozlarını oluştururlar. Bu üretim yöntemi üç ana bölüme ayrılır:

Ergitme

Atomizasyon

Katılma ve soğuma [25].

Ergiyik metalden toz üretimi için merkezkaç kuvvetinin kullanılması olarak bilinen döner disk santrifüj atomizasyon yönteminde, sıvı metal dönen bir disk üzerine akıtılır. Disk üzerindeki

set ve yarıklara çarpan sıvı metal parçalanarak saçılır. Saçılan metal parçacıklar soğutularak katılaşmaları sağlanır [31, 32, 25].

Döner elektrot kullanılarak yapılan santrifüj atomizasyon yöntemi ise, dönmekte olan elektrotun ergiyen ucundaki sıvı metal damlaların atomize olması esasına dayanır [21,13].

Vakum atomizasyonu yöntemi, basınçlı gaz altındaki sıvı metale ani olarak vakum uygulanması sonucu gazın genişmesi ve metalin atomize olmasıyla gerçekleştirilen bir metottur [33, 25].

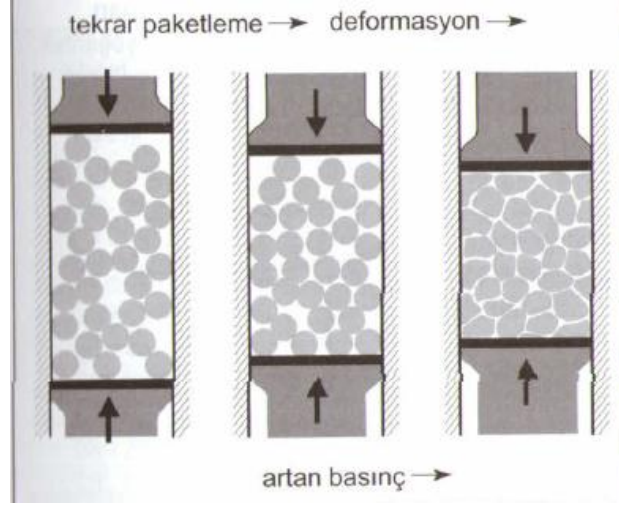
Ultrasonik gaz atomizasyon yönteminde ise, yüksek basınçlı gaz rezonans boşluklarının birinden diğerine ivmelendirilerek ultrasonik ses dalgaları oluşturulur ve yüksek katılaşma hızına bağlı olarak çok ince ve küresel şekilli tozlar üretilir [35, 25].

Atomizasyon yöntemleriyle bir tozun ortalama boyutu, toz boyutu dağılımı, toz şekli, yüzey kompozisyonu da dahil olmak üzere kimyasal bileşimi ve mikro yapısı kontrol edilebilir. Bu temel özellikler, tozların ve bitmiş parçaların görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve tokluk gibi özelliklerini belirler [36]. Bunların yanı sıra, atomizasyon yöntemlerindeki yüksek toz üretim hızı, ekonomik olarak bir üstünlüktür. Her atomize parçacık bir ön alaşım veya küçük bir kütük gibidir ve her partikülde bileşim aynıdır [37, 25].

2.3 TOZ METALÜRJİSİ İLE PARÇA ÜRETİMİ

Yukarıda anlatılan toz üretim teknikleri vasıtasıyla üretilen toz halindeki metaller öncelikle üretilecek olan parçanın kullanım alanlarına, parçadan istenilen özelliklere ve parçadan istenen mukavemet değerlerine bağlı olarak alaşımlandırılır. Alaşımlandırılan tozlara daha sonra çeşitli polimerler ilave edilir. Polimer katkısı ile tozlar hem şekillendirilmeye uygun hale getirilmiş olur, hem de tozların preslendiği kalıbın yüzeyinin aşınması azaltılmış olur. Daha sonra tozlar yüksek basınçta preslenerek ya da düşük basınçta şekillendirilerek yoğunlaştırılır. Farklı basınçlar farklı polimer içeriklerini gerektirir [13]. İki grup polimer katkısı yaygın olarak kullanılır. Bunlar, kalıpta preslemede kullanılan ve takım aşınmasını azaltan yağlayıcılar ve büyük ölçüde toz şekillendirme teknolojilerinde ham dayanım sağlamak üzere kullanılan bağlayıcılar. Yağlama yağlayıcının kalıp duvarına sürülmesi ile ya da doğrudan preslenecek toza katılması ile sağlanabilir [13]. Polimer ilavesinden sonra toz, üretilmek istenen parçaya uygun olarak şekillendirilir.

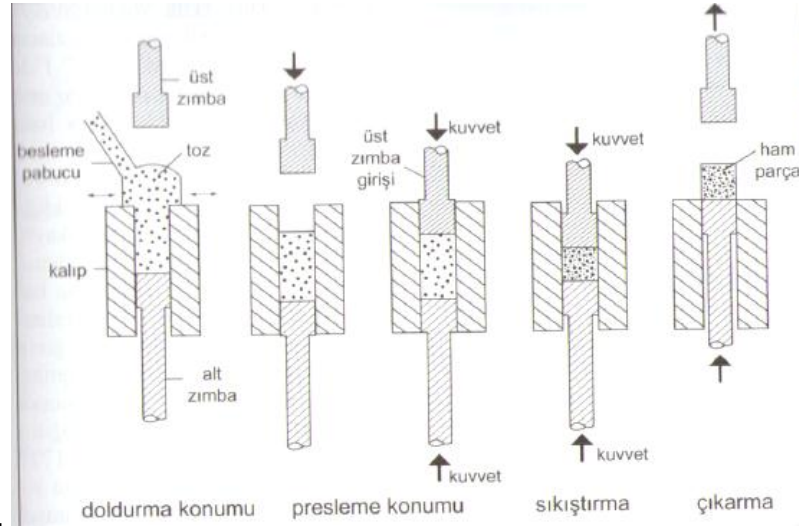
Tozları şekillendirmenin en yaygın yöntemi kalıpta sıkıştırma. Kalıpta sıkıştırma, bir tozu istenilen şekle preslemek için alt ve üst zımbalar yardımı ile basınç uygulama işlemidir [13].



Şekil 2.15 Toz Sıkıştırma Kademeleri [13].

Şekil 2.15'te toz sıkıştırma kademeleri görülmektedir. Artan basınç ile parçacıkların şekil değişimi, yoğunlaşmanın olmasını sağlar.

Sıkıştırma işleminden sonra bir metal parça elde edilmiş olur. Şekil 2.16'da kalıpta sıkıştırmanın şekli yer almaktadır.



Şekil 2.16 Kalıpta sıkıştırma [13].

Parça, sıkıştırma işlemi ile elle tutulabilir bir mukavemet kazanmış olsa da, esas mukavemet sinterleme işleminden sonra kazanılabilir.

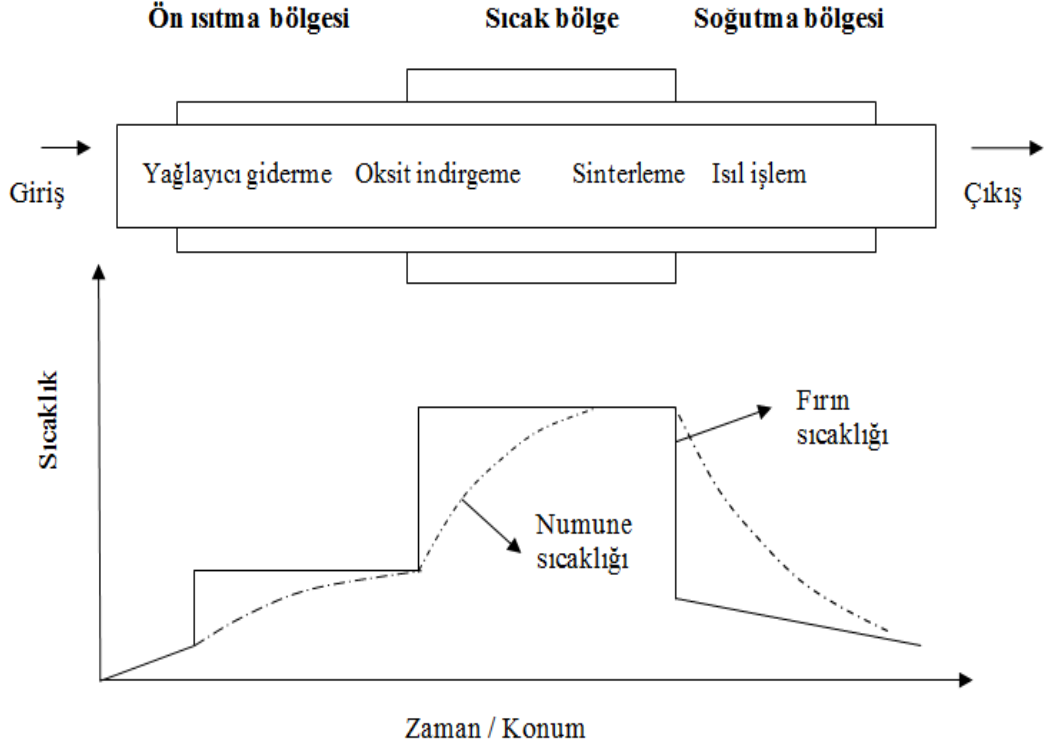
2.4 SİNERLEME

Sinterleme, parçacıkların birbirine bağlanmasını sağlayarak önemli ölçüde mukavemet artışına ve özelliklerin iyileşmesine sebep olan ısıtma işlemidir. Sinterleme, birbirine temas eden parçacıkların yüksek sıcaklıklarda birbirine bağlanmasını sağlar. Bu bağlanma, ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleriyle oluşabilir. Fakat pek çok durumda, sıvı faz oluşumu ile birlikte gerçekleşir [13].

Sinterleme, yüksek sıcaklıkta atomların yayını ve küçük parçacıkların yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir. Sinterleme öncesi bağlayıcı veya yağlayıcı olarak kullanılan polimerler uzaklaştırılmalıdır. Polimer yakma işlemi sinterleme sırasında ham parçanın, polimerin kararlılığını kaybedip buharlaşarak bileşenlerine ayrıştığı sıcaklıklara ısıtılması ile gerçekleşir.

Sinterleme, malzeme bileşenlerindeki fazların erginmediği Katı Hal Sinterleme ya da fazlardan en az birinin ergindiği Sıvı Hal Sinterleme şeklinde meydana gelebilir.

Sinterleme , genel olarak sinterleme fırınlarında gerçekleştirilir. Bu fırınlar, üretilecek parça boyutlarına nazaran çok büyük uzunluktadır. Şekil 2.17'de sinterleme fırınlarında yapılan sinterlemenin şematik bir gösterimi görülmektedir.



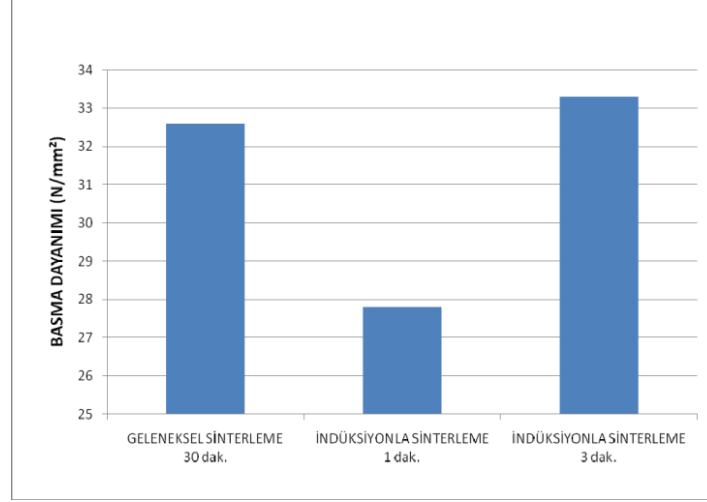
Şekil 2.17 Sinterlemenın şematik gösterimi [13]

Sinterleme işleminin fırın ortamında yapıldığı gibi indüksiyon ile de yapılabilir. Fırın ortamında yapılan sinterleme indüksiyonla yapılan sinterlemeye göre çok daha uzun süre alan bir süreçtir. Örneğin 10x10x55 mm boyutlarındaki bir numune için fırın ortamında 30 dakika sinterleme yapılması gerekirken indüksiyon düzeneğinde çok daha düşük sürelerde sinterleme tamamlanmaktadır. Bunun sebebi indüksiyon akımı ile parçanın direk olarak sinterlenmesi ve fırın ortamında sinterlemenin ısı transferi ile olmasıdır. Isı transferi uzun süre alır. Bu olgu indüksiyonla sinterlemeyi seri üretim açısından çok büyük önem taşıyor hale getirebilir.

Sinterleme hava atmosferinde yapıldığı gibi, Azot, Argon ve Çeşitli gaz karışımları ile de yapılabilir [13]. Sinterleme sırasında oksidasyondan korunmak amacıyla koruyucu atmosfer (genel olarak N_2H_2 karışımları) kullanılabilir. Azot Hidrojen karışımı gaz, indirgeyici bir atmosfer oluşturur [39]. Bu da sinterlenen malzemeyi hava atmosferinin olumsuz etkilerinden korur.

Toz metalurjisi yöntemi avantajları nedeniyle seri üretimde kullanılan ve gelecekte hızla artan şekilde daha da yaygın kullanılacak bir üretim yöntemidir. Bu sebepten dolayı parça üretiminde kullanılan zamanın azaltılması seri üretim için oldukça gereklidir. Bu zaman azalması

büyük mertebelerde olduğundan indüksiyon ile sinterleme seri üretim için çok uygun bir yöntemdir.



Şekil 2.18 Toz Metal burçların, atmosfer ortamında indüksiyonla 1 ile 3 dakika ve geleneksel yöntemle inert ortamda 30 dakika sinterlenmesi sonucunda oluşan basma dayanımı değerleri [38].

Yapılan araştırmalar sonucunda Şekil 2.18'de görüldüğü gibi indüksiyon ile sinterlenen numunelerin mukavemet değerlerinin fırınla sinterlemeye göre önemli farklılık göstermediği belirlenmiştir. Bu sebeple indüksiyon ile sinterleme fırında sinterleme yerine kullanılabilir ve önemli zaman ve maliyet kazanımı sağlanabilir [38].

2.4.1 İNDÜKSİYONLA SİNERLEME VE ÖZELLİKLERİ

Sinterleme fırında ya da indüksiyon ile yapılabilir. Sinterlemenin indüksiyonla sinterleme cihazında bobin içerisinde indüksiyon akımı vasıtasıyla ve bu akımın yarattığı yüksek ısı ile yapılması seri üretime uygunluğu açısından oldukça avantaj sağlamaktadır.

Toz metalurjisi ile üretim yönteminde, daha öncede belirttiğimiz gibi toz malzemeler preslenerek tozlar birbirine yaklaştırılır ve sinterleme yöntemiyle birbirine yaklaşmış olan bu tozlar arasındaki mesafe verilen enerji ile iyice azaltılır. Sinterleme esnasında mikro yapı değişimi meydana gelir. Sıkıştırma esnasında toz parçacıklar birbirleriyle yakın mesafelere gelir ve yoğunluk artar. Sinterlemede sarmal ısıtıcı, demir içeren toz metalleri vakum ya da hava atmosferinde ana metalin ergime noktasından düşük sıcaklıktaki bir sıcaklığa kadar ısıtır. Metalik parçalar metalurjik bağ yapar ve difüzyon yolu ile alaşımlama gerçekleşir [40].

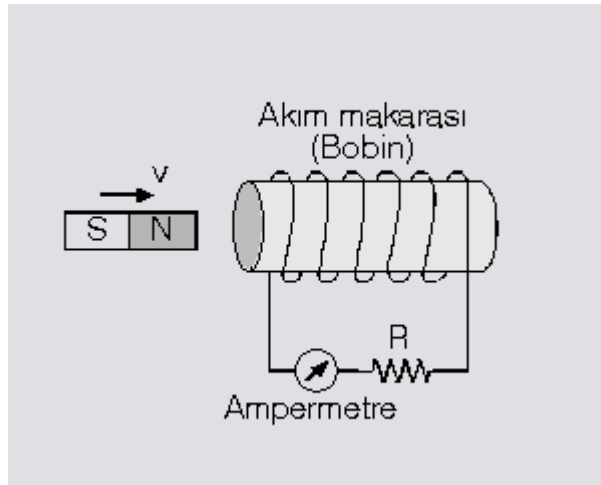
İndüksiyonla sinterleme, değişken akım taşıyan iletken bobin ile sağlanır. Bobinde oluşan akım, toz malzeme içinde girdap akıma neden olan manyetik alanı oluşturur. Bobin genellikle bakırdan meydana gelir. İçerisinden soğutma suyu geçer. İndüksiyonla sinterleme yönteminde kullanılan frekans 50 Hz ile 50 kHz arasında değişebilir [1, 41].

İndüksiyon sisteminin en önemli özelliği ısı doğrudan parçada olduğu için hızlı ısınmanın gerçekleşmesidir. Genel olarak malzemelerin yüzeylerini ısıtmakta kullanılır [41]. Frekans ne kadar yüksek olursa indüksiyon akımları yüzeye o kadar yakın bölgede cereyan eder [42]. Isı transferi, diğer ısıtma sistemlerinden 3000 kez daha iyidir [41]. Bu da ısınma işleminin çok daha hızlı tamamlanmasını, bu süre için harcanan zamanın azalmasını ve dolayısıyla sinterleme süresinin kısılmasını sağlar.

Ancak yağlayıcının hızla buharlaşması, ısıl şoklar gibi nedenlerle toz metal parçaların hızlı ısınarak sinterlenmesinde önemli problemler oluşmaktadır. Bu olumsuzlukları giderecek ve klasik fırınlarda gerçekleşen sinterleme aşamalarını sağlayacak sistemi, indüksiyonla sinterlemede de oluşturmak gereklidir. Bu tez kapsamında buna yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.4.2 İNDÜKSİYON AKIMI

Bir mıknatıs Şekil 2.19'daki gibi akım makarasının içine doğru hızla yaklaştırıldığında ya da makaradan uzaklaştırıldığında ampermetreden akım geçer. Üreteç olmadan elde edilen bu akıma indüksiyon akımı denir. İndüksiyon akımının meydana gelmesinin sebebi kapalı bir devre halinde bulunan iletkenin geçen manyetik alan kuvvet çizgilerinin sayısının değişmesidir [43].



Şekil 2.19 İndüksiyon akımı [43]

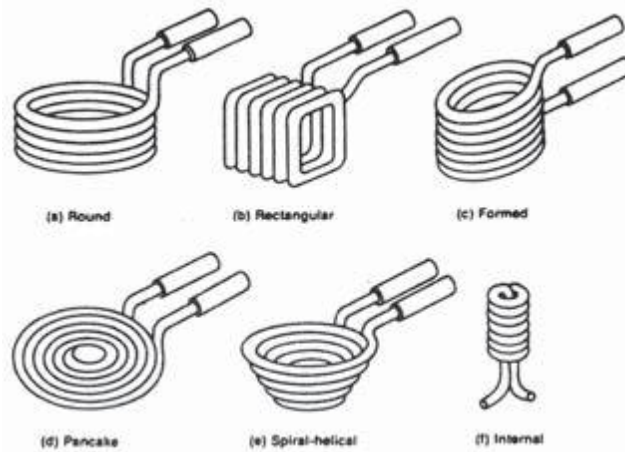
Kuvvet çizgileri hızlı değişirse indüksiyon akımı büyük, yavaş değişirse küçük olur. Miknatis yaklaşırken ve uzaklaşırken oluşan akımın yönleri birbirine göre zıttır. Makaranın sarım sayısının artması indüksiyon akımının şiddetini artırır [43].

Bir iletkenen elektrik akımı geçtiği zaman etrafında manyetik bir kuvvet alanı oluşur ve kuvvet hatları da iletken uzaklaştıkça seyreler [43].

Elektrik üretimi için kullanılan indüksiyon akımı yaratma işi parçanın ısıtılması amacı ile de kullanılmaktadır.

Üzerinden akım geçen bir iletkenin etrafında oluşturduğu manyetik alan çizgileri, iletkenin içerisine koyulan başka bir iletken üzerinde elektrik akımı oluşmasını sağlar. Oluşan bu elektrik akımı, içerideki iletkeni ısıtır. Bu ısıyı oluşturan, iletkenin üzerinden geçen akıma gösterdiği dirençtir. Bu ısıdan yararlanılarak içerideki iletkende ısı işlem için gerekli enerji oluşturulmuş olur.

İndüksiyon akımından genellikle yüzey sertleştirme işlemlerinde yararlanır. Mil, dişli çark gibi değişik kesitlere sahip parçaların çevresine, yüzey profiline uygun şekillendirilen bir makara vasıtasıyla çok yüksek frekansta değişen bir manyetik alan oluşturulur. Değişen manyetik alan, çelik parçada yüzey bölgesinde indüksiyon akımı üretir. Çelik parça malzemesinin kendisi bir direnç oluşturmuş olur. Frekans ne kadar yüksek olursa sertleşen bölge o kadar ince olacaktır. Bu işlem için her parçanın yüzey profiline uygun indüktör (bobin) üretilmesi gerekir [42]. Çeşitli parça şekilleri için bobinler şekil 2.20'de görülmektedir.



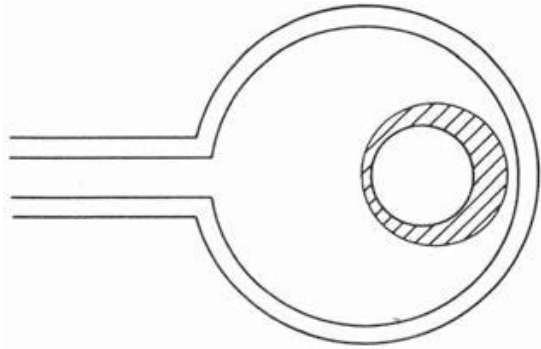
Şekil 2.20 Çeşitli parça şekilleri için bobinler [44]

Yüzey sertleştirme işleminde kullanılan yöntem frekansın düşük ayarlanması ile parçanın tamamının ısınması ve bu ısı vasıtasıyla sinterlenmesi işleminde kullanılır.

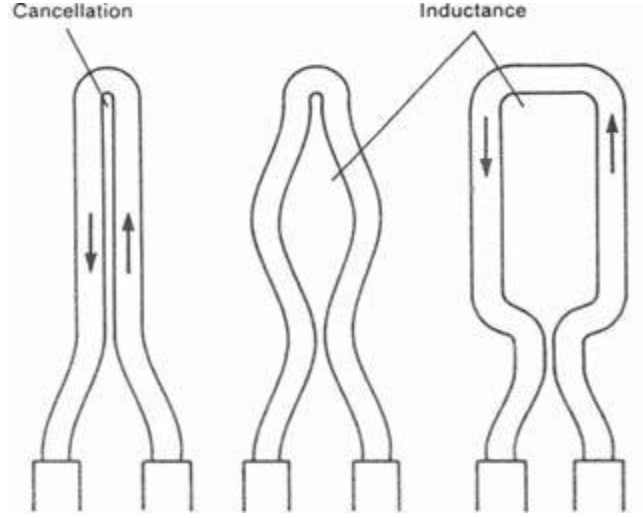
2.4.3 İNDÜKSİYON AKIMI İÇİN BOBİN TASARIMI

İndüksiyon akımı için bobin tasarımı, parçanın ısı işlemleri sırasında belirli bir parçadan istenilen özelliklerin sağlanması aşamasında, deneysel verilerden yararlanılarak yapılır. Bundan dolayı bobin dizaynı genellikle tecrübelerle dayanır. Ancak yine de bobin tasarımı aşamasında dikkate alınacak bazı olgular vardır;

1. Bobin sarılırken mümkün olduğunca sargılar sık olmalıdır. Bu sayede manyetik alan çizgileri sıklaşır ve verimlilik artar.
2. Maksimum sıcaklık bobinin merkezinde meydana gelir. Bu nedenden dolayı parçanın bobine yerleşimi sırasında bu olguya dikkat edilmelidir ve parçanın yerleşimi bu şekilde olmalıdır.
3. Bobine simetrik olarak yerleştirilemeyen parçada sıcaklık dağılım farklılığı oluşur ve parça üzerinde farklı ısınan bölgeler meydana gelir. Bu da ısı işlem ile oluşan mukavemet farklılıklarına neden olur (Şekil 2.21).
4. Bobin sarımı yapılırken parçayı geometrik merkezde tutmanın zor olduğu durumlarda sarımların sıklığı ve yönü ayarlanarak ısının en yüksek olduğu yer geometrik merkezin dışında bir nokta olarak ta ayarlanabilir.
5. Bobin tasarımı yapılırken bobinin manyetik alan çizgilerini azaltıcı yönde sarılmasının önüne geçilecek tasarımlar yapılmalıdır. Örneğin şekil 2.22 'de sağdaki bobin tasarımı manyetik alan çizgileri bakımından en uygun tasarımdır [45].



Şekil 2.21 Parçanın düzgün yerleştirilmemesi sonucu oluşan ısı farklılıkları [45]



Şekil 2.22 Çeşitli bobin tasarımları [45]

Bobin tasarımında dikkat edilecek en önemli hususlardan biri bobin geometrisidir. Bobin geometrisi, ısıtılan alanın geometrisini yansıtır. Bu sebeple ısıtılacak parçanın şekline uygun bobinler tasarlanmalıdır. Örneğin silindirik bir parçanın tamamının en verimli şekilde ısıtılmasını sağlayan bobin tasarımı helisel bobindir. Parça kare ya da dikdörtgen kesitli ise bobin, o kesite uygun kare ya da dikdörtgen kesitli olarak tasarlanmalıdır. Bu sayede parçanın tamamında üniform bir ısı oluşumu elde edilir [45].

Sonuç olarak bobin tasarımları edinilen tecrübeler sayesinde parça şekline uygun olarak ve ısı işlem sonucundaki veriler ile istenilen verilerin karşılaştırılması vasıtası ile bobin üzerindeki değişiklikler gerçekleştirilerek yapılır. Ana iş bobinleri bir çok parçanın sinterlemesinde kullanılmasına karşın, özel uygulamalar istenilen özel parçalar için dizayn edilir [45].

2.4.4 BOBİN ÜRETİMİ

Bobin üretiminde genellikle bakır kullanılır. Bunun sebebi bakırın öz direncinin düşüklüğüdür. Özdirenci düşük olmasından dolayı bakır iyi bir iletkenidir. Bu iletkenliği bakırın ısınmasını ve bobinin sinterleme sırasında zarar görmesini engeller [46].

Özdirencin düşüklüğünün ve iyi bir iletken olmasının yanında bakır, kolayca şekil alabilen bir yapıdadır. Bu sebeple genelde parça şekline uygun yapıda üretilen bobinlere şekil verilmesi sırasında bakırın bu özelliği çok önem kazanır. Bakır silindirik ve kare gibi bir çok şekle kolaylıkla getirilebilir [46].

Üretilen bobinlerde kullanılan bakır, boru biçiminde bir formdadır. Bunun sebebi bobini soğutmak için kullanılan suyun bakır içerisinden akarak bobinin soğutulmasının sağlanmasıdır. Bobinin soğutulmasının amacı ısı işlem yapılan numuneden taşınım ile geçen ısının ve ayrıca bakırın kendi öz direncinden kaynaklanan ısının uzaklaştırılması ve bobine zarar verilmemesidir [46].

Sonuç olarak öz direncinin düşüklüğü, şekil verilebilme kolaylığı, kolay bulunabilirliği, bobinde bakır kullanmamızı bizim için uygun kılar [46].

Bakır bobin sarıldıktan sonra her ihtimale karşı üzerine yanmaz geçirilir. Şekil 2.23'te oluşturulan bobin görülmektedir.

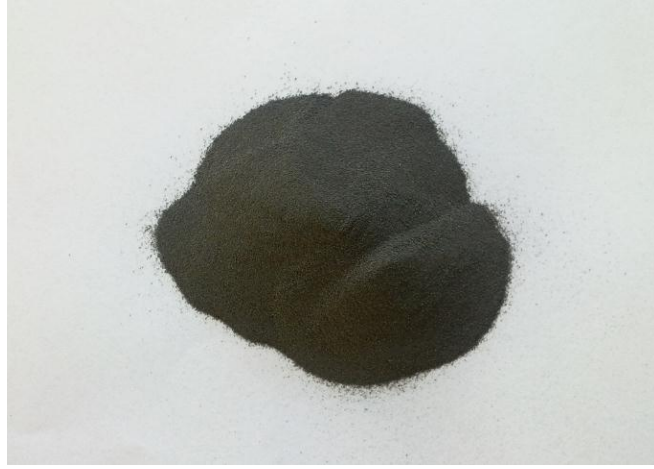


Şekil 2.23 Oluşturulan bobin

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 NUMUNE HAZIRLANMASI

Bu çalışmada, %3 Cu % 0,5 Grafit ve yağlayıcı olarak %1 Kenolube içeren Högenas ASC 100.29 demir tozu kullanılmıştır (Şekil 3.1). Numune toplam ağırlığı 37,37 g olacak biçimde (yağlayıcı kenolube buharlaştığında numune ağırlığı 37 gram olmaktadır) Şekil 3.2'de görülen 10^{-2} g hassasiyetli tartıda tartılarak toz karışımı hazırlanmıştır.



Şekil 3.1 Kullanılan Metal Tozu



Şekil 3.2 Hassas tartı

Karıştırılan toz Şekil 3.3'teki 100 tonluk preste Şekil 3.4'teki kalıba dökülerek 600 N/mm^2 sabit basınç altında 10 saniye bekleme süresiyle basılmıştır.



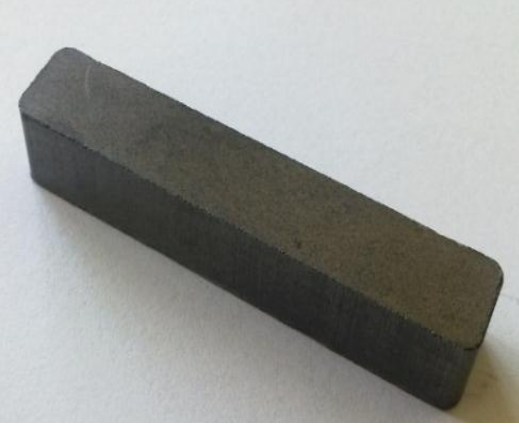
Şekil 3.3 100 tonluk hidrolik pres

Tozları presleme sırasında kalıp yağlayıcı toz grafit kullanılmıştır.

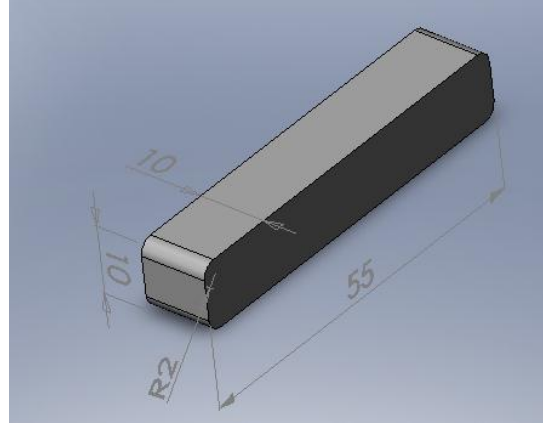


Şekil 3.4 Metal tozunun döküldüğü kalıp

Presleme sonucunda Şekil 3.5'te görülen 10x10x55 mm ebatlarındaki numune oluşturulmuştur. Numunenin teknik resmi Şekil 3.6'da görülmektedir.



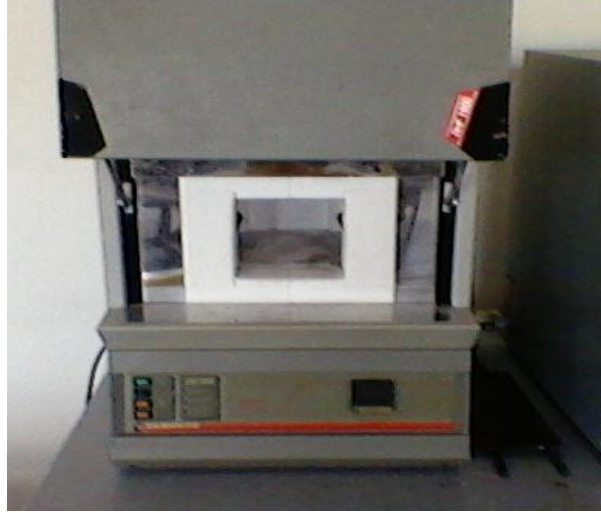
Şekil 3.5 Preste basılan numune



Şekil 3.6 Oluşturulan numunenin teknik resmi

3.2 NUMUNELERİN SİNTERLENMESİ

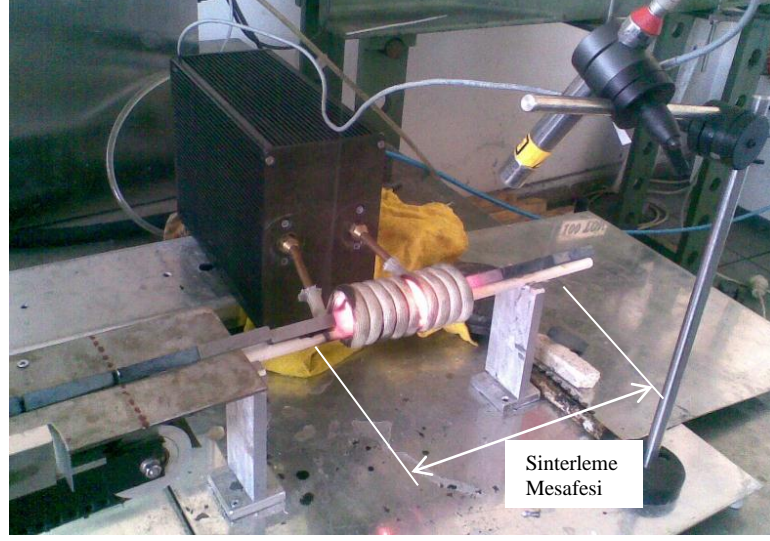
Presle basılan numunelere daha sonra sinterleme işlemi uygulanmıştır. Numunelerin bir kısmı, indüksiyonla sinterlemeyle karşılaştırılmak amacıyla elektrik direnç fırınında atmosfer ortamında 1120°C'de 30 dakika sinterlenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Oluşturulan numunenin sinterlendiği fırın

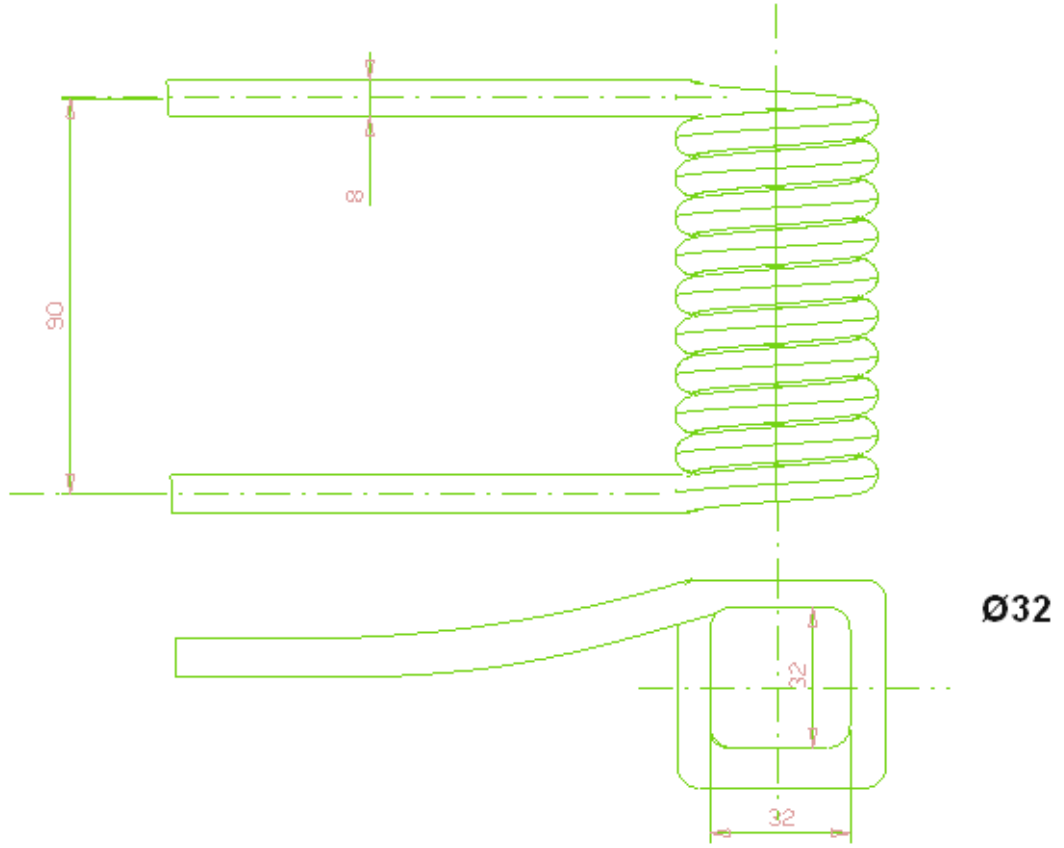
Fırında sinterlenen numunenin yüzeyinde tufallanma oluşmuştur. Bu numunelere yapılan üç nokta eğme deneyinde maksimum gerilme değerlerinin ortalamasının 469.51 N/mm² olduğu gözlenmiştir.

Diğer numuneler Şekil 3.9'da görülen düşük frekanslı indüksiyon sisteminde atmosfer ve koruyucu gaz ortamında 1120°C sıcaklıkta farklı sürelerde sinterlenmiştir.



Şekil 3.8 İndüksiyonla sinterleme düzeneği

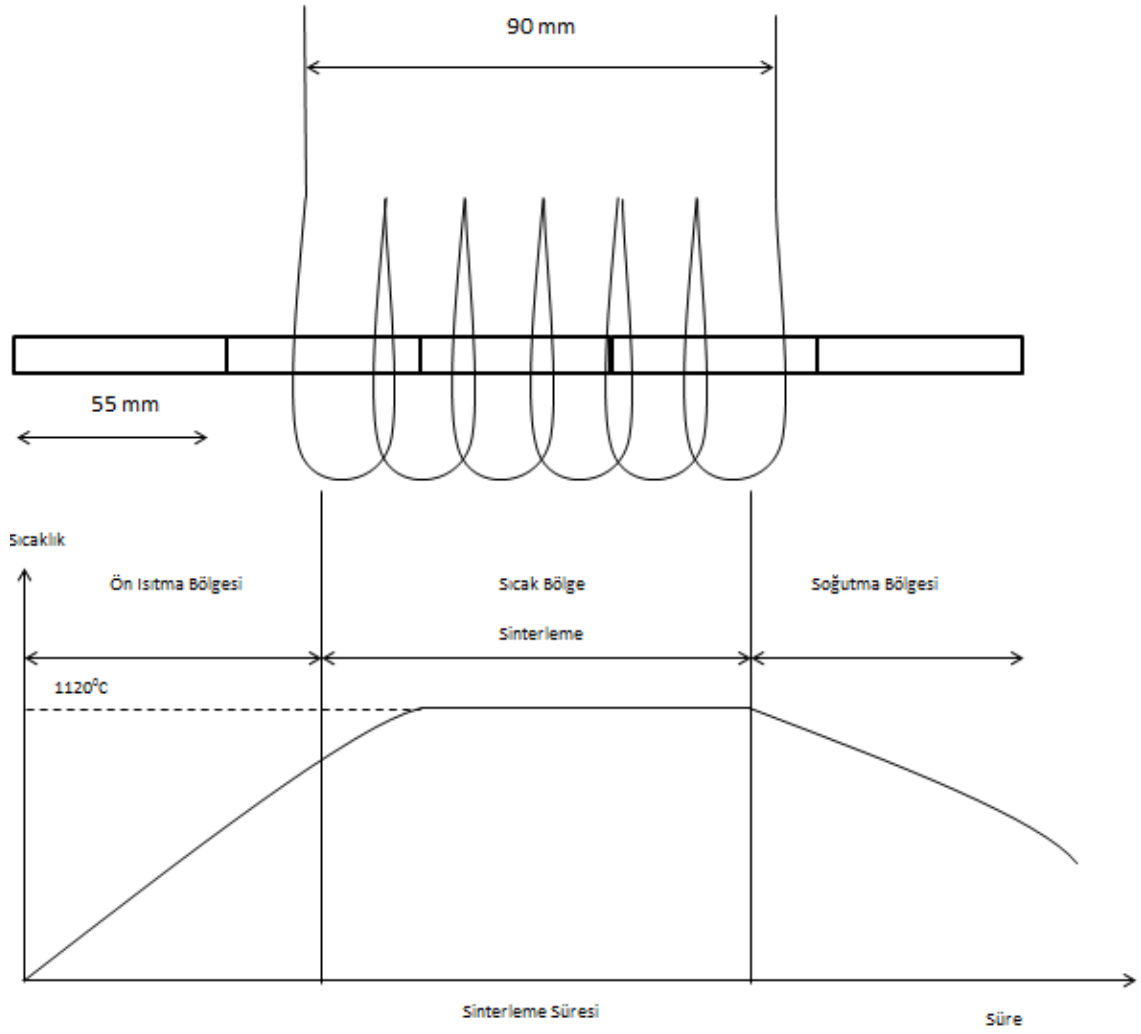
İndüksiyonla sinterleme işleminde kullanılan indüksiyon bobininin ölçüleri Şekil 3.9'da, fotoğrafı Şekil 3.10'da verilmiştir. İndüksiyonla sinterleme düzeneğinde numunelerin bobin içerisindeki konumları, sinterleme süresi ve sinterleme aşamaları Şekil 3.11'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.9 Bakır indüksiyon bobininin teknik resmi



Şekil 3.10 Bakır indüksiyon bobini



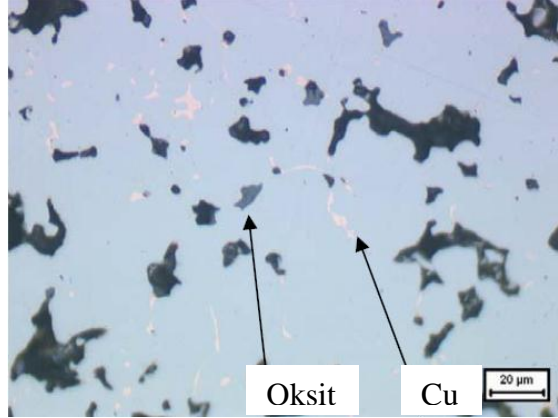
Şekil 3.11 İndüksiyonla sinterleme düzeneğinde numunelerin bobin içerisindeki konumları, sinterleme süresi ve sinterleme aşamaları

İndüksiyonla sinterlenerek elde edilen numuneler Şekil 3.12'de görülmektedir.



Şekil 3.12 İndüksiyon cihazında atmosfer ortamında sinterlenen numuneler

İndüksiyon cihazında atmosfer ortamında 8,33 dakika (500 s) sinterlenen numuneler hem laboratuvarımızda, hem de Högenas firmasında incelenmiştir. Bu incelemeler sonunda numunelerin iç kısımlarında oksitler ve yüzeyinde dekarbürizasyon tespit edilmiştir (Şekil 3.13, Şekil 3.14). Ayrıca 8,33 dakika sinterleme süresinde, ergiyen bakırın demir taneleri içine difüze olmadığı görülmüştür (Şekil 3.13).



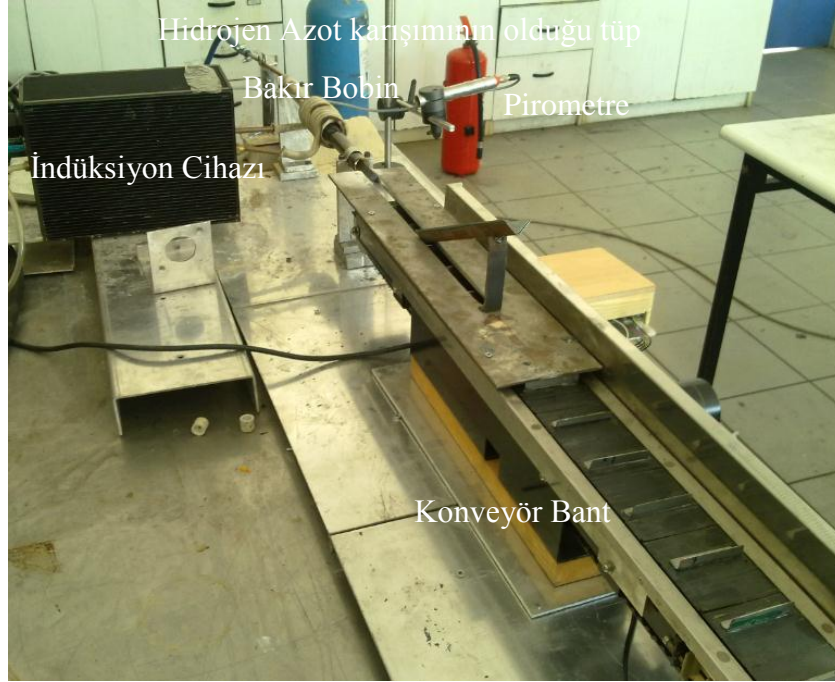
Şekil 3.13 Numune merkezindeki oksitler ve serbest bakırlar



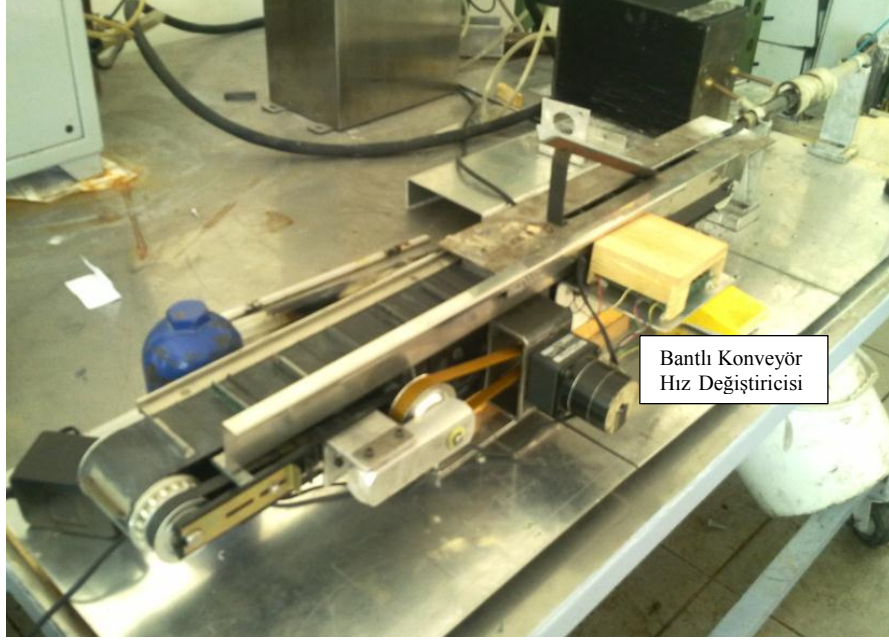
Şekil 3.14 Numune yüzeyindeki dekarbürize olmuş tabaka

Bu olumsuzlukları gidermek için indüksiyonla sinterleme işlemi koruyucu gaz ortamında ve daha uzun sürelerde yapılmıştır.

Numuneler, Şekil 3.15 ve 3.16'da görülen bantlı konveyörün hızı değiştirilerek üç farklı hız kademesinde sinterleme süresi 8,33 (500 s); 15 (900 s); 30 (1800 s) dakika olacak şekilde farklı hızlarda 1120° sıcaklıkta, %10H₂+%90N₂ koruyucu gaz ortamında sabit ilerleme hızıyla sinterlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı, Şekil 3.17'de görülen lazerli pirometre ile ölçülüp cihaz tarafından ayarlanmaktadır.



Şekil 3.15 Konveyör Bantlı Sinterleme Düzeneği



Şekil 3.16 Konveyör Bantlı Sinterleme Düzeneği



Şekil 3.17 Numune üzerindeki sıcaklığı ölçen lazerli pirometre

Toz metal numuneleri atmosferin olumsuz etkilerinden korumak amacıyla numuneler Şekil 3.18'de görülen camın içerisinde geçirilmiştir ve camın içerisine gaz karışımı bakır boru ile sevk edilmiştir. Burada bakır borunun kullanılmasının sebebi, bakırın öz direncinin düşük olması ve indüksiyon akımından etkilenmemesidir.

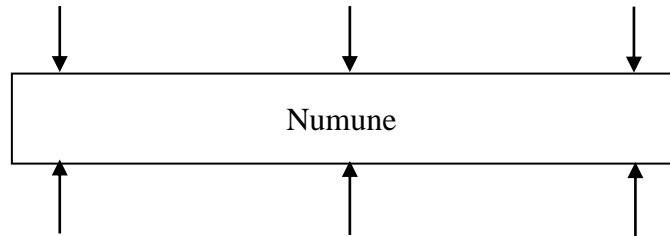


Şekil 3.18 İndüksiyon Bobini ve Cam boru

3.3 NUMUNELERE UYGULANAN DENEYLER

Farklı sinterleme sürelerinin etkilerini belirlemek ve mikro yapı farklılıklarını incelemek amacıyla numunelere aşağıdaki deneyler uygulanmıştır.

Numunelerin ağırlık ve hacimleri sinterleme öncesi ve sonrasında ölçülmüştür. Ağırlık ölçümü hassas terazide yapılmıştır. numunenin iki yüzeyinin köşelerinden ve ortasından olmak üzere 3'er farklı noktasından boyut ölçümü mikrometre ile yapılmıştır. Ölçüm yapılan noktalar Şekil 3.19'da görülmektedir. Sonuçların ortalaması alınarak yüzde hacim değişimi incelenmiştir.



Şekil 3.19 Ölçüm yapılan noktalar

Numunelere sinterleme öncesi ve sonrası Şekil 3.20'de gösterilen yüzey pürüzlülüğü Mitutoyo SJ-301 marka cihazla belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü numunenin basma yüzeylerinin üç farklı noktasından ölçülmüştür.

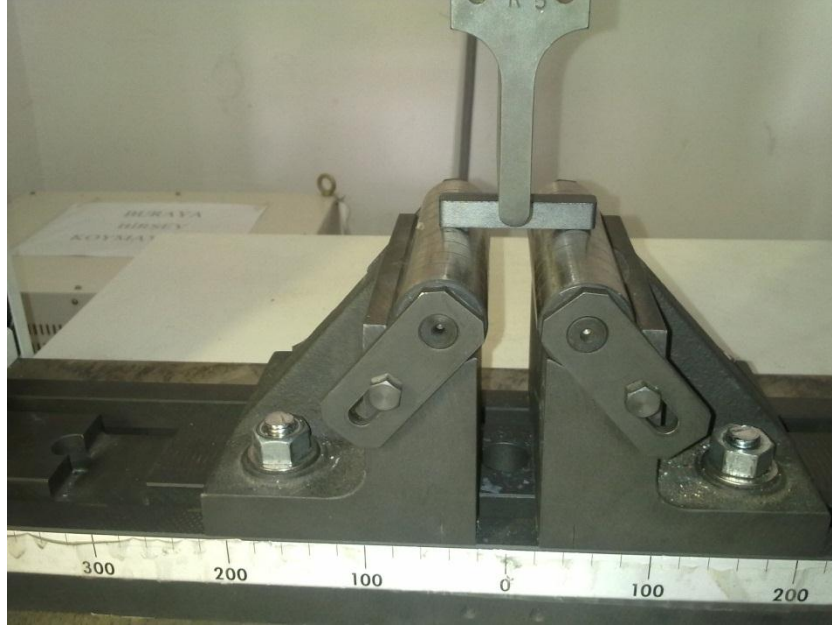


Şekil 3.20 Yüzey Pürüzlülüğü Cihazı

Sinterlenen numunelere Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de görülen çekme deneyi cihazında 3 nokta eğme deneyi yapılmıştır.

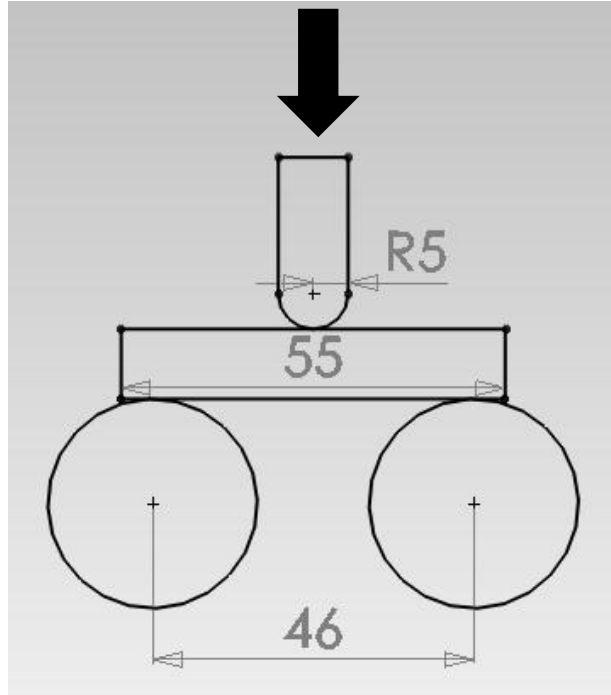


Şekil 3.21 Çekme deneyi cihazı



Şekil 3.22 Üç nokta eğme deneyi

3 nokta eğme deneyi ile numunelerin gerime ve şekil değıştirme değeri ölçülmüştür. Şekil 3.23'te numuneye uygulanan 3 nokta eğme deneyinin şematik resmi görülmektedir



Şekil 3.23 Üç nokta eğme deneyinin şematik gösterimi

Şekil 3.24'te üç nokta eğme deneyi sonucu kırılan bir numune görülmektedir.



Şekil 3.24 Üç noktadan eğme deneyi ile kırılan numune

3 nokta eğme deneyi ile kırılan numuneler sertlik ve mikroyapısının incelenmesi amacıyla Şekil 3.26'da görüldüğü gibi kesilmiştir.



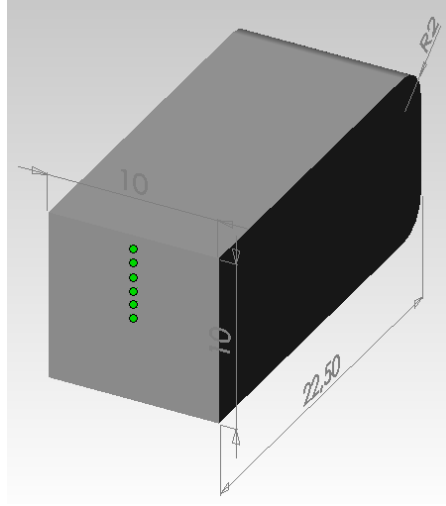
Şekil 3.25 Kesilen numune

Kesilen numune Şekil 3.26'da görülen parlatma cihazında sırası ile 220, 400, 600, 800, 1000 numaralı zımparalarla zımparalanmış ve alümina pasta kullanılarak parlatılmıştır.



Şekil 3.26 Parlatma cihazı

Parlatılan numunelerin sertlikleri kesilen yüzeyinden Şekil 3.27'de gösterilen noktalardan 50 gram yük uygulanarak Vickers sertlik cihazında ölçülmüştür.



Şekil 3.27 Numunede sertlik ölçümü yapılan noktalar

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 SİNERLEME SIRASINDA OLUŞAN AĞIRLIK VE HACİM FARKI ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI:

4.1.1 Ağırlık Farkı Ölçümü Sonuçları

Numunelerin preslenmeden sonra ve sinterleme işlemi sonrasında ağırlığı ölçülüp ağırlık değişimi incelenmiştir. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.1-4.3'te yer almaktadır.

Çizelge 4.1 İndüksiyonla 8,33 dakika sinterlenen numunelerin ağırlık farkı ölçüm sonuçları

Numune No	Sinterleme Öncesi Ağırlık	Sinterleme Sonrası Ağırlık	Ağırlığın % Değişimi
1	37,25	37,09	-0,42
2	37,21	37,00	-0,56
3	37,34	37,12	-0,58
4	37,32	37,13	-0,51
5	37,39	37,21	-0,48
6	37,27	37,07	-0,54
7	37,25	37,07	-0,50
8	37,30	37,11	-0,51
ORT			-0,51

Çizelge 4.2 İndüksiyonla 15 dakika sinterlenen numunelerin ağırlık farkı ölçüm sonuçları

Numune No	Sinterleme Öncesi Ağırlık	Sinterleme Sonrası Ağırlık	Ağırlığın % Değişimi
1	37,37	37,33	-0,11
2	37,35	37,19	-0,44
3	37,30	37,09	-0,57
4	37,38	37,13	-0,68
5	37,31	36,99	-0,86
6	37,22	36,87	-0,93
7	37,28	36,91	-0,99
8	37,33	36,95	-1,03
ORT			-0,70

Çizelge 4.3 İndüksiyonla 30 dakika sinterlenen numunelerin ağırlık farkı ölçüm sonuçları

Numune No	Sinterleme Öncesi Ağırlık	Sinterleme Sonrası Ağırlık	Ağırlığın % Değişimi
1	37,04	36,96	-0,23
2	37,31	37,14	-0,46
3	37,4	37,09	-0,81
4	37,69	37,32	-0,99
5	37,45	37,07	-1,01
6	37,31	36,93	-1,02
7	36,92	36,54	-1,05
8	37,51	37,1	-1,09
ORT			-0,83

4.1.2 Hacim Farkı Ölçümü Sonuçları

Numunelerin preslenmesinden sonra ve numunelere uygulanan sinterleme işlemi sonrasında boyutları mikrometre ile ölçülüp hacim değişimi incelenmiştir. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.4-4.6'da yer almaktadır.

Çizelge 4.4 İndüksiyonla 8.33 dakika sinterlenen numunelerin hacim farkı ölçüm sonuçları

Numune no.		1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	ORT 1	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	ORT 2	uzunluk	hacim	% DĞŞM
1	SÖB	9,86	9,72	9,61	9,73	10,11	10,18	10,14	10,14	55,20	5447,05	
	SSB	9,76	9,92	9,99	9,89	10,24	10,26	10,24	10,25	55,25	5598,81	2,79
2	SÖB	9,79	9,71	9,59	9,70	10,12	10,14	10,13	10,13	55,20	5424,49	
	SSB	9,70	9,82	9,88	9,80	10,24	10,22	10,20	10,22	55,25	5531,79	1,98
3	SÖB	9,73	9,80	9,81	9,78	10,13	10,14	10,12	10,13	55,10	5457,34	
	SSB	9,91	9,92	9,87	9,90	10,22	10,24	10,22	10,23	55,30	5599,90	2,61
4	SÖB	9,66	9,71	9,70	9,69	10,13	10,15	10,13	10,14	55,30	5431,23	
	SSB	9,84	9,84	9,75	9,81	10,22	10,25	10,25	10,24	55,30	5554,07	2,26
5	SÖB	9,78	9,84	9,62	9,75	10,15	10,14	10,12	10,14	55,15	5448,40	
	SSB	9,77	9,84	9,89	9,84	10,24	10,25	10,23	10,24	55,40	5580,11	2,42
6	SÖB	9,69	9,69	9,60	9,66	10,13	10,15	10,12	10,13	55,15	5397,45	
	SSB	9,83	9,81	9,73	9,79	10,22	10,26	10,25	10,24	55,30	5545,60	2,74
7	SÖB	9,62	9,68	9,71	9,67	10,13	10,14	10,13	10,13	55,15	5401,22	
	SSB	9,74	9,82	9,85	9,80	10,25	10,25	10,22	10,24	55,30	5550,08	2,76
8	SÖB	9,97	9,95	9,86	9,92	10,13	10,13	10,12	10,13	55,20	5547,62	
	SSB	9,99	10,05	10,07	10,03	10,23	10,23	10,14	10,20	55,40	5670,57	2,22
											ORT %	2,47

Çizelge 4.5 İndüksiyonla 15 dakika sinterlenen numunelerin hacim farkı ölçüm sonuçları

Numune no.		1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	ORT 1	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	ORT 2	uzunluk	hacim	% DĞŞM
9	SÖB	9,76	9,70	9,60	9,69	10,12	10,15	10,13	10,13	55,20	5417,43	
	SSB	9,81	9,87	9,89	9,85	10,39	10,38	10,39	10,39	55,70	5699,98	5,22
10	SÖB	9,64	9,70	9,72	9,68	10,12	10,14	10,12	10,13	55,25	5419,62	
	SSB	9,79	9,87	9,89	9,85	10,25	10,27	10,23	10,25	55,60	5612,40	3,56
11	SÖB	9,57	9,65	9,68	9,63	10,14	10,15	10,12	10,14	55,25	5394,97	
	SSB	9,69	9,77	9,76	9,74	10,23	10,39	10,22	10,28	55,40	5546,91	2,82
12	SÖB	9,69	9,71	9,74	9,71	10,13	10,14	10,12	10,13	55,15	5427,45	
	SSB	9,83	9,90	9,70	9,81	10,21	10,25	10,23	10,23	55,25	5546,33	2,19
13	SÖB	9,62	9,73	9,81	9,72	10,13	10,15	10,12	10,13	55,20	5435,53	
	SSB	9,81	9,75	9,65	9,74	10,18	10,21	10,18	10,19	55,20	5476,25	0,75
14	SÖB	9,55	9,61	9,61	9,59	10,13	10,15	10,13	10,14	55,15	5361,37	
	SSB	9,58	9,63	9,61	9,61	10,17	10,21	10,17	10,18	55,20	5400,46	0,73
15	SÖB	9,76	9,72	9,57	9,69	10,11	10,14	10,13	10,13	55,15	5409,47	
	SSB	9,78	9,70	9,56	9,68	10,15	10,19	10,18	10,17	55,20	5434,00	0,45
16	SÖB	9,69	9,74	9,71	9,72	10,12	10,14	10,12	10,12	55,15	5424,45	
	SSB	9,71	9,75	9,72	9,73	10,15	10,18	10,18	10,17	55,30	5469,01	0,82
											ORT %	2,07

Çizelge 4.6 İndüksiyonla 30 dakika sinterlenen numunelerin hacim farkı ölçüm sonuçları

Numune no.		1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	ORT 1	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	ORT 2	uzunluk	hacim	% DĞŞM
17	SÖB	9,66	9,74	9,60	9,66	10,13	10,14	10,13	10,13	55,10	5394,81	
	SSB	9,84	9,97	9,97	9,93	10,37	10,38	10,34	10,36	55,55	5712,19	5,88
18	SÖB	9,64	9,69	9,69	9,67	10,13	10,14	10,12	10,13	55,10	5398,95	
	SSB	9,88	9,96	9,85	9,90	10,29	10,30	10,28	10,29	55,70	5673,46	5,08
19	SÖB	9,69	9,73	9,71	9,71	10,12	10,14	10,12	10,13	55,30	5437,64	
	SSB	9,82	9,85	9,81	9,83	10,25	10,27	10,22	10,25	55,40	5578,26	2,59
20	SÖB	9,81	9,78	9,68	9,76	10,12	10,15	10,13	10,13	55,30	5467,00	
	SSB	9,73	9,82	9,86	9,80	10,21	10,21	10,17	10,20	55,30	5528,78	1,13
21	SÖB	9,69	9,70	9,66	9,68	10,12	10,15	10,13	10,13	55,20	5415,76	
	SSB	9,72	9,74	9,66	9,71	10,17	10,21	10,20	10,19	55,30	5472,28	1,04
22	SÖB	9,60	9,62	9,57	9,59	10,13	10,15	10,12	10,13	55,20	5366,48	
	SSB	9,62	9,63	9,59	9,61	10,19	10,22	10,20	10,20	55,30	5421,91	1,03
23	SÖB	9,60	9,59	9,53	9,57	10,11	10,14	10,13	10,13	55,25	5356,11	
	SSB	9,56	9,67	9,65	9,62	10,21	10,23	10,18	10,21	55,60	5461,17	1,96
24	SÖB	9,71	9,80	9,86	9,79	10,13	10,13	10,11	10,13	55,30	5481,17	
	SSB	9,86	9,84	9,79	9,83	10,19	10,20	10,17	10,19	55,50	5556,39	1,37
											ORT %	2,51

Tablolarda;

SÖB: Sinterleme öncesi boyutu,

SSB: Sinterleme sonrası boyutu,

%DĞŞM: Sinterleme sonrası numune hacminde meydana gelen değişimin yüzde olarak miktarını belirtmektedir.

4.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Sonuçları

Numunelerin sinterleme öncesi ve sonrasındaki yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 4.7-4.9'da görülmektedir.

Çizelge 4.7 İndüksiyonla 8,33 dakika sürede sinterlenen numunelerin sinterlemeden önce ve sonraki yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

Sinterleme Öncesi			Sinterleme Sonrası		
Num No	R _a (µm)	R _z (µm)	Num No	R _a (µm)	R _z (µm)
1	0,68	10	1	3,25	24,13
	0,68	7,85		2,35	23,99
	0,72	7,67		4,71	25,72
ORT:	0,69	8,51	ORT:	3,44	24,61
2	0,57	5,35	2	3,86	28,12
	0,75	9,4		2,59	18,08
	0,51	8,16		3,82	23,27
ORT:	0,61	7,64	ORT:	3,42	23,16
3	0,53	7,8	3	2,23	20,87
	0,72	9		2,89	17,94
	0,87	9,54		2,56	20,53
ORT:	0,71	8,78	ORT:	2,56	19,78
4	0,83	12,78	4	3	23,3
	1,01	12,4		2,38	19,77
	0,66	11,02		3,71	26,13
ORT:	0,83	12,07	ORT:	3,03	23,07
5	0,96	10,58	5	3,07	20,41
	0,75	14,13		4,37	25,47
	0,7	9,56		3,7	25,66
ORT:	0,80	11,42	ORT:	3,71	23,85
6	0,62	7,17	6	3,26	23,14
	0,51	4,67		3,25	18,83
	0,52	5,33		2,25	17,71
ORT:	0,55	5,72	ORT:	2,92	19,89
7	0,73	6,54	7	2,94	28,04
	0,63	10,01		3,62	22,8
	0,82	10,94		2,13	14,39
ORT:	0,73	9,16	ORT:	2,90	21,74
8	0,65	7,37	8	2,47	23,71
	0,71	9,66		2,3	16,86
	0,61	12		1,15	11,85
ORT:	0,66	9,68	ORT:	1,97	17,47

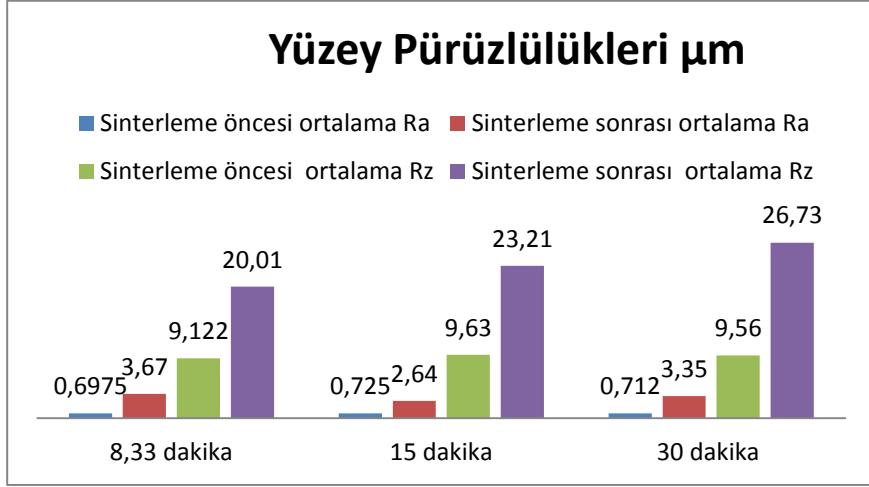
Çizelge 4.8 İndüksiyonla 15 dakika sürede sinterlenen numunelerin sinterlemeden önce ve sonraki yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

Sinterleme Öncesi			Sinterleme Sonrası		
Num No	Ra(μm)	Rz(μm)	Num No	Ra(μm)	Rz(μm)
9	0,82	13,79	9	3,44	23,38
	0,66	10,49		3,87	23,51
	0,75	8,8		3,23	21,04
ORT:	0,74	11,02	ORT:	3,51	22,64
10	0,68	10	10	2,09	12,73
	0,68	7,85		2,86	25,85
	0,72	7,67		3,23	30,32
ORT:	0,69	8,51	ORT:	2,73	22,97
11	0,65	9,3	11	2,9	19,16
	0,47	5,95		1,81	14,44
	0,88	8,7		4,92	36,85
ORT:	0,67	7,98	ORT:	3,21	23,48
12	0,77	13,26	12	3,31	26,95
	0,59	6,77		3,79	30,24
	0,88	10,09		3,46	28,35
ORT:	0,75	10,04	ORT:	3,52	28,51
13	0,86	14,08	13	2,22	28,89
	0,77	8,97		1,99	19,16
	0,68	8,43		1,87	18,83
ORT:	0,77	10,49	ORT:	2,03	22,29
14	0,62	5,42	14	2,27	29,13
	0,67	8,88		2,16	19,86
	0,88	9,96		2,09	16,65
ORT:	0,72	8,09	ORT:	2,17	21,88
15	0,96	12,83	15	2,55	29,79
	0,71	8,39		1,55	21,08
	0,74	8,3		2,38	24,22
ORT:	0,80	9,84	ORT:	2,16	25,03
16	0,54	7,42	16	1,32	14,48
	0,83	14,65		2,84	29,08
	0,59	11,12		1,22	13,21
ORT:	0,65	11,06	ORT:	1,79	18,92

Çizelge 4.9 İndüksiyonla 30 dakika sürede sinterlenen numunelerin sinterlemeden önce ve sonraki yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

Sinterleme Öncesi			Sinterleme Sonrası		
Num No	Ra(μm)	Rz(μm)	Num No	Ra(μm)	Rz(μm)
17	0,75	13,58	17	6,26	48,57
	0,85	13,46		2,83	18,61
	1,13	16,23		6,9	36,65
ORT:	0,91	14,42	ORT:	5,33	34,61
18	0,73	8,45	18	2,83	26,31
	0,82	10,85		4,88	48,07
	0,52	6,96		5,29	41,87
ORT:	0,69	8,75	ORT:	4,33	38,75
19	0,61	8,93	19	5,56	40,59
	0,76	14,1		5,24	35,45
	0,83	10,33		2,79	25,98
ORT:	0,73	11,12	ORT:	4,53	34,00
20	0,53	6,74	20	2,09	16,18
	0,51	8,49		1,71	17,37
	0,76	9,99		1,73	16,01
ORT:	0,6	8,41	ORT:	1,84	16,52
21	0,74	13,11	21	1,28	8,94
	0,83	8,59		1,52	17,37
	0,6	9,43		1,81	16,01
ORT:	0,72	10,38	ORT:	1,54	14,11
22	0,58	6,32	22	1,94	21,85
	0,57	8,05		1,46	21,65
	0,6	6,64		2,61	19,67
ORT:	0,58	7,00	ORT:	2,00	21,06
23	0,57	7,14	23	3,55	28,74
	0,99	10,61		5,21	36,54
	0,49	5,06		6,27	36,79
ORT:	0,68	7,60	ORT:	5,01	34,02
24	0,85	9,98	24	1,12	15,55
	0,78	9,57		2,68	26,88
	0,53	7		1,86	19,97
ORT:	0,72	8,85	ORT:	1,89	20,80

Sinterlemeden önce ve sonraki yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin indüksiyonla sinterleme süresine göre değişimi

Sinterleme sonrasında yüzey pürüzlülüğünün artış gösterdiği grafiklerde görülmektedir.

4.3 ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ SONUÇLARI

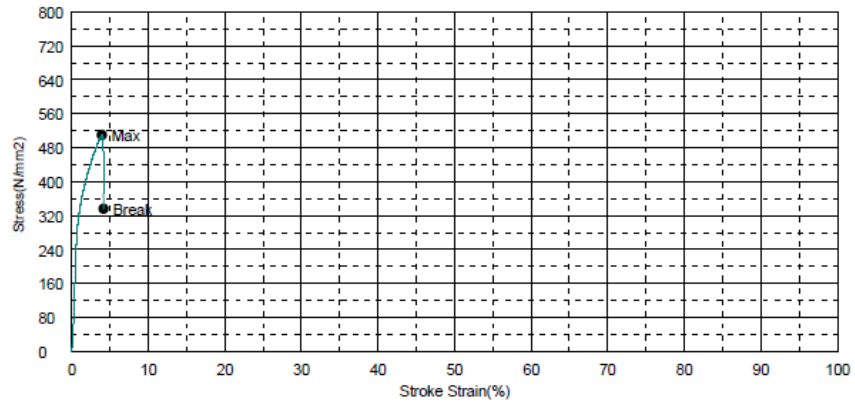
8,33; 15 ve 30 dakika indüksiyonla sinterlenen numunelerin üç nokta eğme deneyinde elde edilen gerilme-uzama grafik örnekleri Şekil 4.2- 4.4'te verilmiştir.

Shape: Plate			
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	10,2170	9,8210	46,0000

Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	LASE1 Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	1 mm
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	6,92188

Name	LASE1 Stress	Elastic	Max Force	Max Disp	Max Stress
Parameter	1 mm	10, 20 kN			
Units	N/mm2	N/mm2	kN	mm	N/mm2
1 - 1	465,876	--	7,58125	1,35700	510,255

Name	Max Strain	Break Force	Break Disp	Break Stress	Break Strain
Units	%	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	3,93132	4,99375	1,43500	336,104	4,15730



Şekil 4.2 İndüksiyonla 8,33 dakika sinterlenen örnek numunenin gerilme-uzama grafiği

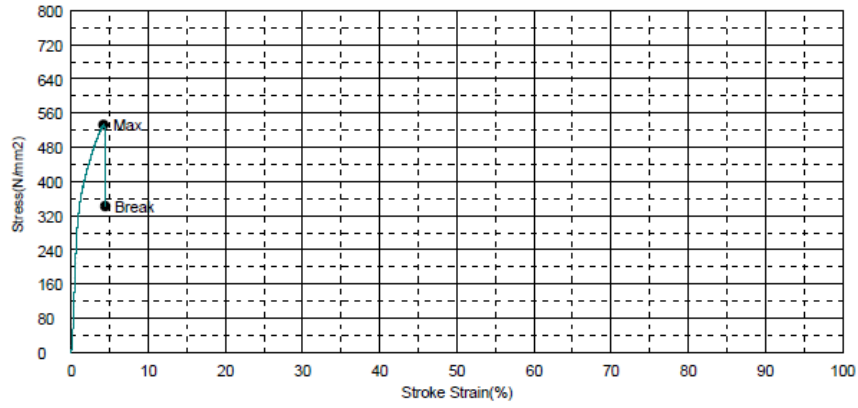
Shape: Plate

	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	10,2100	9,6310	46,0000

Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	LASE1 Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	1 mm
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	6,93750

Name	LASE1 Stress	Elastic	Max Force	Max Disp	Max Stress
Parameter	1 mm	10, 20 kN			
Units	N/mm2	N/mm2	kN	mm	N/mm2
1 - 1	476,792	--	7,75625	1,44900	533,062

Name	Max Strain	Break Force	Break Disp	Break Stress	Break Strain
Units	%	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	4,19498	4,98125	1,52100	342,345	4,40342



Şekil 4.3 İndüksiyonla 15 dakika sinterlenen örnek numunenin gerilme-uzama grafiği

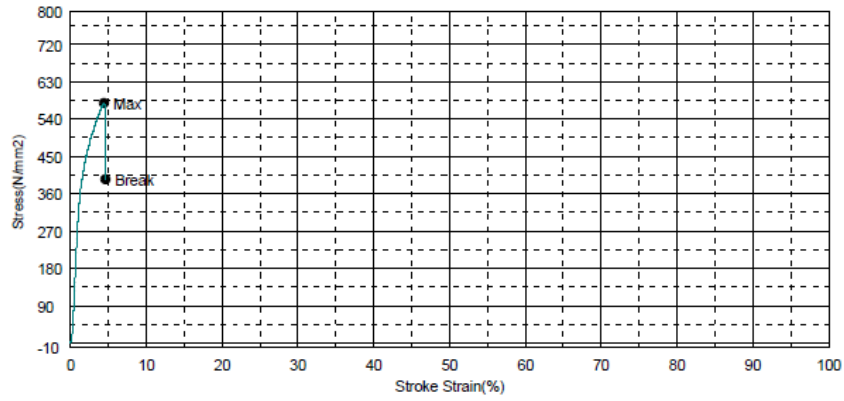
Shape: Plate

	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	10,2700	9,8520	46,0000

Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	LASE1 Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	1 mm
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	7,64063

Name	LASE1 Stress	Elastic	Max Force	Max Disp	Max Stress
Parameter	1 mm	10, 20 kN			
Units	N/mm2	N/mm2	kN	mm	N/mm2
1 - 1	507,356	--	8,72188	1,51400	579,153

Name	Max Strain	Break Force	Break Disp	Break Stress	Break Strain
Units	%	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	4,40892	5,94688	1,58300	394,887	4,60985



Şekil 4.4 İndüksiyonla 30 dakika sinterlenen örnek numunenin gerilme-uzama grafiği

İndüksiyon Cihazında sinterlenen numunelerin 3 Nokta Eğme Deneyi Sonuçları Çizelge 4.10-4.12'de görülmektedir.

Çizelge 4.10 8.33 dakika indüksiyonla sinterlenen numunelerin üç nokta eğme deneyi ölçüm değerlerinin sonuçları

Numune no	Maksimum Gerilme N/mm ²	%Maksimum Uzama
0*	469,51	2,40
1	510,26	3,93
2	510,78	3,79
3	509,75	5,23
4	575,55	3,5
5	524,99	3,6
ORT	526,27	4,01

* Fırında 30 dakika sinterlenen numune

Çizelge 4.11 15 dakika indüksiyonla sinterlenen numunelerin üç noktadan eğme deney ölçüm değerlerinin sonuçları

Numune no	Maksimum Gerilme N/mm ²	%Maksimum Uzama
0*	469,51	2,40
1	562,64	3,37
2	525,41	4,05
3	533,06	4,19
74	533,33	6,17
ORT	538,61	4,44

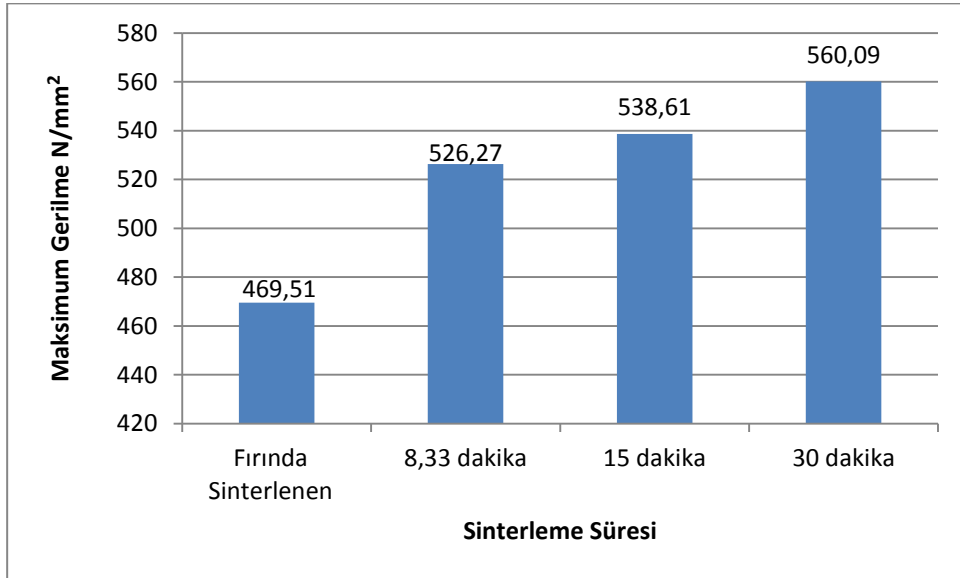
* Fırında 30 dakika sinterlenen numune

Çizelge 4.12 30 dakika indüksiyonla sinterlenen numunelerin üç noktadan eğme deney ölçüm değerlerinin sonuçları

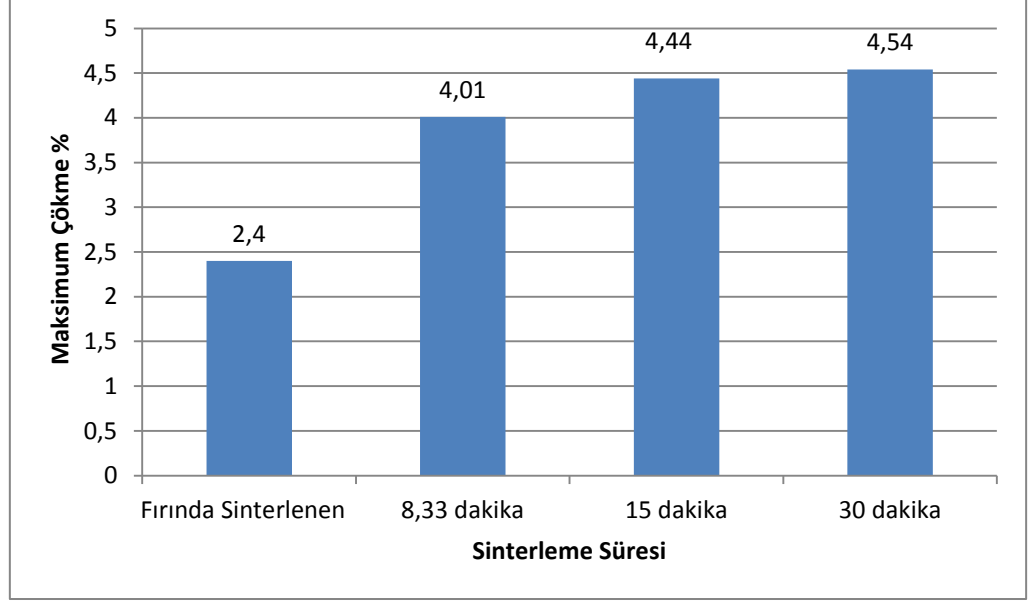
Numune no	Maksimum Gerilme N/mm ²	%Maksimum Uzama
0*	469,51	2,40
1	579,15	4,40
2	570,05	4,66
3	539,43	3,79
4	534,15	4,81
5	577,69	5,04
ORT	560,09	4,54

* Fırında 30 dakika sinterlenen numune

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da fırında ve indüksiyonla sinterlenen toz metal numunelerin üç nokta eğme deney sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.5 Numunelerin maksimum eğme mukavemetleri



Şekil 4.6 Numunelerin maksimum % çökme miktarları

Sonuç olarak elde edilen verilerden, toz metal numunelerin 3 nokta eğme deneyi mukavemetinin sinterleme süresi uzadıkça arttığı görülmektedir. Aynı şekilde toz metal numunelerdeki maksimum çökme miktarı da sinterleme süresi ile artmaktadır.

4.4 SERTLİK ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI

Toz metal numuneler, sinterlenip 3 nokta eğme deneyi ile kırıldıktan sonra sertlik incelemesi için kesilerek ve parlatılmıştır. Numunelerin Vickers sertlik değerleri Çizelge 4.13-4.15'de verilmiştir.

Vickers sertlik ölçümü 50 gram yük altında 10 s bekleme olarak yapılmıştır.

Çizelge 4.13 İndüksiyonla 8,33 dakika sinterlenen numunelerin Vickers sertlik değerleri

Numune Numarası								
Yüzeyden Mesafe	1	2	3	4	5	6	7	8
1,00mm	183,2HV*	120,1 HV*	182,9 HV	230,3 HV	225 HV	237,3 HV	209,4 HV	260 HV
1,50mm	243,7 HV	249,6 HV	274,2 HV	322,2 HV	289,7 HV	251,7 HV	313,6 HV	248,3 HV
2,50mm	216,8 HV	225,1 HV	284,7 HV	323,3 HV	312,5 HV	188,6 HV	254,7 HV	306,6 HV
3,00mm	242,1 HV	160,2 HV	270,9 HV	219,8 HV	290,2 HV	237,5 HV	294,8 HV	161,2 HV*
4,00mm	264,3 HV	173,3 HV	193,4 HV	232,4 HV	290,0 HV	235,8 HV	274,5 HV	253 HV
4,50mm	307,7 HV	248,5 HV	210,7 HV	285 HV	290,2 HV	218,2 HV	284,6 HV	191,5 HV
Ortalama	254,92 HV	211,34 HV*	236,13 HV*	268,83 HV	282,93 HV	228,18 HV*	271,93 HV	251,88 HV

* Sertlik değeri diğer değerlere göre çok farklı olduğundan ortalamaya dahil edilmemiştir.

Çizelge 4.14 İndüksiyonla 15 dakika sinterlenen numunelerin Vickers sertlik değerleri

Numune Numarası								
Yüzeyden Mesafe	9	10	11	12	13	14	15	16
1,00mm	238,8 HV	93,6 HV*	97,5 HV*	102,2 HV*	206,7 HV	201,2 HV	155,4 HV	106,1 HV*
1,50mm	277,3 HV	260,0 HV	255,8 HV	181,5 HV	189,3 HV*	239,0 HV	354 HV	243 HV
2,50mm	220,1 HV	240,0 HV	264,7 HV	233,7 HV	288,3 HV	290,0 HV	338,1 HV	261,6 HV
3,00mm	242,5 HV	271,4 HV	342,6 HV	306,1 HV	217,5 HV	350,7 HV	299,3 HV	256,2 HV
4,00mm	299,7 HV	304,3 HV	336,9 HV	319,1 HV	294 HV	289,4 HV	327,2 HV	308,4 HV
4,50mm	282,9 HV	247,3 HV	296,1 HV	183,8 HV	291,8 HV	332,3 HV	304,3 HV	381,2 HV
Ortalama	260,21 HV	264,6 HV	299,22 HV	221,06 HV*	259,66 HV	283,76 HV	324,58 HV*	290,08 HV

*Sertlik değeri diğer değerlere göre çok farklı olduğundan ortalamaya dahil edilmemiştir.

Çizelge 4.15 İndüksiyonla 30 dakika sinterlenen numunelerin Vickers sertlik değerleri

Numune Numarası								
Yüzeyden Mesafe	17	18	19	20	21	22	23	24
1,00mm	149,2 HV	219,5 HV*	168,5 HV	161,4 HV	199 HV*	252,4 HV	255,9 HV	260,1 HV
1,50mm	99,9 HV	309,3 HV	225,8 HV	296,3 HV	295,3 HV	166,3 HV*	99 HV*	275,8 HV
2,50mm	237 HV	299,7 HV	233,9 HV	173,1 HV	205,1 HV	372,6 HV	222,7 HV	278,2 HV
3,00mm	288,3 HV	284,7 HV	249,4 HV	262,1 HV	193 HV*	210,6 HV	251,3 HV	291,2 HV
4,00mm	187,4 HV	274,8 HV	267,6 HV	228,1 HV	372,4 HV	238,9 HV	264,4 HV	277 HV
4,50mm	199,7 HV	250,3 HV	236,4 HV	168,5 HV	302,9 HV	146,6 HV*	378,6 HV	147,3 HV*
Ortalama	228,19* HV*	283,76 HV	242,62 HV*	225,62* HV*	293,92	261,15 HV	274,58 HV	276,46 HV

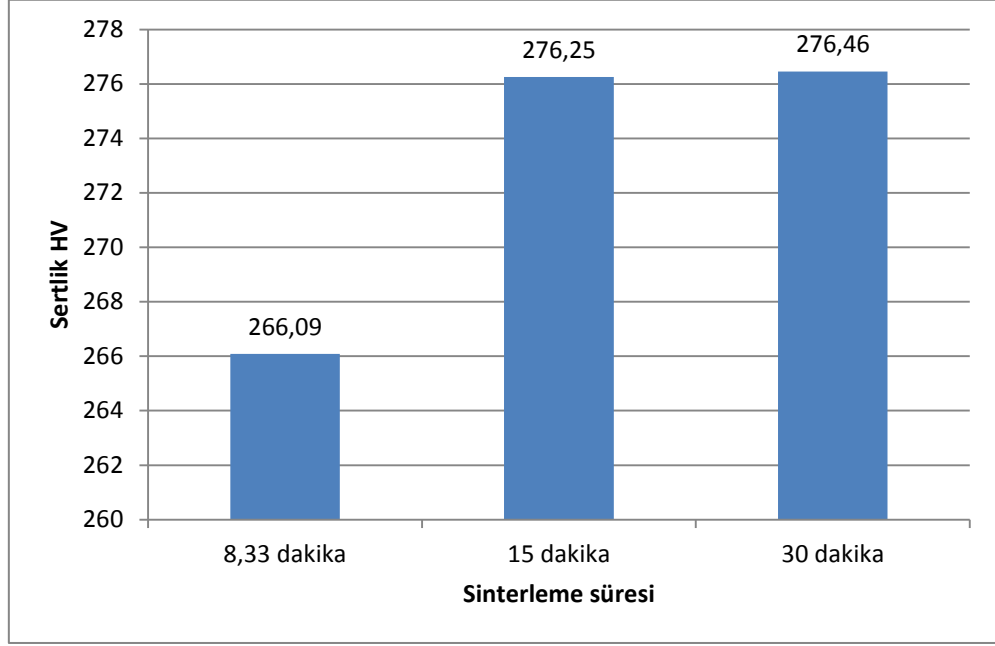
*Sertlik değeri diğer değerlere göre çok farklı olduğundan ortalamaya dahil edilmemiştir.

Elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.16'da gösterilmektedir

Çizelge 4.16 Parçaların sertlik ortalamaları

Sinterleme Süresi	Sertlik Ortalaması (HV)
8.33 dakika	266,09 HV
15 dakika	276,25 HV
30 dakika	276,46 HV

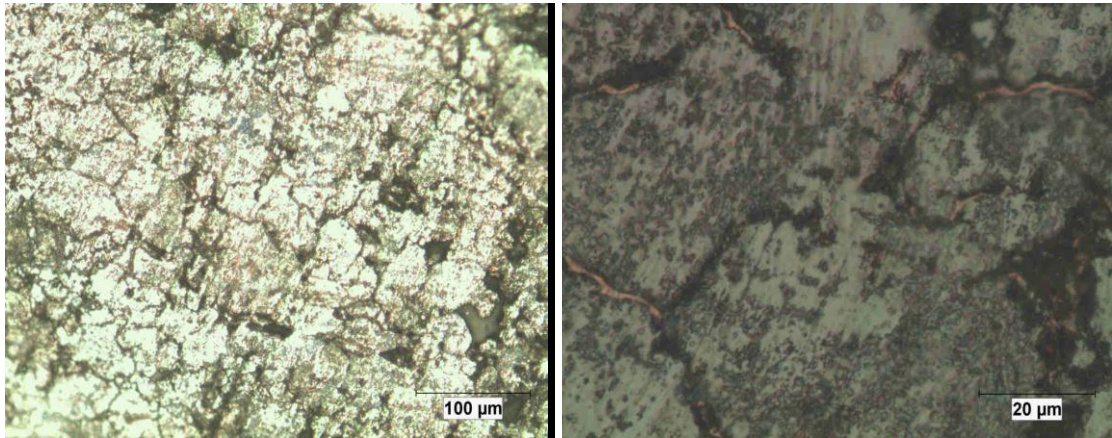
Elde edilen değerlerin grafiksel olarak gösterimi Şekil 4.7'de görülmektedir.



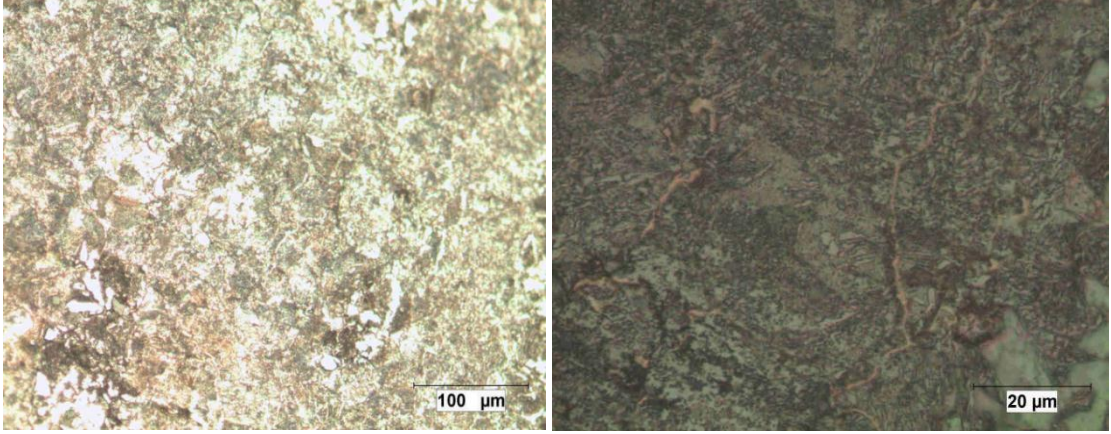
Şekil 4.7 Sertlik ortalamalarının grafiksel olarak gösterimi

4.5 NUMUNELERİN MİKRO YAPI GÖRÜNTÜLERİ

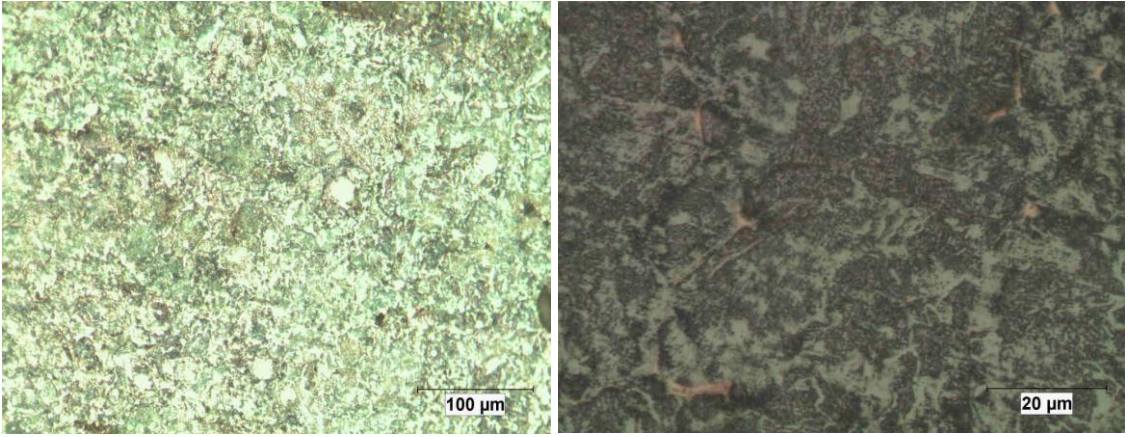
Numuneler zımparalanıp parlatıldıktan ve asitle dağlandıktan sonra 20 ve 100 büyütme ile iç yapı fotoğrafları çekilmiştir. Numunelerin iç yapı fotoğrafları Şekil 4.8-4.23'de görülmektedir.



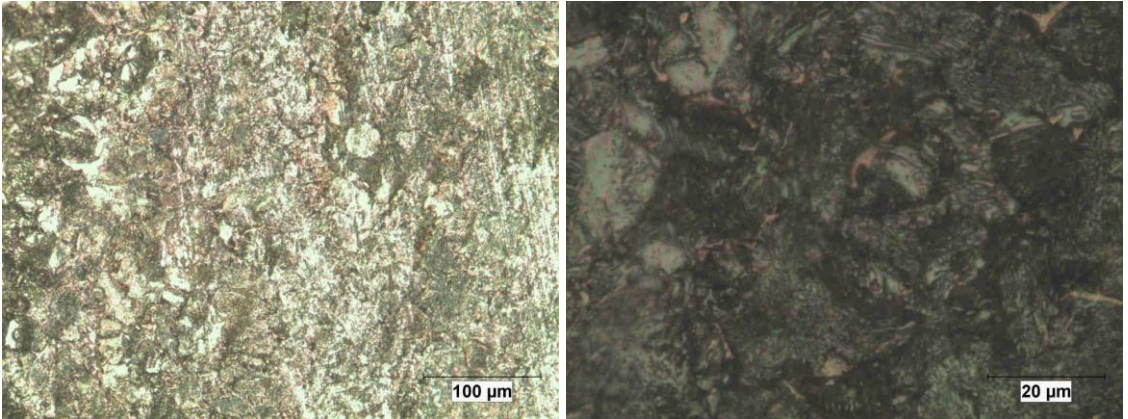
Şekil 4.8 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 1'in mikroyapı görüntüsü



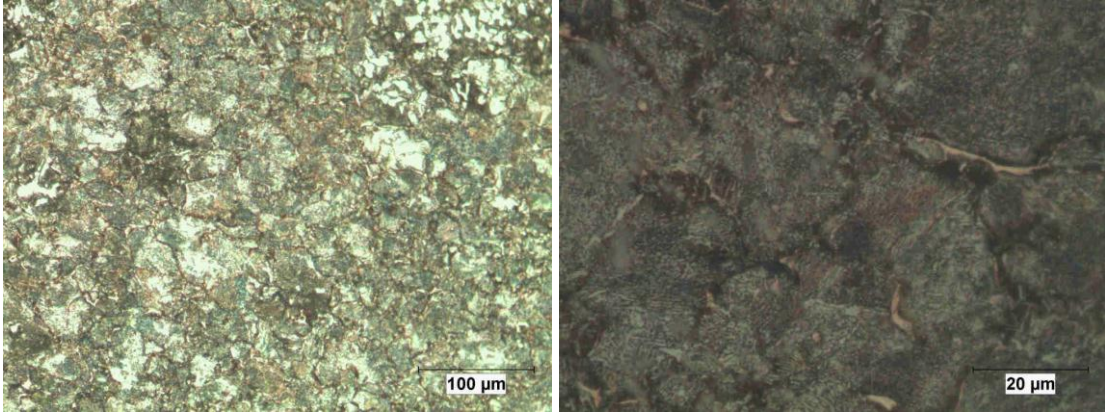
Şekil 4.9 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 2'nin mikroyapı görüntüsü



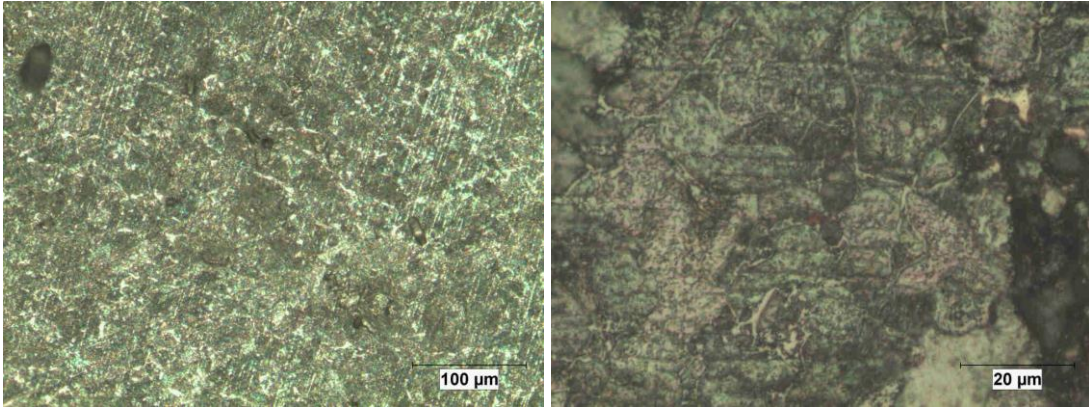
Şekil 4.10 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 3 ün mikroyapı görüntüsü



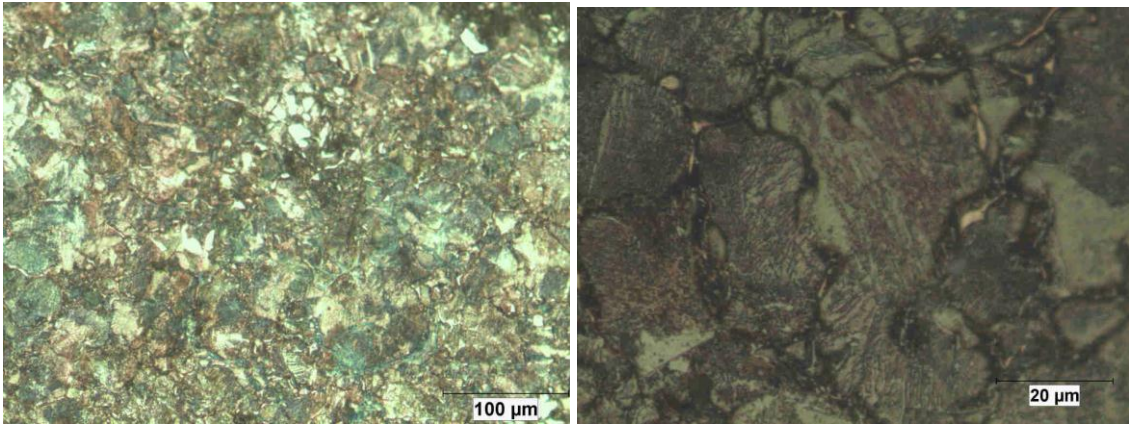
Şekil 4.11 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 4'ün mikroyapı görüntüsü



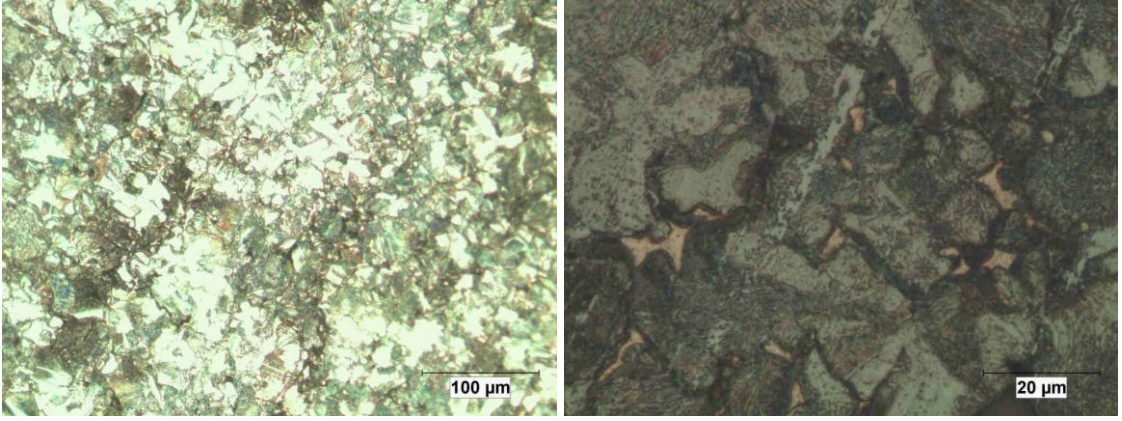
Şekil 4.12 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 5'in mikroyapı görüntüsü



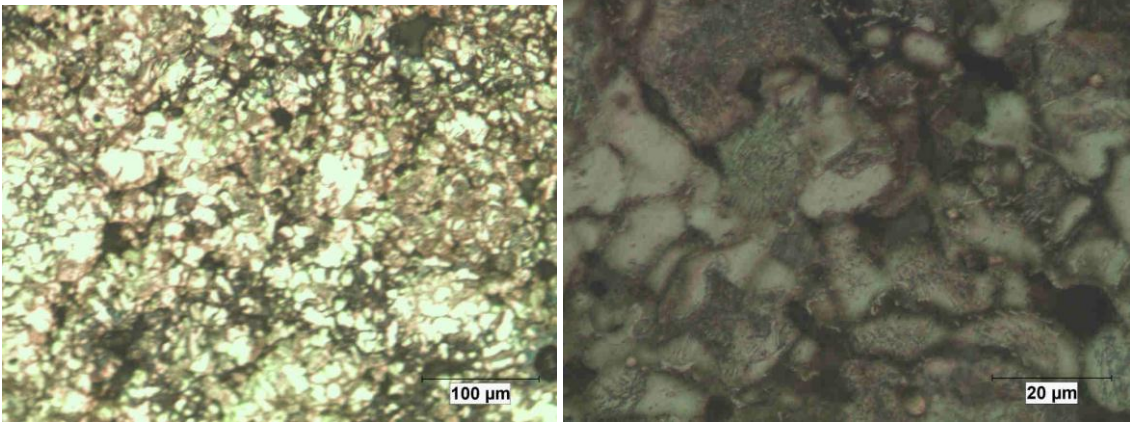
Şekil 4.13 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 6'nın mikroyapı görüntüsü



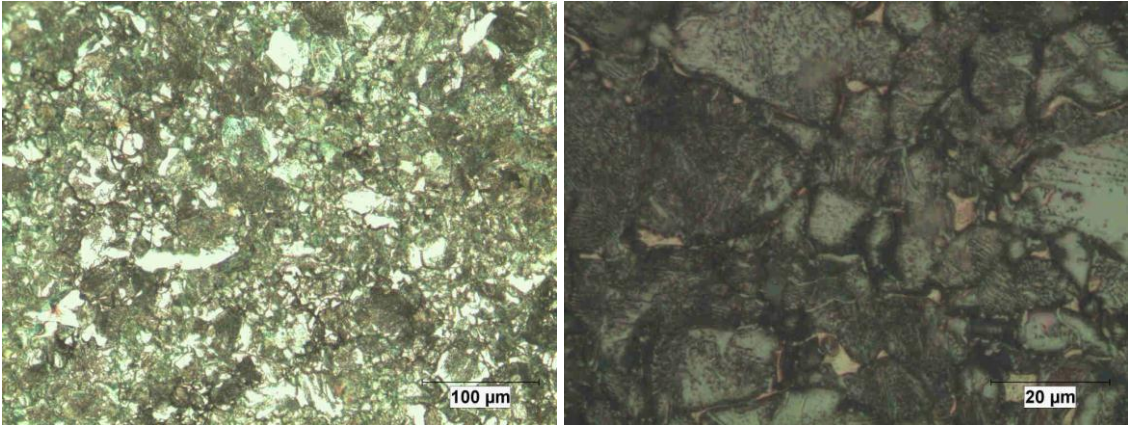
Şekil 4.14 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 7'nin mikroyapı görüntüsü



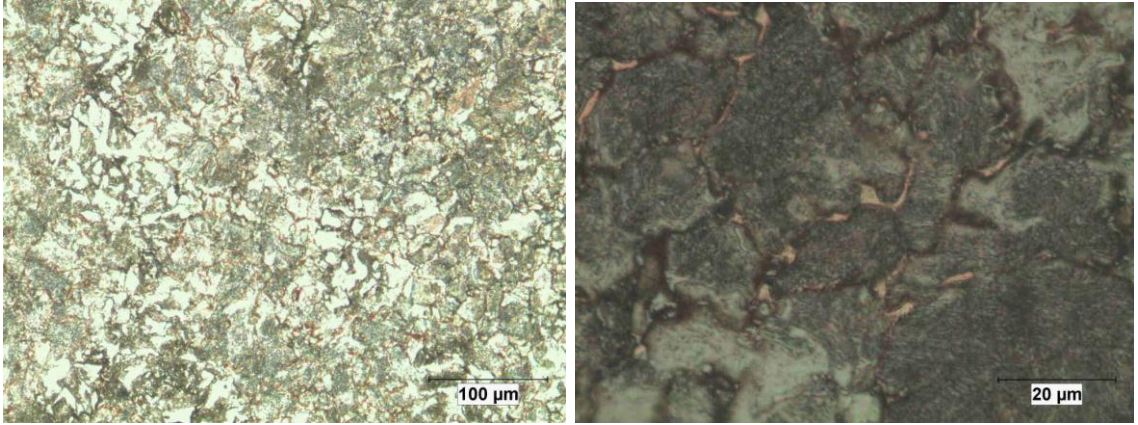
Şekil 4.15 İndüksiyonla 8.33 dakikada sinterlenen numune 8'in mikroyapı görüntüsü



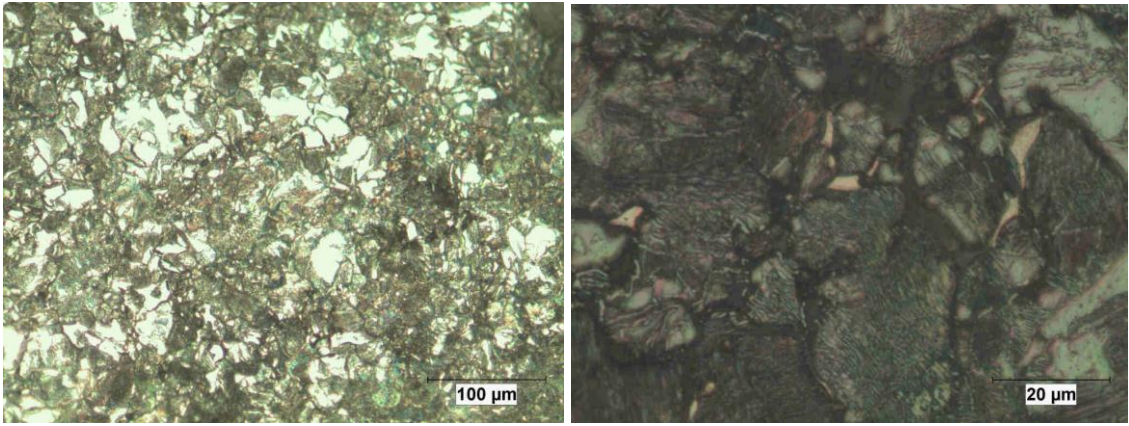
Şekil 4.16 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 9'un mikroyapı görüntüsü



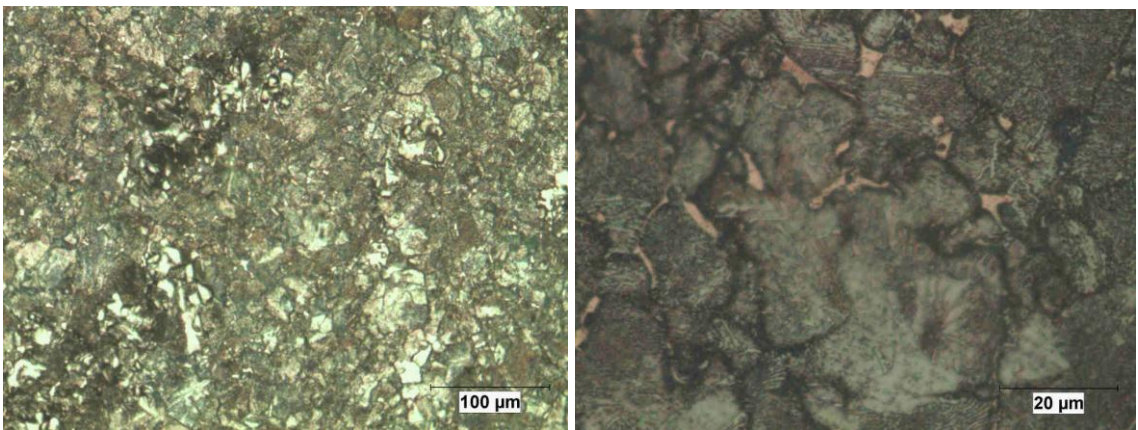
Şekil 4.17 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 10'un mikroyapı görüntüsü



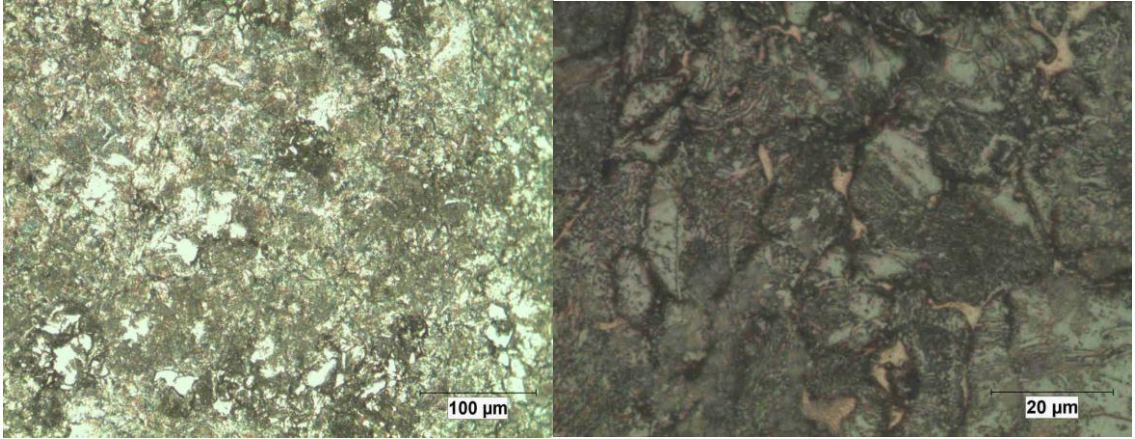
Şekil 4.18 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 11'in mikroyapı görüntüsü



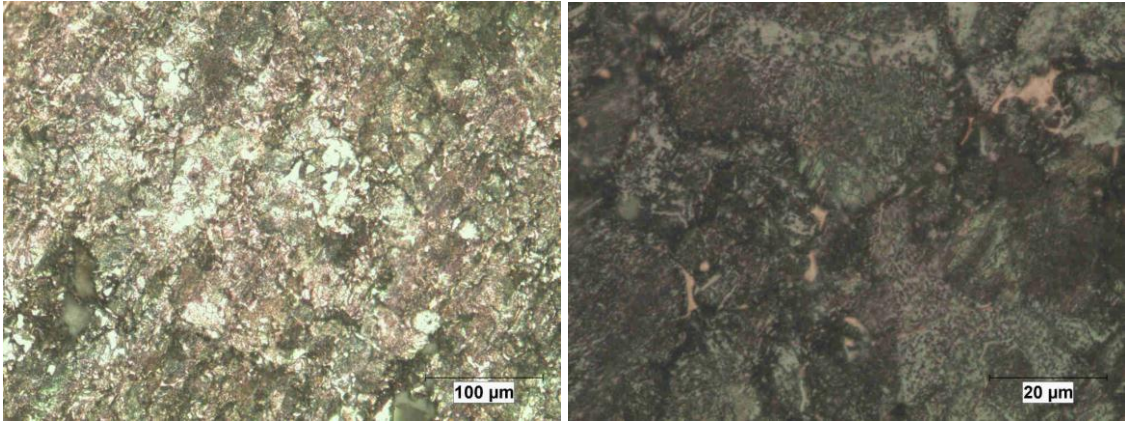
Şekil 4.19 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 12'nin mikroyapı görüntüsü



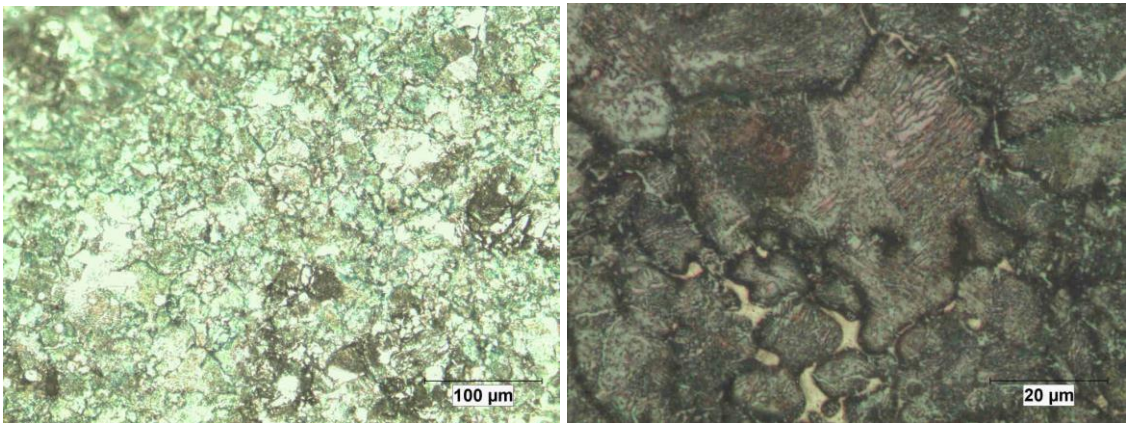
Şekil 4.20 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 13'ün mikroyapı görüntüsü



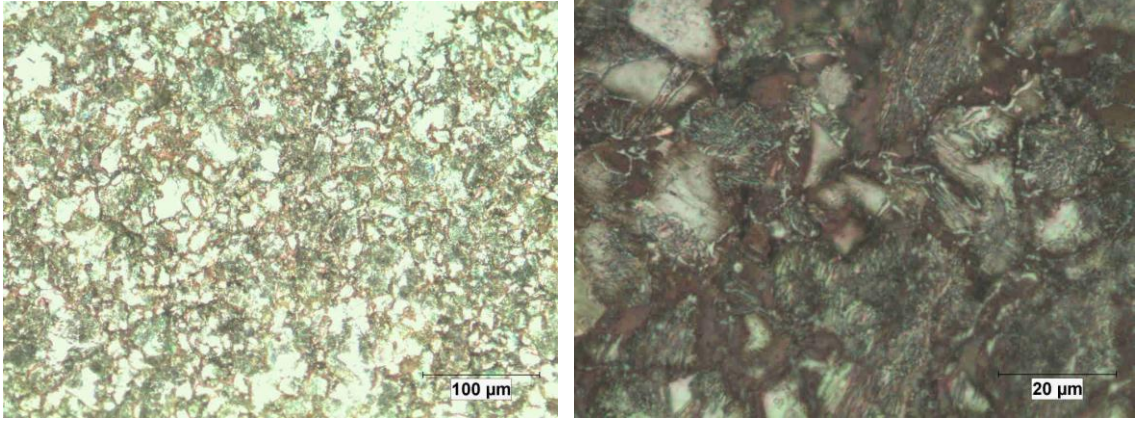
Şekil 4.21 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 14'ün mikroyapı görüntüsü



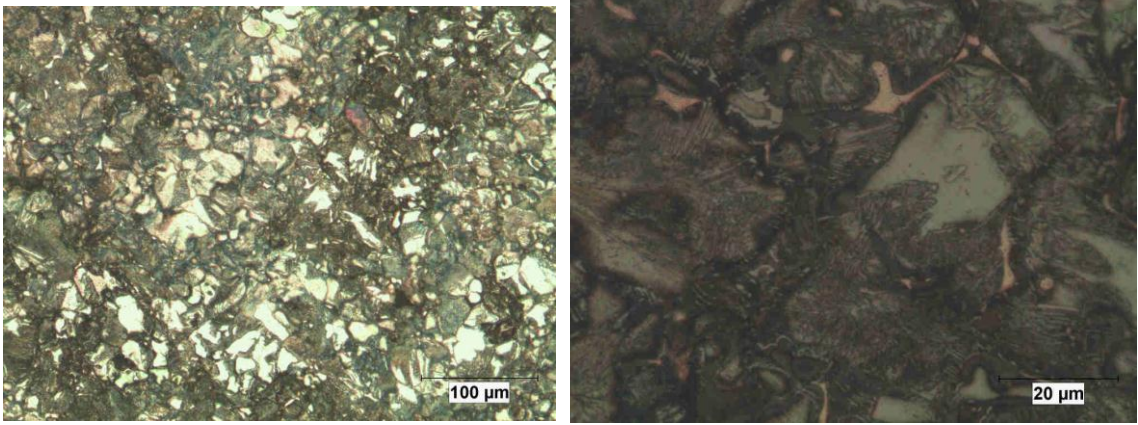
Şekil 4.22 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 15'in mikroyapı görüntüsü



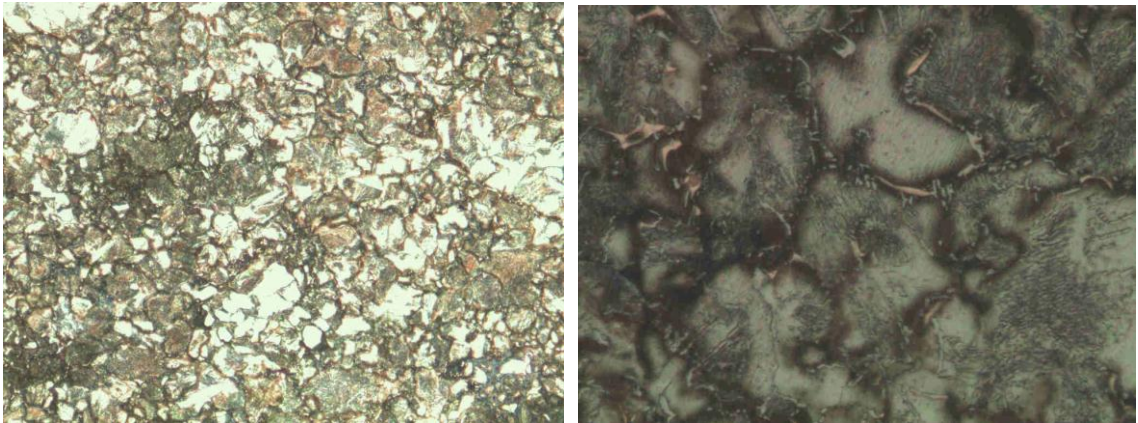
Şekil 4.23 İndüksiyonla 15 dakikada sinterlenen numune 16'nın mikroyapı görüntüsü



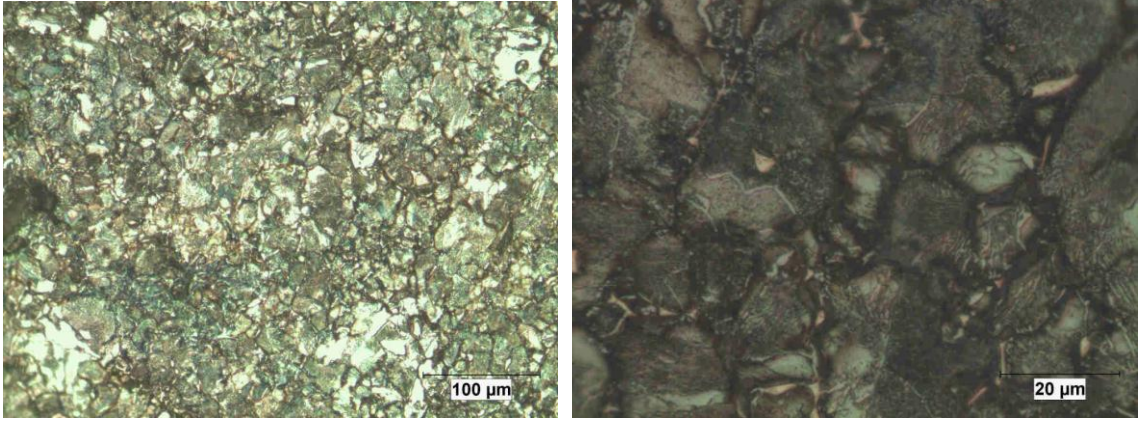
Şekil 4.24 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 17'nin mikroyapı görüntüsü



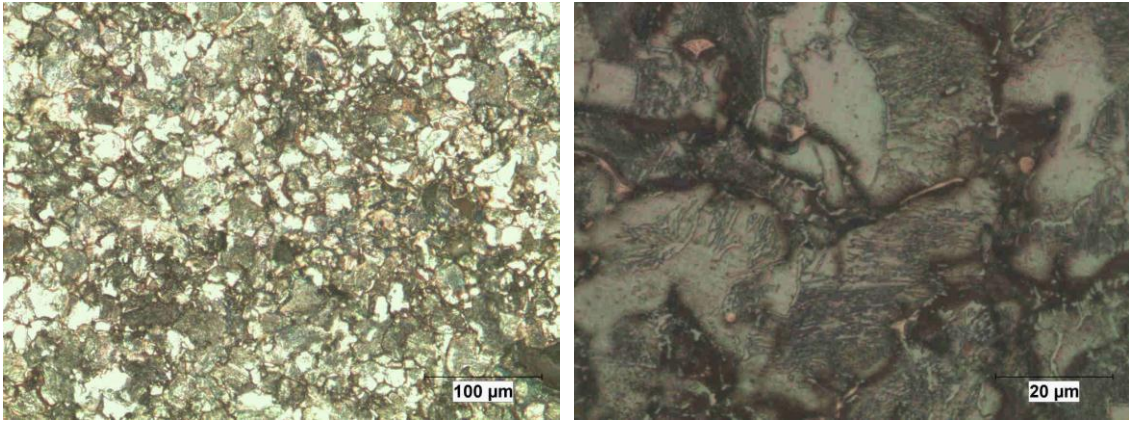
Şekil 4.25 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 18'in mikroyapı görüntüsü



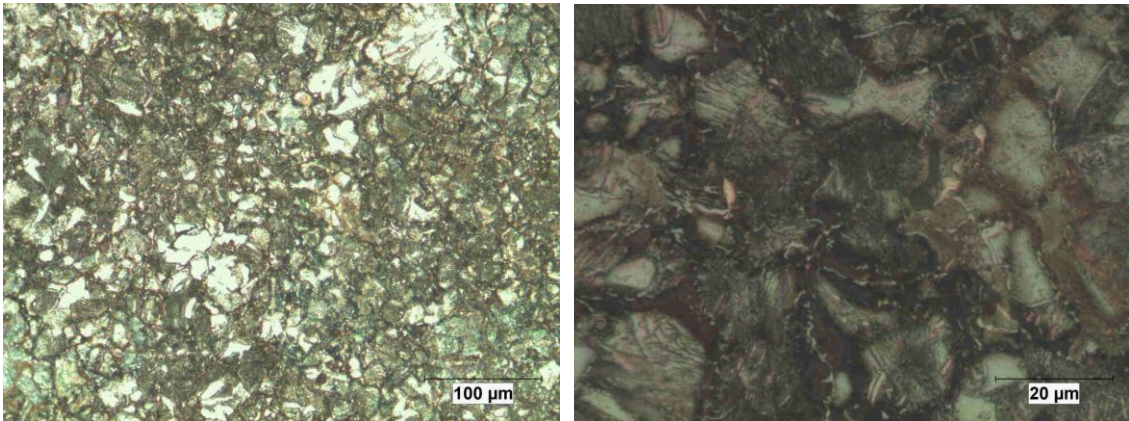
Şekil 4.26 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 19'un mikroyapı görüntüsü



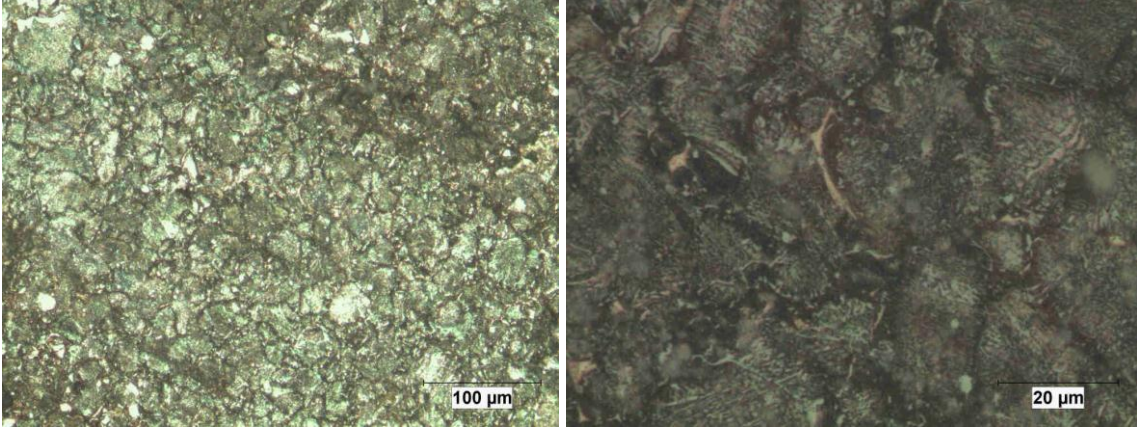
Şekil 4.27 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 20'nin mikroyapı görüntüsü



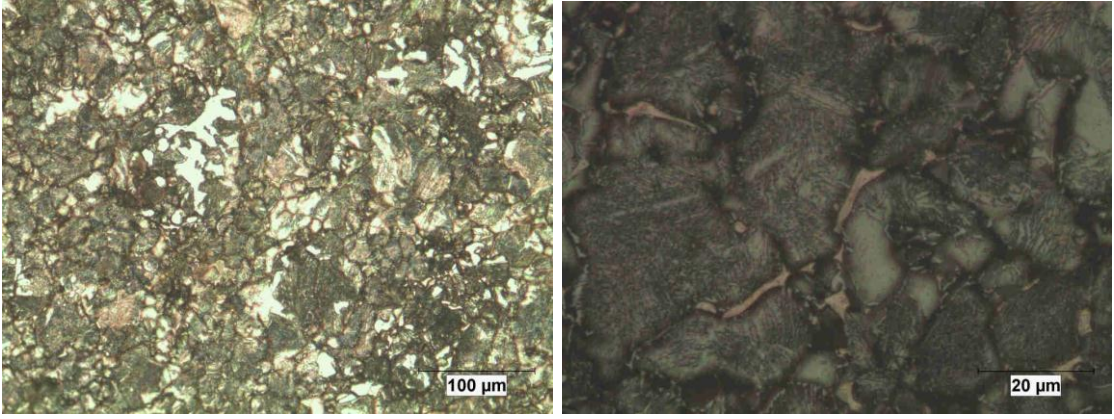
Şekil 4.28 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 21'in mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.29 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 22'nin mikroyapı görüntüsü

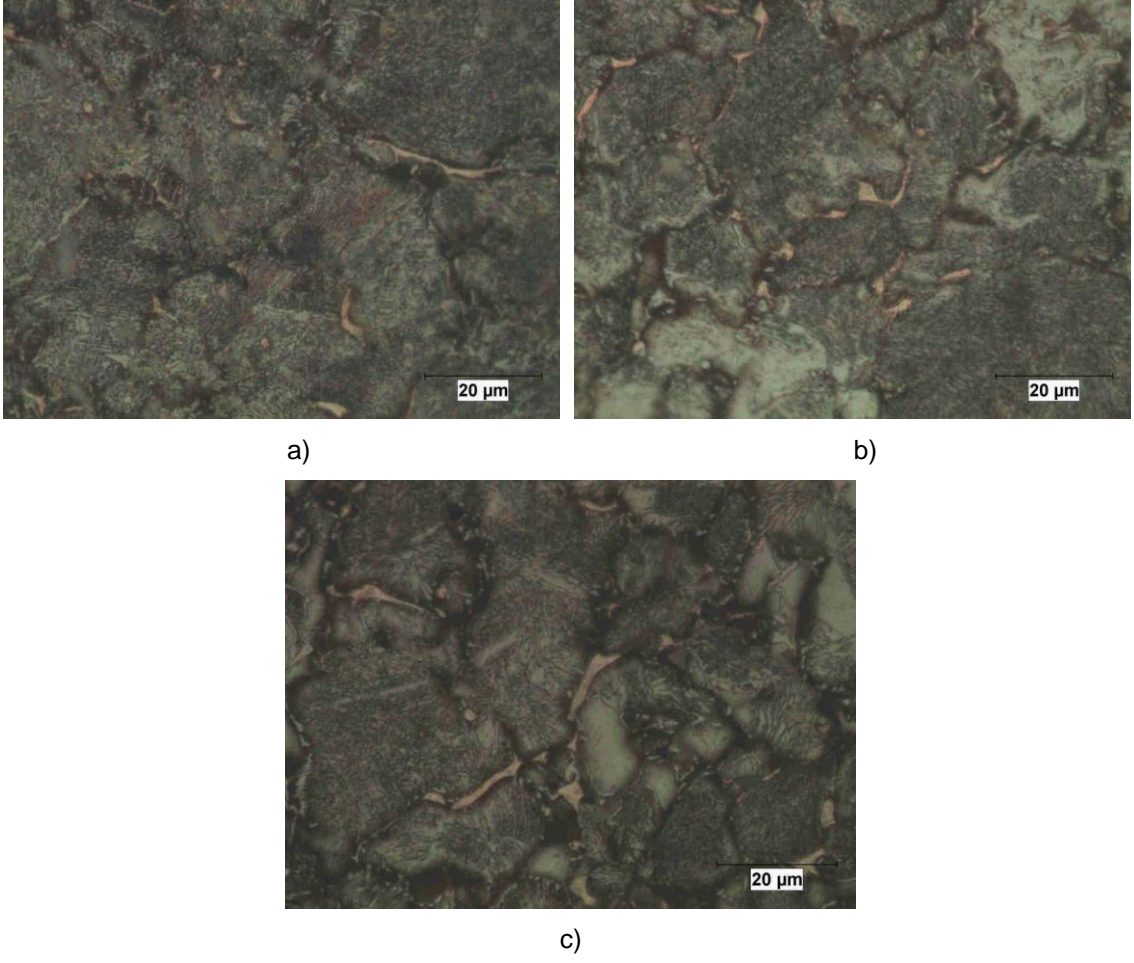


Şekil 4.30 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 23'ün mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.31 İndüksiyonla 30 dakikada sinterlenen numune 24'ün mikroyapı görüntüsü

Şekil 4.32 de üç farklı sürede sinterlenen numunelerden birer tanesinin 100X yakınlaştırma ile çekilen fotoğrafları yer almaktadır



Şekil 4.32 a) 8,33 dakika b) 15 dakika c) 30 dakika sinterlenen örnek numunelerin görüntüleri

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada %3 bakır, %0,5 grafit ve yağlayıcı olarak %1 Kenolube bileşiminden oluşan Högenas ASC 100.29 demir tozu kullanılmıştır. Toz karışımı 600 N/mm² sabit basınç altında preslenmiştir. Toz metal numuneler, hem klasik yöntemle hem de bantlı konveyörlü indüksiyonla sinterleme düzeneğinde, 8,33 dk (500 s); 15 dk (900 s); 30 dk (1800 s) sürelerle sinterlenmiştir. Bu çalışmada;

1. Demir esaslı toz metal numunelerin indüksiyonla sinterlenmesi için seri üretime uygun bir düzene geliştirilmiş ve bu düzenekte numunelerin sinterlenmesi gerçekleştirilmiştir.
2. Toz metal numunelerin, sinterleme sırasında atmosferden olumsuz etkilenmesini önlemek için %90 Azot+%10 Hidrojen gaz karışımı kullanılmıştır. Böylece numune yüzeylerinin tufallanması önlenmiştir.
3. Sinterleme sırasında numune içerisinde bulunan yağlayıcının buharlaşarak uzaklaşmasından dolayı numunelerin ağırlıkları azalmıştır. Sinterleme süresi arttıkça, yağlayıcının numuneden daha fazla uzaklaşması nedeniyle, ağırlıktaki bu azalma da artmıştır.
4. Klasik sinterlemede ergiyen bakır, demir tane sınırına yayılarak bakır içeren demir esaslı toz metal parçalarda şişmeye neden olur [13]. Bu çalışmamızda indüksiyonla sinterleme sonunda da numunelerimizin hacminde artış meydana gelmiştir. Mikroyapı fotoğraflarında bakırın demir tane sınırlarına yayıldığı görülmüştür. Bu sonuç literatürle uyumludur.
5. Numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri, sinterleme işlemi sonrasında artış göstermiştir. Bunun sebebi, sinterleme süresinin artışı ile bakır tozlarının ergiyip demir tozlarının etrafını sararak tane boyutunu büyütmesidir
6. 8,33 dakika İndüksiyonla sinterleme ile fırında 30 dakika sinterlemede elde edilen maksimum mukavemet ve çökme değerlerinden daha yüksek değerler elde edilmiştir.
7. İndüksiyonla sinterleme süresi arttıkça, maksimum mukavemet ve çökme değerleri de artmaktadır.

8. İndüksiyonla sinterleme süresi arttıkça, numunelerin sertlikleri de artmaktadır. Ancak sertlik ölçümleri Vickers yöntemiyle yapıldığı için bu artış mukavemet artışıyla paralel olmamıştır.

İndüksiyonla sinterlemede ısı, doğrudan parça içerisinde üretildiği için sinterleme daha kısa sürelerde gerçekleşebilmektedir. Ancak, sinterleme sırasında hızlı ısınma, toz metal parçalarda olumsuzluklara yol açmaktadır. Sinterleme sırasında difüzyon gerekli bir mekanizmadır. İndüksiyonla sinterleme sırasında difüzyonu sağlamak için sinterleme süresinin 30 dakikaya çıkarılması gereklidir. Klasik sinterleme ile 30 dakikada ulaşılan mukavemet değerlerini elde etmek için 30 dakika indüksiyonla sinterlemede, sinterleme sıcaklığının düşürülmesi uygun bir çözüm olabilir. Böylece enerji tüketimi ve maliyet azaltılmış olur. Daha sonraki çalışmalarda daha düşük sıcaklıklarda indüksiyonla sinterleme yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Atik, E.; Çavdar, U.; Geleneksel ve Hızlı Sinterleme Yöntemleri, CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi,2011,Cilt 1, Sayı:15
- 2.Erol, A.; Talaş, A.; Yönetken, A.; Elektrik Akımsız Ni Kaplanmış WC ve Fe Tozlarının Mikrodalga Sinterlenmesi, 5th International Powder Metallurgy Conference
3. Agrawal, D. K.; Anklekar, R. M.; Roy, R.,Microwave sintering and mechanical properties of PM copper steel, Powder Metallurgy, Volume 44, Number 4, October 2001 , pp. 355-362(8)
4. Johnsson, M.; Nygren, M.; Shen, Z.; Zhao, Z.; Spark Plasma Sintering of AluminaJournal of the American Ceramic Society ,Volume 85, Issue 8, pages 1921–1927, August 2002
5. Pohl, S., Simchi, A. Effects of laser sintering processing parameters on the microstructure and densification of iron powder, Materials Science and Engineering A Volume 359, Issues 1-2, 25 October 2003, Pages 119-128
6. Hashimotoa, H., Sun, Z.M., Tadaa, H., Zoua, Y., Rapid synthesis of single-phase Ti₃AlC₂ through pulse discharge sintering a TiH₂/Al/TiC powder mixture, Scripta Materialia Volume 56, Issue 9, May 2007, Pages 725-728
7. Doh, J.M., Jeong, I. K., Kim, H. C., Ko, I. Y. Shon, I. J. ,Yon I. J, Rapid sintering of ultra fine WC and WC-Co hard materials by high frequency induction heated sintering and their mechanical properties, Department of Advanced Materials Engineering, Metals And Materials International Volume 13, Number 1, 39-45
8. Wang, W. F. Effect of alloying elements and processing factors on the microstructure and hardness of sintered and induction-hardened Fe–C–Cu alloys, Materials Science and Engineering,Volume 402, Issues 1-2, 15 August 2005, Pages 92-97
9. Simchi, A., Effect of C and Cu addition on the densification and microstructure of iron powder in direct laser sintering process, Materials Letters Volume 62, Issues 17-18, 30 June 2008, Pages 2840-2843

10. Narasimhan, K. S., Sintering of powder mixtures and the growth of ferrous powder metallurgy, *Materials Chemistry and Physics*, Volume 67, Issues 1-3, 15 January 2001, Pages 56-65
11. Ranjan G. S. Upadhyaya, Effect of copper and VCN additions on sintering of low alloy steel, *Materials & Design*, Volume 22, Issue 5, August 2001, Pages 359-367
12. Chen, J., Sheng, H. C., Xiong, X., Yao, P. P. Effects of sintering pressure and temperature on microstructure and tribological characteristic of Cu-based aircraft brake material *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* Volume 17, Issue 4, August 2007, Pages 669-675
13. Randall M. G., Editörler; Durlu, N., Sarıtaş, S., Türker, M., "Toz ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri", p.p. 2-9, 143, 233-273, 279-296, TMMD, Ankara/Türkiye, 2007.
14. Schatt, W., Wieters, K. P., "Powder Metallurgy" European Powder Metallurgy Association, 1997.
15. Berns, H. Comparison of wear resistant MMC and white cast iron, *Wear* 254 (2003) 47-54
16. *Metals Handbook*, Ninth Edition, American Society for Metals, 1984, p. 7
17. *Powder Metallurgy & Sintering Mechanism*, P/M Technology Institute, Chungmungak Press, Japan, 1996.
18. Jang, G.B., Hur, M.D., Kang, S.S., A study on the development of a substitution process by powder metallurgy in automobile parts Micro-plasticity Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, 30 Changjeon-dong, Kumjeong-Ku, Pusan 609-735, South Korea, 1998
19. *Metals Handbook*, Powder Metallurgy, V7, ASM, 1984.
20. <http://www.sintek.net/tr/products.html>
21. Photo courtesy of Dorst America, Inc.

22. Reproduced with permission from Success Stories on P/M Parts, 1998. Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, 1998.
23. Courtesy of Zenith Sintered Products, Inc., Milwaukee, Wisconsin
24. <http://www.turktoz.gazi.edu.tr>
25. Toz Üretimi Dr.-İng. Rahmi Ünal
http://mf.dpu.edu.tr/~runal/toz/tozuretimi/powder_product.html
26. Sarıtaş, S., 1994, Toz , Makine müh. el kitabı, MMO, 2.Baskı, I.Cilt.
27. Çiftçi, İ., 2003, Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
28. German, R.M., 1994, Powder metallurgy science, 2nd edition, Metal Powder Industries Federation, USA.
29. Ersümer, A., 1970, Toz sert metal sinterleme, İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
30. Kaysser W.A., and Rzesnitzek, K., 1990, Principles of atomization, Science of Sintering, Ed. D.P. Uskokovic, Plenum Press, 157 – 174.
31. Baksan, B., Gürler, R. 2003, Toz nin Savunma Sanayiinde Uygulanması, Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü, Eskişehir.
32. Doğan, C., Sarıtaş, S., 1994, Metal powder production by centrifugal atomization, Int. J. Powder Metallurgy, 30, 419 – 427
33. Lawley, A., 1977, An overview of powder atomization processes and fundamentals, Int. J. Powder Metallurgy & Powder Technology, 13(3), 169 – 188.
34. Angers, R., Champagne, B., Fiset, M., 1984, Characteristics of powders produced by rotating electrode process, MPR.

35. Grant, N.J., Lavernia, E., Rai, G., 1985, Powder size distribution in ultrasonic gas atomization, J. Metals, 22 – 26.
36. Fesko, J.W., Klar, E., 1984, Production of metal powders, Metals Handbook, 9th ed. Vol. 7, Powder Metallurgy, 25 – 51, Ohio.
37. Lawley, A., 1992, Atomization: The production of metal powders, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, USA.
38. 19. Çavdar, U., “Demir Esaslı Toz Metal Parçaların İndüksiyonla Sinterlenmesinde Parametrelerin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Danışmanı: Doç. Dr. Enver ATİK, 2009.
39. Andrzej Romanski, Effect Of The Sintering Parameters On The Microstructure And Phase Composition Of The Cobalt-Iron Materials- AGH University Science and Technology, 30059 Krakow, Poland, 5th International Powder Metallurgy Conference
40. Dr. Brian James, Microstructural Change During Sintering Hoeganaes Corp. USA
41. Randal M. German "Sintering Theory and Practice" The Pennsylvania State University Park, Pennsylvania, A Wiley- Interscience Publication, Jon Wiley&Sons,INC, USA, PP313-362,373-400,403-420,1996
42. Prof. Dr.-Ing. A. Halim DEMİRCİ, Mühendislik Malzemeleri Önemli Endüstriyel Malzemeler ve Isıl İşlemleri
43. . <http://www.fizik.us/manyetizma/induksiyon-akimi.html>
44. McGraw-Hill, High Frequency Induction Heating , New York, 1950
45. Stanley, Z., Semiatin, S. L., Coil design and fabrication:part 2, specialty coils
46. Stanley Z., Semiatin, S. L., Coil design and fabrication: part 3, fabrication principles by

ÖZGEÇMİŞ

İsim: Can ÇİVİ
Uyruk: T.C
Cinsiyet: Bay
Doğum yeri: İzmir
Doğum Tarihi: 26/11/1987
Medeni Durum: Bekâr
İlköğretim: A.Ragıp ÜZÜMCÜ İlk Öğretim Okulu-İzmir
Lise: Vali Nevzat Ayaz Lisesi (2001-2004)-İzmir
Lisans: Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği (2005–2009)
-Manisa
İkinci Lisans: Anadolu Üniversitesi A.Ö.F İşletme (2006-2010)
Yüksek Lisans: Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Manisa
Çalıştığı Kurum: Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği
(Araştırma Görevlisi)