

DEMİR ESASLI TOZ METAL PARÇALARIN SİNERLEME İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Emre AVŞAR*, **Nuri DURLU***, **Aytaç ATAŞ****, **Cengiz BOZACI****, **Hüsnü ÖZDURAL****

*TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Söğütözü Caddesi No:43, Ankara,

** Tozmetal Ticaret ve Sanayi A.Ş. İstanbul Caddesi No:75 Gürpınar, Büyükçekmece, İstanbul,

ndurlu@etu.edu.tr, tozmetal@tozmetal.com

(Geliş/Received: 24.11.2009; Kabul/Accepted: 20.04.2010)

ÖZET

Bu çalışmada demir esaslı tozların ham ve ön sinterlenmiş halde mekanik geçme sonrası sinterleme ile birleştirilmesi incelenmiştir. Deneylede presleme basıncı olarak 600 MPa kullanılmış ve sinterleme işlemleri endogaz ortamında ve indirgeyici gaz karışımında (%90N₂ + %10H₂) 1120°C'de 45 dakika süre ile yapılmıştır. Demir esaslı tozların (Fe-%0,6P, Fe-%0,6P-%2Cu, Fe-%0,6P-%3Cu-%0,4C) ham halde ve sinterlenmiş halde mekanik özellikleri ölçülmüştür. Sinterleme ile birleştirme işlemlerinde burç-pelet geometrisi kullanılmıştır. Demir esaslı tozlardan preslenerek hazırlanan burç (Fe-%0,6P, Fe-%0,6P-%2Cu) ve pelet (Fe-%0,6P-%3Cu-%0,4C) numuneler ham ve ön sinterlenmiş halde mekanik geçme sonrası sinterlenerek birleştirilmiş ve bağ dayanım değerleri ölçülmüştür. Ham halde sinterleme ile birleştirilen burç-pelet toz metal parçalarının arayüzeyleri optik ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda ham halde mekanik olarak geçirilen parçaların sinterleme ile birleştirme işlemlerinin yeterli düzeyde bağ dayanımı sağladığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Demir esaslı tozlar, sinterleme ile birleştirme, bağ dayanımı, mekanik özellikler, bağ arayüzeyi.

JOINING OF IRON BASED POWDER METALLURGY PARTS WITH SINTERING

ABSTRACT

In this study, joining of iron based green and pre-sintered powder metal parts by sintering was examined. Samples were pressed at 600 MPa and sintered at 1120°C for 45 minutes under reducing (%90N₂ + %10H₂) and endogas atmospheres. Mechanical properties of iron based powder samples (Fe-%0.6P, Fe-%0.6P-%2Cu, Fe-%0.6P-%3Cu-%0.4C) were measured under green and sintered conditions. In joining with sintering experiments ring-pellet geometry was utilized. Green and pre-sintered ring (Fe-%0.6P, Fe-%0.6P-%2Cu) and pellet (Fe-%0.6P-%3Cu-%0.4C) samples were joined by sintering and their bonding strengths were measured. The interface formed after sinter joining was examined with optical and scanning electron microscopy. The study show that green parts can be joined by sintering without an appreciable loss in bonding strength.

Keywords: Iron based powders, joining with sintering, bond strength, mechanical properties, bond interface.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Toz metal parçaların birleştirilmesi için üç temel yöntem bulunmaktadır [1]. Bunlardan ilki kaynaklama tekniğidir. Toz metal parçalarda bulunan gözeneklerin miktarı ve dağılımı kaynaklama işlemi sırasında ısı iletkenlik, ısı genleşme ve sertlik gibi özellikleri olumsuz yönde etkiler. Toz metal parçaları birleştirmek için kullanılan diğer bir yöntem ise sert

lehimlemedir. Sert lehimleme işleminde düşük yoğunluklu toz metal parçalarda yoğunluğu artırmak için bakır emdirme işlemi veya iki defa presleme ve sinterleme döngüsü uygulanır. Bu işlemlerin getireceği ek maliyet sert lehimleme işlemi ekonomik olmaktan uzaklaştırır.

Toz metal parçaların kaynak ve sert lehimleme ile birleştirme işlem maliyetlerinin yüksek olması ve

gözenekli iç yapının yarattığı sorunlar nedeniyle son yıllarda sinterleme ile birleştirme işlemi önem kazanmıştır. Sinterleme ile birleştirme işleminde ham halde veya ön-sinterlenmiş toz metal parçalar mekanik geçme sonrası sinterleme ile birleştirilirler. Sinterleme ile birleştirilen parçaların bağ dayanımının yüksek olması için parçalar arasındaki mekanik geçme aralığının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu aralığın daraltılmasıyla beraber bağ dayanım değerlerinde artış sağlanabilmektedir. Ancak mekanik dar geçme aralıklarında montajlanan toz metal ham parçalarda çatlak oluşumu veya kırılmaların önlenmesi için ön-sinterleme işleminin uygulanması gerekmektedir.

Sinterleme ile birleştirme işlemlerinde genellikle demir esaslı toz metal parçalar ile işlenik düşük alaşimli karbon çelikleri birlikte kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda toz alaşımlarının ve toz tane boyutlarının bağ dayanımına etkileri incelenmiş ve bağ dayanım değerlerinin 50 - 270 MPa arasında değiştiği görülmüştür [2-5].

Ham haldeki burç-pelet toz metal parçaların mekanik geçme sonrası sinterleme ile birleştirildiği çalışmalarda, daha çok alaşım sistemi ve mekanik geçme aralığının bağ dayanımına etkisi incelenmiştir. Alaşım sistemine (Fe-P, Fe-Cu, Fe-Cu-C, Fe-Cu-P) ve mekanik geçme aralığına bağlı olarak bağ dayanım değerleri 50 – 190 MPa olarak elde edilmiştir [6,7]. Presleme sonrası 500°C'de ön-sinterlenen toz metal parçaların mekanik geçme sonrası sinterleme ile birleştirildiği diğer bir çalışmada ise bağ dayanım değerlerinin sinterleme sıcaklığının 1130°C'den 1180°C'ye çıkartılması ile 150 MPa'dan 350 MPa kadar yükseldiği belirtilmiştir [8].

Bu çalışmanın amacı, ham ve ön sinterlenmiş haldeki numunelerin mekanik geçme sonrası sinterleme ile birleştirilerek bağ dayanımlarının ölçülmesi ve ham halde yapılan tek bir sinterleme işlemi ile toz metal parçaların üretilebilirliğinin araştırılmasıdır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada Höganäs firması tarafından atomizasyon yöntemiyle üretilen demir esaslı tozlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan demir esaslı tozların kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir. Burç ve pelet toz metal parçalarını oluşturan demir tozlarının ortalama tane boyutu yaklaşık 70 µm'dur. Burç numunelerin preslenmesi Tozmetal firmasında 50 ton kapasiteli Dorst marka çift yönlü preslerde yapılmıştır. Pelet numunelerin preslenmesi ise TOBB. Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'nde Instron marka çekme-basma cihazında tek yönlü olarak gerçekleştirilmiştir. Burç ve pelet numunelerin preslenmesi 600 MPa basınç altında yapılmıştır. Presleme sonrası ham parçaların kalıp içerisinden rahatça çıkarılması için kalıp duvarları çinko-stearat ile yağlanmıştır.

Çizelge 1. Demir esaslı tozların bileşimi. (Composition of iron based powders)

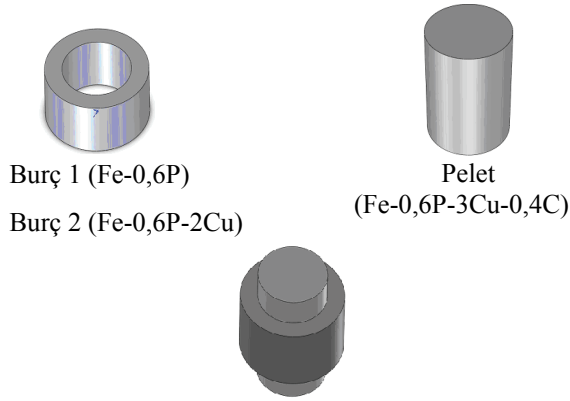
Parça	Kimyasal Bileşim (%)
Burç-1	Fe-%0,6P
Burç-2	Fe-%0,6P-%2Cu
Pelet	Fe-%0,6P-%3Cu-%0,4C

Presleme işleminden sonra numuneler 1120°C'de endüstriyel ölçekli fırında endogaz ortamında ve laboratuvar ölçekli fırında %90N₂ + %10H₂ gaz karışımı altında 45 dakika süre ile ayrı ayrı sinterlenmiştir. Presleme işlemlerinde yağlayıcı olarak %1 ağırlık oranında çinko stearat kullanılmıştır. Sinterleme işlemi öncesinde numuneler 600°C'de 20 dakika süre ile yağlayıcı giderme işlemine tabi tutulmuştur.

Burç ve pelet numuneleri oluşturan demir esaslı toz alaşımların ham ve sinterlenmiş dayanımları çapraz kırılma dayanım test düzeneğinde ASTM B-723 standartına göre ölçülmüştür. Deneylerde 6 mm x 12.7 mm x 31.7 mm ebatlarında çubuk numuneler kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri 20 mm çapında 5 mm kalınlığında pelet numunelere HRB ölçeğinde 100 kg yük kullanılarak yapılmıştır.

Sinterleme ile birleştirme işlemlerinde kullanılan burç (dış parça) – pelet (iç parça) geometrisi şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir. Presleme sonrası burç numunesinin dış çapı 15 mm, iç çapı 10,27 mm, kalınlığı 6 mm, pelet numunesinin çapı 10,27 mm, yüksekliği ise 12 mm olarak ayarlanmıştır. Ham ve ön sinterlenmiş halde hazırlanan burç ve pelet numuneler mekanik geçme sonrası sinterlenerek birleştirilmişlerdir. Burç numunelerin ön sinterleme işlemleri 1120°C'de 45 dakika süre ile, pelet numunelerin ön sinterleme işlemi ise 900°C'de 30 dakika süre ile endogaz ortamında yapılmıştır. Mekanik geçme öncesi tüm burç ve pelet numunelerin ölçümü 3 boyutlu olarak yapılmıştır. Burç ve pelet parçalarının birbirine paralel olarak mekanik geçme işleminde merkezleme kalıbı kullanılmıştır. Ham ve sinterlenmiş halde birleştirilen numunelerin bağ dayanımı, burç-pelet numunelerinin birbirinden sıyrılmaya başladığı andaki kuvvetin, parçalar arasındaki temas kesit alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Deney test hızı 1mm/dk olarak ayarlanmıştır.

Ham halde mekanik geçme sonrası sinterleme ile birleştirilen numunelerin arayüzeyleri optik ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Ayrıca bu numunelerin arayüzeyleri üzerinden enerji dağılım spektrometre (EDS) analizi yapılmıştır.



Mekanik geçme + Sinterleme ile birleştirme

Şekil 1. Sinterleme ile birleştirme işlemlerinde kullanılan burç-pelet geometrisinin şematik gösterimi. (Schematic presentation of ring – pellet geometry used in joining with sintering processes)

3. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS and DISCUSSION)

3.1 Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)

Deneylerde kullanılan demir esaslı alaşımların ham dayanım, sinterleme sonrası dayanım ve sertlik değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Numunelerin ham dayanım değerleri 11-12 MPa arasında değişmektedir. Demir esaslı toz metal parçalar üzerine yapılan çalışmalarda benzer ham dayanım değerleri elde edilmiştir. Demir tozu ile yapılan çalışmalarda ham dayanım değerleri 9-10 MPa arasında ölçülmüş [9,10], Fe-0,8C çelik tozunda ise ham dayanım değeri 12 MPa olarak belirlenmiştir [11]. Demir tozuna C eklenmesi ile ham dayanım değerindeki artış, karbonun kayganlaştırıcı özelliğinden ötürü daha iyi paketleme sağlaması, ve buna bağlı olarak toz parçacıklarının presleme esnasında daha sıkı düzenlenmesi ile açıklanmıştır [12].

Pelet alaşımından hazırlanan ve 1120°C'de 45 dakika süre ile sinterlenen numunelerin sinterlenmiş dayanımı 830-880 MPa, burç 1 ve burç 2 alaşımlarından hazırlanan numunelerin sinterlenmiş dayanımları 690-695 MPa ve 700-740 MPa arasında değişmiştir. Endogaz ortamında yapılan sinterleme

işleminin indirgeyici ortamda yapılan sinterlemeye kıyasla daha yüksek mekanik özellikler verdiği gözlenmiştir. Bu durumun endogaz atmosferinin karbürleyici özelliğinden ileri geldiği düşünülmüştür.

Literatürdeki sinterlenmiş dayanım değerleri incelendiğinde Fe-Cu alaşımına C ve P'un eklenmesi ile beraber daha iyi dayanım değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Parçalanmış amonyak gazı altında 1150°C'de 60 dakika süre ile sinterlenen Fe-%2Cu alaşımının sinterlenmiş dayanım değeri 420 MPa olarak ölçülmüştür [13]. Diğer bir çalışmada, Fe-%3Cu-%0,28P-%0,3C alaşımının sinterlenmiş dayanımı 880 MPa olarak bulunmuştur [14]. Ayrıca alaşım içindeki C miktarının artması ile beraber sinterlenmiş dayanım değeri 1000 MPa'nın üzerine çıkmıştır [14].

Demir içindeki Cu çözünebilirlik oranı 1120°C'de % 9 civarında iken, oda sıcaklığında bu değer % 0,1'in altına düşmektedir [15]. Bu durum 1120°C'de yapılan sinterleme işleminde bakırın demir içinde çözünerek yapı içersinde bulunmasını, soğuma sırasında ise bakırın çökelti oluşturarak alaşımın mekanik özelliklerinin artmasına yol açar [16]. Fe-Cu alaşım sistemine C'nun eklenmesi Cu çözünebilirlik oranını azaltmaktadır. Fe-Cu-C alaşım sisteminde C yayınımlı, Cu'nun erimesinden önce başlamaktadır. C yayınımlı neticesinde Fe taneleri arasındaki iki-düzlemlilik açısı değerleri artış göstermektedir. Bu durumda temas halindeki Fe taneleri birbirinden ayrılarak, ergiyen Cu'nun tane sınırlarına yayınımlı önlemektedir. Buna bağlı olarak yapı içersinde çözünmeyen Cu miktarının artmasıyla birlikte mekanik özelliklerde artış görülmektedir [17].

Pelet alaşımından hazırlanan numunelerin sertlik değeri 80-86 HRB, burç 1 ve burç 2 alaşımlarının sertlik değerleri ise 71-74 HRB ve 71-77 HRB olarak ölçülmüştür ve bu değerler literatür ile uyumlu bulunmuştur. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, 550 MPa basınç altında preslenen Fe-%0,28P-%3Cu alaşımının, 1120°C'de parçalanmış amonyak gazı altında 40 dakika süre ile sinterlenmesi sonucu sertlik değeri 65 HRB olarak ölçülmüştür [14]. Diğer bir çalışmada ise [18], 600 MPa basınç altında preslendikten sonra 1120°C'de 40 dakika süre ile

Çizelge 2. Demir esaslı toz alaşımların mekanik özellikleri (Mechanical properties of iron based powder alloys)

Parça	Ham Dayanım (MPa)	Sinterlenmiş Dayanım (MPa)		Sertlik (HRB)	
		%90N ₂ + %10H ₂	Endogaz	%90N ₂ + %10H ₂	Endogaz
Pelet	12,2 ± 0,2	829 ± 26	874 ± 20	80 ± 3	86 ± 2
Burç-1	11,4 ± 0,6	695 ± 24	689 ± 43	71 ± 2	74 ± 4
Burç-2	11,1 ± 0,3	702 ± 37	737 ± 46	71 ± 3	77 ± 2

parçalanmış amonyak gazı altında sinterlenen Fe-%0,6P-%2Cu-%0,4C alaşımının sertlik değeri 86 HRB olarak ölçülmüştür.

3.2. Bağ Dayanımı Ölçümleri (Measurement of Bonding Strength)

Ham halde ve ön sinterleme sonrası sinterleme ile birleştirilen burç-pelet numunelerinin bağ dayanımları Çizelge 3'de verilmiştir. Endogaz altında sinterleme ile birleştirilen numunelerin dayanım değerleri 229 MPa ile 287 MPa arasında değişmiştir. Bağ dayanımı ölçüm sonuçları ham halde yapılan sinterleme ile birleştirme işleminin ön sinterleme sonrası yapılan sinterleme ile birleştirme işlemine yakın bağ dayanım değerleri verdiğini ve endüstriyel uygulamalarda ön sinterleme işlemine gerek kalmaksızın, ham halde sinterleme ile birleştirme işlemlerinin yapılabileceğini göstermiştir.

Sinterleme ile birleştirme konusunda yapılan çalışmalarda, mekanik geçme aralığının daraltılması ile bağ dayanım değerlerinde artış sağlandığı görülmüştür. Asaka tarafından yapılan bir çalışmada [6], burç(Fe-%1,5Cu-%0,7C)-pelet(Fe-%1,5Cu-%0,7C) toz alaşımlarından hazırlanan numuneler 1130°C'de endogaz altında sinterlenmişlerdir. Burç-pelet arasındaki mekanik geçme aralığının +20 mikron bol geçmeden -20 mikron dar geçmeye ayarlanması ile beraber numunelerin bağ dayanım değerlerinde %50'nin üzerinde artış gözlenmiştir. Bağ dayanımındaki bu artışın 1130°C'de yapılan sinterleme esnasında iç parçanın (pelet) dış parçaya (burç) kıyasla daha fazla boyutsal genişleme göstermesi ile ilgili olduğu belirtilmiştir [6]. Mekanik geçme aralığının daraltılması ile beraber sinterleme esnasında C ve Cu gibi alaşım elementleri arayüzey bölgesinde yayınarak iyi bir metalik bağ oluşumuna katkı sağlamaktadır.

Demir esaslı toz alaşımlarının sinterleme ile birleştirilmesi üzerine yapılan diğer bir çalışmada burç numune olarak Fe, Fe-%0,3P, ve Fe-%0,6P toz

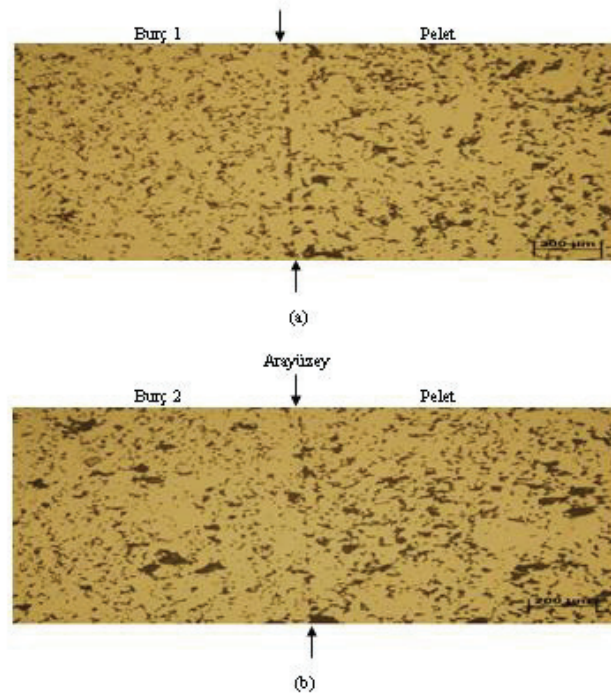
alaşımları, pelet numune olarak ise Fe-%4Cu kullanılmış ve numuneler 600 MPa altında preslendikten sonra 1120°C'de hidrojen altında sinterlenerek birleştirilmiştir [7]. Hidrojen altında yapılan dilatometrik ölçümlerde, sinterleme işlemi sırasında burç numunelerin boyutlarında çekme, pelet numunede ise bakırın tane sınırları arasına akışına bağlı olarak genleşme (şişme) gözlenmiştir. Bağ dayanım ölçümlerinde burç numune içindeki P miktarının artışına bağlı olarak bağ dayanım değerlerinin 134 MPa'dan 192 MPa ulaştığı gözlenmiştir. Bağ dayanımındaki bu artışın sinterleme işlemi sırasında burç ve pelet numunelerde meydana gelen boyutsal değişimlere ek olarak, sinterleme işlemi sırasında pelet numunede bulunan Cu'nun ergiyerek arayüzey bölgesinden burç numuneye geçişi ve burç numunede bulunan P'un oluşturduğu sıvı faz ile beraber arayüzey bölgesinde yoğunluk artışına katkı sağlaması ile ilgili olduğu ifade edilmiştir [7].

3.3. Mikroyapısal İncelemeler (Microstructural Investigations)

Ham halde sinterleme ile birleştirilen burç-pelet numunelerin bağ dayanım değerlerinin yüksek olması için işlem sırasında burç-pelet arayüzeyinin yayınma bağlı olarak kaynaklanması gerekmektedir. Sinterleme ile birleştirme işlemi sırasında dış kısımdaki burçun boyutsal olarak çekmesi, iç kısımda bulunan peletin ise genleşmesi arayüzeyde yayınının gerçekleşmesine katkı sağlar. Sinterleme işleminde toz metal parçalarının boyutsal değişimi alaşım sistemine bağlıdır. Fosfor ve C içeren demir esaslı alaşımlarda sinterleme sırasında boyutsal çekme, Cu içeren demir esaslı alaşımlarda ise boyutsal genleşme görülür. Sinterleme ile birleştirme işlemi sırasında dış kısımdaki burçun çekmesi ve iç kısımdaki peletin genleşmesi ile parçaların temas yüzeylerindeki basınca bağlı olarak daha iyi bir kaynaklanma sağlanmaktadır. Ayrıca işlem sırasında boyutsal değişimlere ek olarak toz alaşımları içinde bulunan Cu'nun ergiyerek ara yüzey bölgesine yayınması bu bölgede yoğunluk artışına yol açarak kaynaklanmaya katkı sağlar.

Çizelge 3. Ham ve ön sinterlenmiş burç-pelet numunelerinin sinterleme ile birleştirme işlemi sonrasındaki bağ dayanım değerleri. (Bonding strength values of green and pre-sintered ring - pellet samples after joining with sintering)

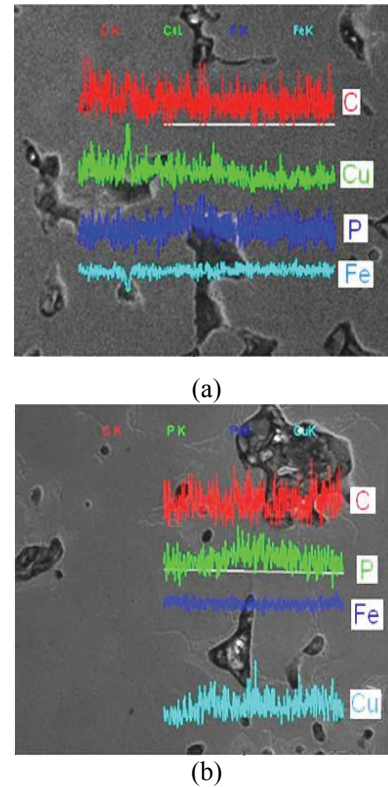
Numune	Deney Şartları	Mekanik Geçme Aralığı (µm)	Bağ Dayanımı (MPa)
Burç 1 + Pelet (Ham halde)	1120 °C, 45 min. Endogaz	0	229 ± 17
Burç 1 + Pelet (Ön sinterlenmiş halde)	1120 °C, 45 min. Endogaz	- 25	276 ± 42
Burç 2 + Pelet (Ham halde)	1120 °C, 45 min. Endogaz	0	245 ± 18
Burç 2 + Pelet (Ön sinterlenmiş halde)	1120 °C, 45 min. Endogaz	- 25	287 ± 16



Şekil 2. Ham halde sinterleme ile birleştirilen (a) Burç 1–Pelet (b) Burç 2–Pelet arayüzey çizgilerinin optik mikroskop görüntüsü (Optical micrographs of the samples joined with sintering showing the interface between (a) Ring 1-Pellet (b) Ring 2-Pellet)

Burç–pelet numuneleri 600 MPa basınç altında preslendikten sonra ham halde mekanik geçme sonrası 1120°C’de 45 dakika boyunca endogaz atmosferi altında sinterlenerek birleştirilmiştir. Ham halde sinterleme ile birleştirilen burç–pelet numunelerin optik mikroskopla incelenen arayüzey bölgeleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Burç-pelet parçalarının arayüzeyleri incelendiğinde arayüzey çizgisinin bazı yerlerde tamamen kaybolduğu görülmüştür. Bu durum mekanik geçme sonrası birleştirilen parçalar arasında sinterleme esnasında iyi bir yayılım olduğunu ve kaynaklanmanın gerçekleştiğini göstermektedir.

Ham halde 1120°C’de 45 dakika süre ile endogaz ortamında sinterleme ile birleştirilen burç–pelet numunelerinin arayüzeylerinden bir hat boyunca Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) analizi yapılmıştır. Bu analiz neticesinde, arayüzeyin her iki tarafında yayılan alaşım elementleri hakkında fikir edinilmiştir. Şekil 3’de numunelerin EDS analiz görüntüleri verilmiştir. Burç 2–pelet numunelerinin arayüzey bölgelerinde bakır yayılımının baskın olduğu görülmüştür. Karbon ise arayüzeyin her iki tarafında eşit miktarda yayılım göstermiştir. Sonuç olarak arayüzeyin her iki tarafında yayılan alaşım elementlerinin iyi bir bağ dayanımına imkan sağladığı gözlenmiştir.



Şekil 3. Ham halde sinterleme ile birleştirilen (a) Burç 1–Pelet (b) Burç 2–Pelet numunelerinin arayüzey EDS analizleri. (EDS analysis of the interfaces formed by joining with sintering in the green state (a)Ring 1-Pellet (b) Ring 2-Pellet)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada demir esaslı tozların ham ve ön sinterlenmiş halde mekanik geçme sonrası sinterleme ile birleştirilmesi incelenmiştir. Demir esaslı tozlardan preslenerek hazırlanan burç (Fe-%0,6P, Fe-%0,6P-%2Cu) ve pelet (Fe-%0,6P-%3Cu-%0,4C) numuneler ham ve ön sinterlenmiş halde mekanik geçme sonrası sinterlenerek birleştirilmiş ve bağ dayanım değerleri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda ham halde mekanik olarak geçirilen parçaların sinterleme ile birleştirme işlemlerinin yeterli düzeyde bağ dayanımı sağladığı bulunmuştur.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma SanTez projesi kapsamında, "Demir Esaslı Parçaların Sinterleme ile Birleştirilmesi" proje adı ve 00253.STZ.2008-1 numaralı proje kodu ile, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Tozmetal A.Ş. ve TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'nin destekleri ile yapılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hamill, J.A., Joining of Ferrous P/M Materials - Principles and Case Studies, **The International Journal of Powder Metallurgy**, 37(7), 41-45, 2001.
2. Fillabi, G., Simchi, A., Kokabi, H., Effect of Iron Particle Size on the Diffusion Bonding of Fe-5%Cu Powder Compact to Wrought Carbon Steels, **Materials and Design**, 29 (2), 411-417, 2008.
3. T.Tabata, S.Masaki, K.Kitagawa, Y.Matsuoka, K.Minami, Fabrication of Composite Parts by Sinter Bonding, **The International Journal of Powder Metallurgy**, 27 (3), 265-273, 1991.
4. T.Tabata, S.Masaki, H.Suzuki ve Q.Zhu, Bond Strength of Sinter Bonded Composite Preforms, **The International Journal of Powder Metallurgy**, 25(1), 37-41,1989.
5. C.Çetiner, İ.Uslan, S.Sarıtaş, Toz Metal Bronz Yatağın Düşük Karbonlu Çeliğe Difüzyon Kaynağında Mikroyapısal Tespitler, **3. Uluslararası Toz Metal Konferansı**, 1322-1330, 2002.
6. K.Asaka and T.Hayasaka, Diffusion Bonding Method to Assemble Green Compacts During Sintering, **Metal Powder Report**, 39, 347-350, 1984.
7. T.Pieczonka and J.Kazior, Sinter-Bonding of Iron Based Compacts Containing P and Cu, **Materials Science Forum** 534, 633-636, 2007.
8. Akatsu, H., Iijima M., Direct Diffusion Bonding Technique for Ferrous P/M Parts. **Modern Developments in Powder Metallurgy**, 16, 195-208, 1985.
9. Vyal, E., Laptev, M., Use of certain binders to increase the strength of green compacts, **Powder Metallurgy and Metal Ceramics**, 44, 614-618, 2005.
10. A.Aksoy, R.Ünal, Sıkıştırma Basıncı ve Yağlayıcı Miktarının Demir Tozlarının Ham Mukavemetine Etkisinin Araştırılması. **10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi**, 2004.
11. Simchi, A., Effects of Lubrication Procedure on the Consolidation, Sintering and Microstructural Features of Powder Compacts, **Materials and Design**, 24, 585-594, 2003.
12. Lund, J.,Origins of Green Strength in Iron P/M Compacts, **The International Journal of Powder Metallurgy and Powder Technology**, 18(2), 117-127, 1982.
13. Phadke, B., Relationship Between Transverse Rupture Strength and Hardness of P/M Fe-Cu Alloys, **The International Journal of Powder Metallurgy and Powder Technology**, 17(1), 37-43, 1981.
14. Kohno, T., Koczak, M.J., Rajagopalan, V., Nishino Y., Sintering Improvements in Strength and Dimensional Control Utilizing Eutectic Phosphide Additions in Iron-Copper-Carbon Alloys, **Modern Developments in Powder Metallurgy**, 15, 521-540, 1985.
15. ASM Handbook, Vol. 7, **Powder Metallurgy**, ASM International, USA, s.1107, 1998.
16. German, R.M., Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Editörler: S.Sarıtaş, M.Türker, N.Durlu, Ankara: **Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları**, 2007.
17. Lawcock, R.L., Davies, T.J., Effect of Carbon on Dimensional and Microstructural Characteristics of Fe-Cu Compacts During Sintering, **Powder Metallurgy**, 33 (2), 147-150, 1990.
18. Wang, F.,W., 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 A**, 402, 92-97, 2005.