

## **Toz Metal Parçalar ile Çelik Parçaların İndüksiyon ile Sinterleme Yöntemiyle Birleştirilmesi**

**Enver ATİK<sup>1</sup>, Can ÇİVİ<sup>\*1</sup>, Cansu KÖKEY<sup>1</sup>, Gökhan EYİCİ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa*

*Geliş tarihi: 11.01.2016      Kabul tarihi: 30.03.2016*

### **Özet**

Bu çalışmada, ST 37-2 çeliği üzerine bakır ve grafit içerikli demir tozu farklı basınçlarda preslenmiş, elde edilen parça indüksiyon ile ve karşılaştırma amaçlı olarak geleneksel sinterleme yöntemleri ile sinterlenerek, çelik ile toz metalden oluşan kademeli malzemeler üretilmiştir. Üretilen numunelere üç nokta eğme testi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunelerin Rockwell - B sertlik değerleri ve mikro yapıları incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Toz metalürjisi, Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme, İndüksiyon ile sinterleme, İndüksiyon ile birleştirme

### **Joining of Powder Metal Parts with Steel Parts by Induction Sintering Method**

#### **Abstract**

In this study, Fe based copper and graphite included metal powder were pressed on ST 37-2 steel with different pressures. Obtained components were sintered with induction and conventional sintering methods and gradual parts were produced. Three point bending test were applied to produced samples. Also Rockwell-B hardness and microstructures of samples were investigated

**Keywords:** Powder metallurgy, Functionally graded materials, Induction sintering, Joined with induction

---

\* Sorumlu yazar (Corresponding author) : Can ÇİVİ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa, can.civi@cbu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Toz Metalurjisi, metal tozlarının işlemde geçirilerek yararlı mühendislik parçalarına dönüştürülmesi ile ilgilendirilir. Toz metalürjisinin ana adımları toz teknolojisi, toz işleme ve üretilen malzemelerin özelliklerinin belirlenmesidir [1]. Tozlar farklı gerilmeler altında sıvılar gibi davranırlar ve şekillendirilebilirler. Bu özelliklerinden dolayı karmaşık şekilli parçalar kolaylıkla üretilebilir. Şekillendirilen tozlar, istenen mukavemete sinterleme yapılmaksızın sahip olamazlar. Sinterleme geleneksel olarak sinterleme fırınlarında gerçekleştirilir [2]. 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 [3]. İndüksiyon ile sinterleme yöntemi, akımı vasıtası ile oluşan ısı enerjisinin kullanılarak sinterlemenin gerçekleştirildiği ve hızlı sinterleme yöntemleri adı verilen yöntemlerden bir tanesidir. Hızlı sinterleme yöntemleri, yaygın olarak sinterleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Yöntemlerin en önemli avantajı hızlı ısıtma/soğuma oranlarına sahip olmaları ve malzemelerin yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kalmasını engelleyerek ince taneli ve yüksek yoğunluklu yapıların elde edilebilmesidir. Ayrıca ısının geleneksel ısıtmada yüzeyden içeriye doğru yayılması dolayısı ile oluşan sıcaklık gradyanları hızlı sinterleme yöntemleri vasıtası ile önlenir [4-7]. Son yıllarda ısı değiştiricilerin üretilmesi gibi uygulamalarda metal plaka üzerine toz katman oluşturma uygulamaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarda metal tozu, metal plakaların üzerine preslenip sinterlenerek toz katman oluşturulması hedeflenmiştir [8].

Bu çalışmada, ST 37-2 (ASTM SAE 1015 ) çeliği üzerine demir esaslı toz 600 MPa ve 800 MPa basınçta sinterlenmiş, elde edilen parça indüksiyon ile ve karşılaştırma amaçlı olarak geleneksel sinterleme yöntemleri ile sinterlenerek katmanlı bir malzeme üretilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca farklı basınçların ve iki farklı sinterleme yönteminin malzemelerin birleşmeleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda, alt kısımda malzeme olarak 5 mm kalınlığındaki ST 37-2 (ASTM SAE 1015) çelik sac kullanılmıştır. Çelik sacın üstüne %3 Cu, % 0,5 grafit ve yağlayıcı olarak kenolube içeren ASC 100.29 su atomize demir tozu preslenerek numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan metal tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri ile elek analizi Çizelge 1’de yer almaktadır. St 37 Çeliğinin kimyasal özellikleri ise Çizelge 2’de yer almaktadır.

**Çizelge 1.** Högenas ASC 100.29 demir tozu kimyasal, fiziksel özellikleri ve elek analizi

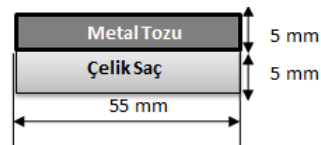
Kimyasal Özellikler (%)		Fiziksel Özellikler		Boyut Analizi (%)	
C	0,5	Görünür Yoğunluk	2,42 g/cm <sup>3</sup>	45 µm<	23
O	0,7			45-150 µm	69
Cu	3	Akış	31s/50 g	150-180 µm	8
Demir	Balans			>180 µm	0

**Çizelge 2.** St 37 çeliğinin kimyasal özellikleri

Malzeme	Kimyasal bileşim (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Fe
SG7	0.17	0.3	0.3	0.05	0.05	Kalan

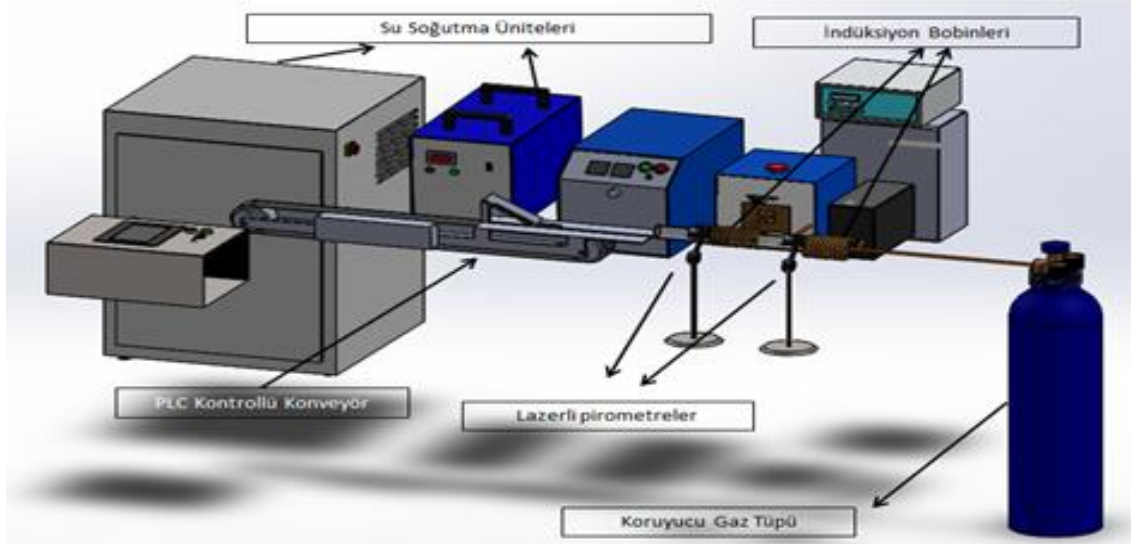
### 2.2. Metot

Çelik üzerine tozların presleme işlemi 600 ve 800 MPa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Preslenen numunelerin şematik gösterimi Şekil 1’de yer almaktadır.



**Şekil 1.** Numunelerin presleme şekli

Preslenen numuneler, geleneksel olarak ve indüksiyon ile 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Geleneksel sinterleme işlemi klasik direnç fırınında gerçekleştirilmiştir. İndüksiyon ile sinterleme işleminin gerçekleştirildiği sinterleme düzeneği Şekil 2’de görülmektedir.



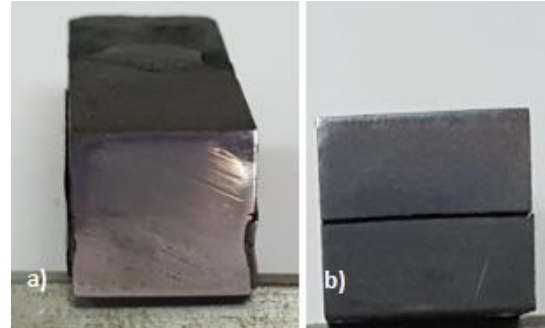
Şekil 2. İndüksiyonla Sinterleme Düzenegi

Sinterleme süresi geleneksel sinterlemede 30 dakika, indüksiyon ile sinterlemede ise 15 dakika olarak belirlenmiştir. Numuneler sinterlemeden sonra 3 nokta eğme deneyine tabi tutulmuşlardır. Üç nokta eğme testi 100 kN kapasiteli SHIMADZU-AG marka cihazda 2 mm/dk hızda yapılmıştır. Test, numuneler ayrılıncaya kadar sürdürülmüş ve numunelerin ayrılmaya kadarki taşıdığı gerilmeler elde edilmiştir. Üç nokta eğme deneyinin haricinde, numunelerin Rockwell-B sertlikleri incelenmiştir. Rockwell-B sertlik testleri BMS 200 RB marka cihazda 100 kg (981 Newton) kuvvet ile ASTM E18-12 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak Mikro yapı incelemeleri için numuneler Struers labotom-3 marka hassas kesme cihazı ile kesildikten sonra çeşitli gridlerdeki zımparalar ile parlatma cihazında zımparalanıp 3 ve 1 mikron'luk elmas solüsyon ile parlatılmıştır. Parlatma işleminin ardından numuneler %3'lük nital çözeltisinde dağlanıp, mikroyapı görüntüleri Nikon Eclipse LV150 marka optik mikroskopta elde edilmiştir. Deney sonuçları ilerleyen kısımda yer almaktadır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sinterlemelerden sonra 800 MPa basınçta preslenen ve indüksiyon ile sinterlenen

numunelerin toz metal kısımlarının ile çelik kısımlarının birbiri ile birleştiği, diğer numunelerde ise yüzeylerde çizgi şeklinde ayrıklar olduğu görülmüştür. Numunelerin sinterleme sonrası görüntüleri Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3. Numunelerin Sinterleme Sonrası Görüntüleri a) Sinterleme sonrası birleşmiş numune (800 MPa basınçta preslenen indüksiyon ile sinterlenen numune) b) Ayrık numune (800 MPa basınçta preslenen, geleneksel sinterlenen numune)

Sinterleme sonrasında Numunelere uygulanan Üç nokta eğme deneyi ve Rockwell-B sertlik incelemesi ile mikro yapı incelemelerinin sonuçları aşağıda yer almaktadır.

### 3.1. Üç Nokta Eğme Deney Sonuçları

Uygulanan üç nokta eğme deneyi sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** Numunelerin üç nokta eğme deney sonuçları

Sinterleme Yöntemi	Üç Nokta Eğme Dayanımı	
	600 MPa	800 MPa
Geleneksel Sinterleme	181,77 Nmm <sup>2</sup>	190,39 Nmm <sup>2</sup>
İndüksiyonla Sinterleme	418,95 N mm <sup>2</sup>	287,21 Nmm <sup>2</sup>

Üç nokta eğme dayanımı değerleri incelendiğinde, indüksiyon ile birleştirilen numunelerin dayanım değerlerinin fırında birleştirilen numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu da indüksiyon ile ısıtmada numuneler arası birleşmenin daha iyi olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, deney sonuçları incelendiğinde, geleneksel sinterlemede presleme basıncıyla üç nokta eğme dayanımı artarken, indüksiyon ile sinterlemede bu olguya rastlanamamıştır.

### 3.2. Rockwell-B Sertlik Ölçümü Sonuçları

Uygulanan Rockwell-B sertlik ölçümü sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

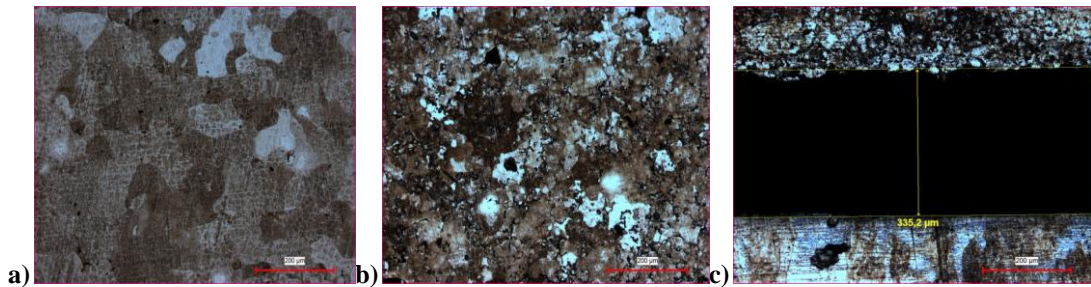
**Çizelge 4.** Rockwell-B sertlik ölçümü sonuçları

Sinterleme Yöntemi	Basınç			
	600 MPa		800 MPa	
	Çelik Bölge	TM Bölge	Çelik Bölge	TM Bölge
Geleneksel Sinterleme	28 HRB	35,5 HRB	32 HRB	39,5 HRB
İndüksiyonla Sinterleme	44 HRB	54,5 HKB	41 HRB	52,6 HRB

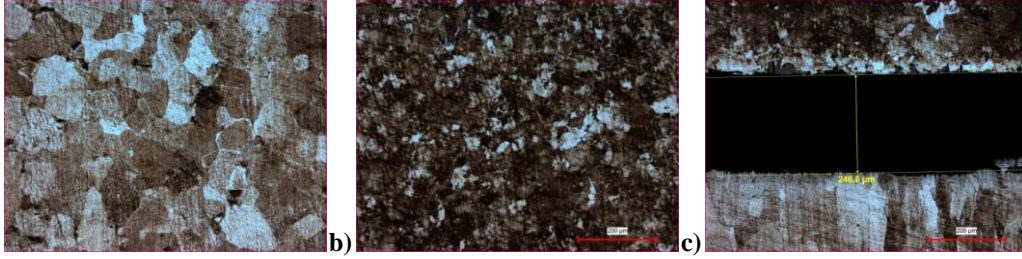
Rockwell B sertlik sonuçlarına göre, toz metal kısmın sertlik değerleri, hem indüksiyon ile hem de geleneksel ısıtma ile birleştirilen numunelerde çelik kısma göre daha yüksektir. Metal tozunda bulunan %0,5 grafit ve %3 Cu vasıtası ile, toz kısım düşük karbonlu çelik yapıdan daha yüksek sertlik değerlerine sahiptir. Ayrıca toz metal parçaların indüksiyon ile sinterleme sürecinde, hızlı ısınmadan ve indüksiyon akımının numunelere yaptığı fiziksel ve kimyasal etkilerden dolayı, geleneksel sinterlemeye oranla daha iyi mekanik özellikler elde edilebilmektedir [8]. Bu çalışmada toz metal malzeme ile çelik malzemenin birleştirilmesinde kullanılan indüksiyon akımı ile de daha iyi birleşme dayanımı elde edilmiştir.

### 3.3 Metalografik İncelemeler

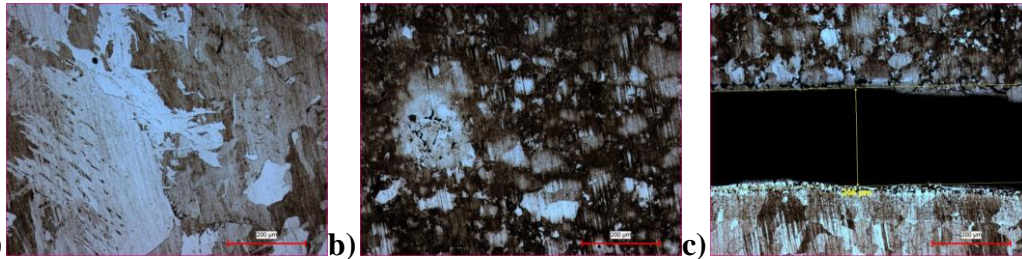
Numunelerin mikro yapı fotoğrafları Şekil 4-7'de yer almaktadır.



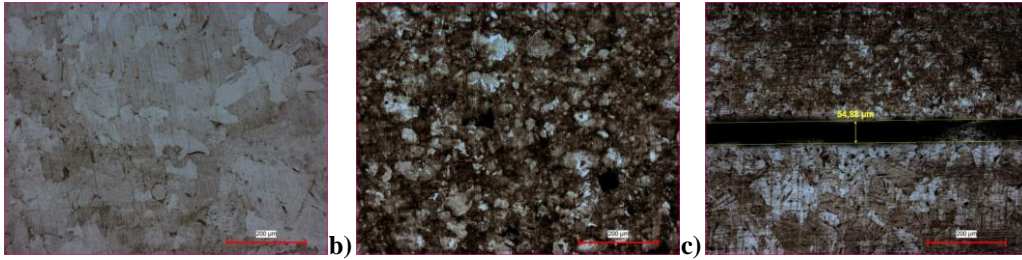
**Şekil 4.** 600 MPa basınçta preslenen geleneksel olarak sinterlenen numunelerin mikro yapı görüntüsü  
a) Çelik kısım b) Toz metal kısım c) Geçiş bölgesi



Şekil 5. 800 MPa basınçta preslenen geleneksel olarak sinterlenen numunelerin mikro yapı görüntüsü  
a) Çelik kısım b) Toz metal kısım c) Geçiş bölgesi



Şekil 6. 600 MPa basınçta preslenen indüksiyon ile sinterlenen numunelerin mikro yapı görüntüsü  
a) Çelik kısım b) Toz metal kısım c) Geçiş bölgesi



Şekil 7. 800 MPa basınçta preslenen indüksiyon ile sinterlenen numunelerin mikro yapı görüntüsü  
a) Çelik kısım b) Toz metal kısım c) Geçiş bölgesi

Numune birleştirmelerinde numunelere herhangi bir yüzey işlemi uygulanmamıştır. Ayrıca tutunmayı artırma amaçlı bir ara yüzey de uygulanmamıştır. Bu nedenle numunelerin mikro yapı fotoğraflarında ayırık kalan kısımlar görülmüştür. 800 MPa basınçta birleştirilen numunelerde, ayrılma yüzeyi 600 MPa da birleştirilenlere göre daha kısa iken (geleneksel sinterlemede 335,2-246,6  $\mu$ , indüksiyon ile sinterlemede 246-54,88  $\mu$ ) indüksiyon ile sinterlenen numunelerde ayrılma yüzeyi geleneksel sinterlemeye göre daha kısadır. Bu da indüksiyon ile sinterlemede difüzyonun geleneksel sinterlemeye göre daha iyi olduğunu

göstermektedir. 800 MPa basınçta sinterlenen numunelerde, gözle görülür bir ayrılma yüzeyi yoktur. Mikroyapıda da kısım kısım ayrılan yüzeyler gözlenmiştir, bazı bölgelerin tam olarak birleştiği gözlemlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada çelik üzerine kademeli olarak preslenen toz metal parçaların sinterleme işlemleri indüksiyon ile ve geleneksel sinterleme metotları ile farklı basınç parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde;

- 800 MPa basınç altında sinterlenen parçaların 600 MPa basınçta sinterlenenlere göre daha iyi birleşim gösterdiği görülmüştür.
  - İndüksiyon ile sinterlenen numunelerin, geleneksel sinterlenenlere göre iyi birleştiği görülmektedir. İndüksiyon ile 800 MPa basınç altında sinterlenen numunelerde tam birleşmeye yakın bir sonuç elde edildiği görülmüştür. Bu da indüksiyon akımı altında difüzyonun daha yüksek olduğunu göstermiştir.
  - İlerleyen çalışmalarda birleşme yüzeylerinde oluşan açıklığın giderilmesi için çelik plakanın yüzey pürüzlülüğü artırılarak daha iyi tutunma özelliği sağlanabilir.
  - Yapışma özelliği sağlayabilecek bir ara malzemeyle ya da kısmi bir sıvı faz oluşumu ile de daha iyi bir birleşme sağlanabileceği ön görülmektedir.
- Bulletin : American Ceramic Society 59, p. 626-629.
8. Çivi, C., 2016. Toz Metal Parçaların Orta ve Düşük Frekanslı İndüksiyon ile Sinterlenmesinde Sinterleme Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı.

## 5. KAYNAKLAR

1. German, R. M. Editörler; Durlu, N., Sarıtaş, S. Türker, M., 2007. Toz ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, TMMD, Ankara.
2. German, R. M. Çeviri: Gülsoy, H. O., 2014. Sinterleme Teorisi ve Uygulamaları, Nobel Yayınevi, Ankara.
3. Atik, E., Çavdar, U., 2011. Geleneksel ve Hızlı Sinterleme Yöntemleri, CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi Cilt 1, Sayı:15.
4. Li, W. Gao, L. 2000. Rapid sintering of nanocrystalline ZrO<sub>2</sub>(3Y) by spark plasma sintering. Journal of the European Ceramic Society. 20, p. 2441-2445.
5. Hamer, M. P., Brook, R. J., 1981. Fast firing-microstructural benefits. Journal of the British Ceramic Society. 80, p.147-149.
6. Hamer, M. P., Roberts, E. V., Brook, R. J., 1979. Rapid sintering of pure and doped a-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Transactions of the British Ceramic Society. 78, p. 22-25.
7. Morell, A., Mermosin, A., 1980. Fast sintering of soft Mn-Zn and Ni-Zn ferrite pot cores.