

Makalenin Geliş Tarihi : 26.04.2009
Makalenin Kabul Tarihi : 28.09.2009

METALİK TOZ İŞLEME TEKNOLOJİSİ VE PROSESLEME KADEMELERİ AÇISINDAN PARAMETRİK İLİŞKİLER

Şadi KARAGÖZ¹, Rıdvan YAMANOĞLU¹, Ş. Hakan ATAPEK¹

ÖZET: Günümüzde metalik toz işleme teknolojisine olan yönelimler ve bunun paralelinde malzeme üretimine yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Metalik malzemelerin günümüz endüstrisinde kullanımı ise seramik ve plastik malzemelere kıyasla geniş bir alanı kapsamaktadır. Uzay, havacılık, askeri, otomotiv sanayisi başta olmak üzere çok çeşitli alanlarda kullanılan toz esaslı seri üretim parçaları, konvansiyonel üretim sonrası elde edilen malzemelere göre çoğu kez hem maliyet, hem de üretilebilirlik özellikleri açısından avantajlı bir konumdadır.

Bu çalışmada, toz metalurjik malzemelerin prosesleme kademeleri ve ilgili toz boyutu ve boyut dağılımı, toz şekli, tozun yüzey kalitesi ile üretim için şekillendirme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve zamanı tanıtılmıştır. Bu konuda Ti6Al4V, IF ve molibden önalaşımli çelik esaslı malzemeler üzerine örneklemeler yapılmış ve varolan ilişkilerin altı çizilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Toz Metalurjisi, Prosesleme, Seri Üretim Parçası.

METALLIC POWDER PROCESSING TECHNOLOGY & PARAMETRIC RELATIONSHIP IN TERMS OF PROCESSING STEPS

ABSTRACT: Recently trends towards metallic powder processing technology and research & development studies on material manufacturing has gained importance. In present day technology use of metallic materials covers a wider range than ceramic and plastic ones. In many industries especially in aerospace, military and automotive, powder based parts have cost and productivity advantages compared to the conventially produced parts.

In this study, parameters like powder size, size distribution, shape, surface quality, compaction pressure, sintering temperature and time are considered related with the processing stages. Case studies are given on Ti6Al4V, IF and molybdenum pre-alloyed steel based materials and relations found are emphasized.

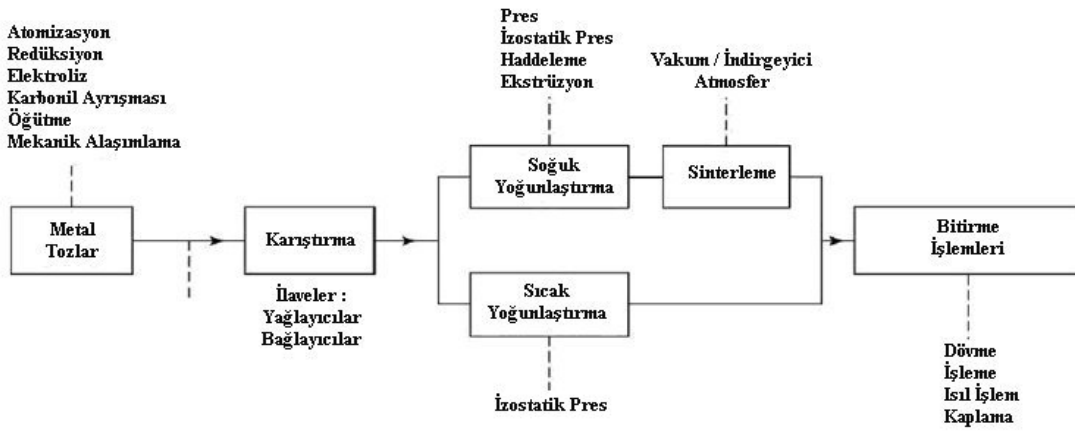
KEYWORDS: Powder Metallurgy, Processing, Serial Production Parts.

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Yerleşkesi, 41380, KOCAELİ

1. GİRİŞ

Günümüz gelişen endüstrisi açısından yüksek çalışma performansı ve kaliteye sahip parçaların tek etapta talaşlı işleme gerek duyulmaksızın üretilebilmesi önem kazanmaktadır. Söz konusu veri bir parçanın mekanik özellikleri ve buna ek olarak fiziksel-kimyasal özellikleri, çalışma koşulları altında elverişli ve tekrarlanabilir üretim devamlılığının sağlanması açısından önemli bir rol oynamaktadır. Konvansiyonel üretim teknikleri (döküm, plastik şekil verme) ile parça üretimine iyi bir alternatif olan toz metalurjisi işlemleri ile parça üretimi, bu açıdan endüstriyel anlamda belirli bir uygulama alanına hizmet vermektedir [1].

Metalik toz işleme teknolojisi açısından toz üretimi, toz karışımı hazırlama, toz karakterizasyonu gibi metalik/alaşım toz karakteristikleriyle, presleme ve sinterleme gibi işlem kademeleri, nihai ürünün tüm özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Genel akış şeması açısından basit seviye bir üretim teknolojisi gibi görünen bu yöntem, özünde birçok parametrik ilişkiler barındırmakta olup ürünün mikroyapı üzerinden mekanik ve fiziksel-kimyasal özelliklerine doğrudan kuvvetli bir etkisi vardır. Şekil 1, temel metalik toz işleme teknolojisi üretim kademelerini göstermektedir [2].



Şekil 1. Metalik toz işleme akış şeması [2].

Metal tozun üretimi birçok teknikle gerçekleştirilir. Burada amaç toz üretimini belirli şekil ve boyut dağılım aralığında, herhangi bir kirlenme içermeksizin üretmektir. Bu aşamada toz karakterizasyonu bir sonraki üretim kademeleri açısından önemlilik arz eder. Kontrollü bir başlangıcın, istenen kalitede parça üretimini sağlayamaması kaçınılmazdır. Tozun şekil ve boyut özellikleri ön-hazırlama aşamasında iyi bir harmanlama veya karışım oluşumu açısından önemli rol oynarken özellikle presleme esnasında homojenlik, iyi sıkıştırabilirlik ve yüksek ham yoğunluk kazandırılması açısından kontrol edilmesi gereken kavramlar olarak düşünülmelidir. Tüm bunların ötesinde sinterleme aşamasında ilk kademelerin optimizasyonun sağlanması ile arzulanan seviyede mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliğe sahip parça üretimi gerçekleştirilmiş olacaktır [3]. Şekil 2, çeşitli yöntemlerle üretilmiş toz şekillerini örneklemektedir [4].



Şekil 2. Çeşitli üretim teknikleri ile üretilmiş toz şekilleri [3].

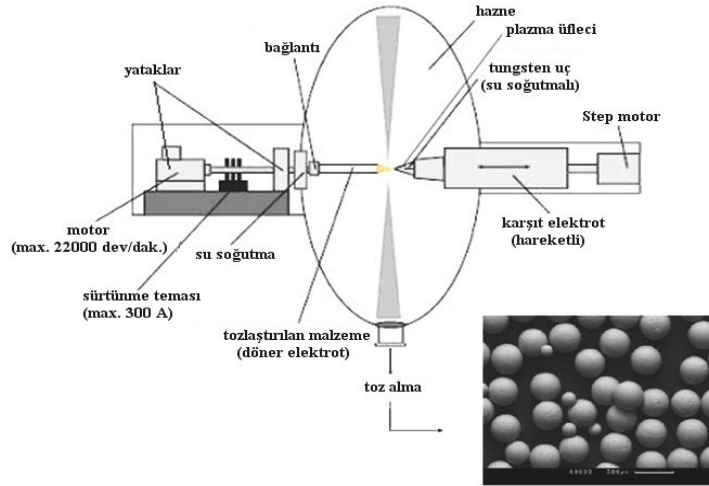
Hazırlama veya karışım sırasında bağlayıcı türü ve miktarı ile özellikle uygulanan presleme tekniği, presleme sıcaklığı ve basıncı önemli parametrelerdir. Sinterleme, atomistik konumda bağ yapısının oluşumu ve nihai mukavemetlerin parçaya kazandırıldığı aşama olması nedeniyle prosesleme açısından oldukça önemlidir. Bu anlamda sinterleme sıcaklığı ve süresi bir diğer önemli parametredir [5].

Parça geometrisi söz konusu iken toz metalurjisi konvansiyonel üretim tekniklerine göre çok çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bunların başında kompleks şekilli, yüksek toleranslı ve ergitilerek şekillendirilmesi zor parçaların üretimini avantajlı kılması gelir. Mekanik özellikleri göz önüne alacak olursak pres ve sinter sonrası gözenek dağılımının muhakkak kontrol edilmesi gerekmektedir. Gözenek türü ve dağılımı açısından üretim kademelerinin her biri kendince önemlidir. Toz şekli, boyutu ve dağılımı, presleme tekniği ve basıncı, ısıl ortam, sıcaklık ve zaman gibi parametreleri de kapsayan çok fonksiyonlu bir üretim nihai ürüne giden yolu açacaktır [6].

II. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışma esas itibari ile toz metalurjik işleme ve üretim kademeleri ile bu kademeler açısından önemlilik arz eden parametrelerin örneklendirilmesini içermektedir. Çok fonksiyonlu işlem kademelerinin uygun şartlar altında sağlanması sonucu homojen dağılımlı bir mikroyapıya ve bunun sonucu kullanım açısından iyi performanslara sahip parçaların üretimini sağlayacak kavramlar üzerinde durulacaktır .

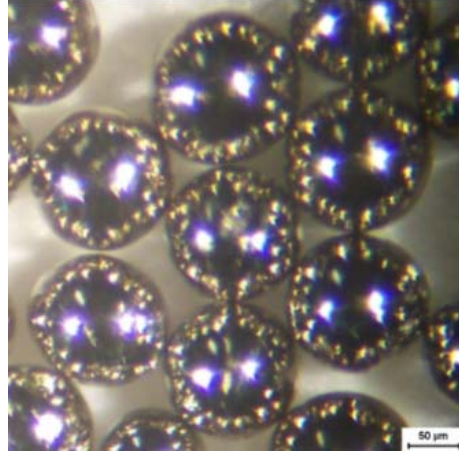
Deneyisel çalışmada çoğunlukla temiz ve reaktif yüzeye sahip, oksidasyon seviyesi oldukça düşük, küresel ve belirli bir boyut aralığında bulunan ve yeralan plazma destekli dönel elektrod yöntemi ile üretilmiş tozlar üzerinde çalışılmıştır. Şekil 3, bu üretim sistemini şematik olarak göstermektedir. Atomize edilecek anot çubuk ile yüksek sıcaklık performansına sahip katot arasında uygulanan gerilim sonucu bir ark oluşturulur. Anodun kendi ekseninde ön-belirlenen hıza bağlı olarak dönmesi, yüzeyde sıvı film tabakasının oluşumu ve dönme ile birlikte tabakanın parçalanması söz konusudur [7]. Üretim sonrası toz karakterizasyonu gerçekleştirilmiş olup prosesleme kademeleri üzerine etkisi irdelenecektir. Preslenmiş ve sinterlenmiş nihai parçalar üzerinde hem mikroyapısal hem de fraktografik etüdler yapılarak toz metalurjik prosesleme kademelerinde gerçekleşen mekanizmalara olan etkiler üzerinde durulmuştur.



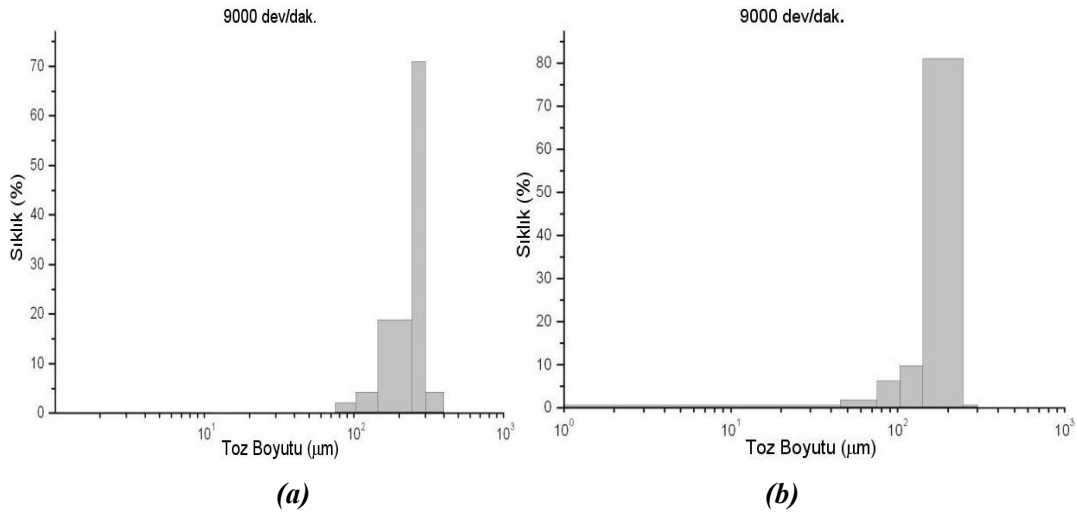
Şekil 3. Plazma destekli dönel elektrot sistemin şematik gösterimi.

Şekil 4’de PREP ile son derece temiz olarak üretilen Ti6Al4V esaslı tozlara ait bir makro görüntü sunulmuştur. Santrifüj atomizasyonu sürecinde rotasyonda bulunan silindirik çubuğun altında ark nedenli oluşan sıvı film tabakasının merkezkaç kuvvetleri ile savrulması sonrası kopan ergiyik parçacıkları hazne içerisinde yer çekim kuvvetlerinin katkısı ile katılaşana kadar yüzey gerilimleri altında küreselleşme eğilimi göstermektedir [8]. Çoğu uygulama açısından küresel tozlar arzulanmaktadır. Bunun birincil nedeni ise geometrik olarak kürenin hacim başına maksimum bir yüzey alanına sahip olması ve özellikle gerek presleme gerekse de sinterleme kademelerinde toz-toz temasının homojen ve çok yönlü olmasıdır.

Özellikle plazma destekli dönel elektrot yönteminde rotasyon hızı nihai toz boyut ve boyut aralığını doğrudan etkilemektedir. Artan rotasyon hızına bağlı olarak toz boyutları azalmaktadır [9]. Toz metalurjisinde başlangıç toz boyut dağılımı önemli bir parametre olup akışkanlık, sıkıştırılabilirlik, atomistik bağ oluşumu ve bunlara ek olarak nihai mekanik özelliklerin belirlenmesinde önemlilik arz etmektedir. Toz üretiminin ardından üretim koşullarındaki parametrelere bağlı olarak değişen boyut ve boyut dağılımlarının belirlenmesi amacıyla pratikte elek analizi yapılmaktadır. Bu analiz sonuçlarına göre de tüm toz boyut dağılım eğrileri log-normal bir yaklaşımla histogramlar olarak değerlendirilir. Şekil 5’de yine aynı yöntemle üretilen Ti6Al4V alaşımı ve IF çeliği (intersititial free; ppm seviyesinde karbon içeren manganlı yalın çelik) için toz boyut dağılımları verilmiştir.



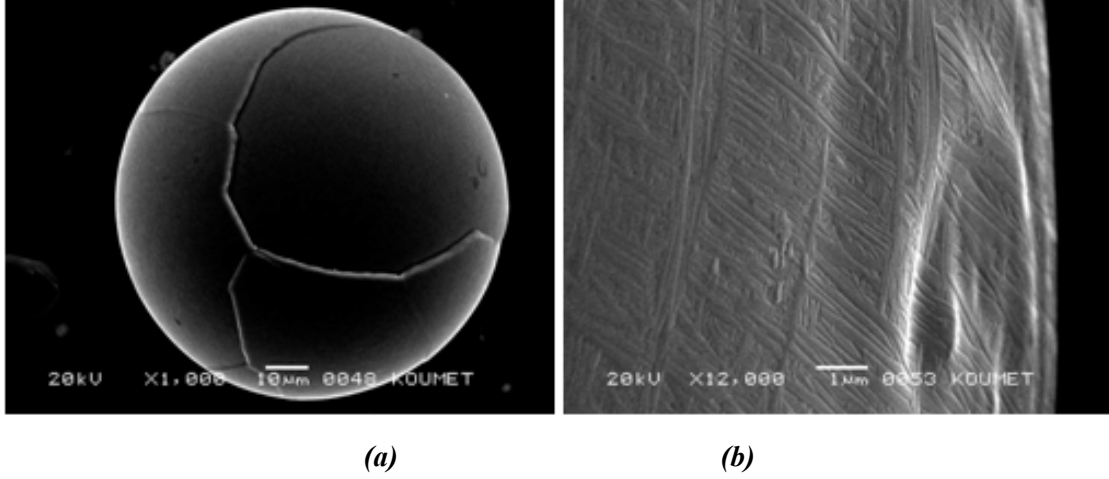
Şekil 4. Atomize Ti-6Al-4V tozlarına ait makro görüntü.



Şekil 5. Ti-6Al-4V alaşımı (a) ve IF çeliği (b) için toz boyut dağılımları.

Tozun sahip olduğu alaşım kimyası doğrultusunda katılaşması ve buna ait karakteristik oluşumlar da önemlidir. Heterojen çekirdeklenme açısından oluşuma yönelik serbest enerji gereksinimi, homojen çekirdeklenmeye (yüksek soğuma hızı koşullarında) kıyasla daha düşük olup, yapı içerisinde varolan ve çoğunlukla empürite olarak kabul gören yöreler ideal çekirdeklenme yöreleridir. Şekil 6a'da küresel ve görünen kısmı ile birkaç tane sayısına sahip Ti6Al4V toz örneği verilmiştir. Tozların katılaşma esnasında birbirleri veya hazne ile olan

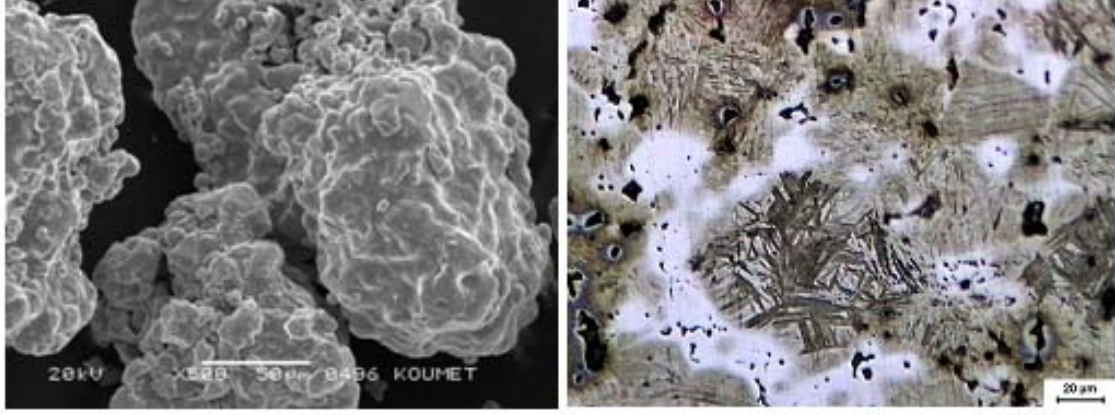
temasları sonrasında yüzey deformasyonlarına sahip olmaları kaçınılmazdır. Şekil 6b’de bu tür bir oluşum örneklendirilmiştir. Çoğu malzemede olduğu gibi toz yüzeyinde de bulunan pürüzlülük gibi süreksizlikler uygulamaya bağlı olarak istenmemektedir. Bu tür pürüzlülüğe sahip bir tozun özellikle presleme kademesinde kalıba olan akışkanlığı mekanik kilitlenmelerden dolayı azalacaktır [3].



Şekil 6. Atomize tozlara ait tarama elektron mikroskop (SEM) görüntü örnekleri.
(a) Ti6Al4V toz (b) Toz yüzeyinde deformasyon örneği

Şekil 7a’da ise sinter çelik parçalarında kullanılan HP1 (% 2.0 Cu, % 1.5 Mo ve % 4.0 Ni) tipi tozlara ait bir SEM görüntüsü verilmiştir. Daha sonrasında bu tozlar % 0.8 UF4 grafit ve % 0.5 çinkostearat ile karıştırılmıştır. Uygun toz karışımları yaklaşık 400 MPa basınçta çift eksenli olarak yoğunlaştırılmış ve ham yoğunluktaki parçalar sinter-sertleştirme fırınına yüklenerek 1120 °C de yaklaşık 30 dakika sinterlenmiştir. Parçaların preslenmesi aşamasında parça kesit boyunca homojen olmayan pres yüklerinin bir sonucu olarak basınç gradyentleri oluşmaktadır. Bu ise toz-toz etkileşimi açısından bir heterojenliği ifade etmekte olup mikroyapı açısından gözeneklerin oluşumuna neden olacaktır. Parça kenar ve merkez arası farklı basınç gradyentlerinden dolayı gözenek tipi, boyutu ve sıklığı değişkenlik gösterecektir. Eşdeğer koşullarda parça sinterleme ısıl işlemine maruz kalsa bile genelinde var olan bu heterojenlik nihai ürüne doğrudan yansiyacaktır. Şekil 7b’de siyah çukurcuklar gözenekleri gösterirken matriksin tipik bir martenzitik yapı oluşturduğu açıktır. Şekil 8’de parçanın kenar ve merkez

kesitinden alınan parlatılmış görüntü örneğinde gözenekler siyah çukurcuklar olarak gözlenmektedir. Diğer taraftan sıklık-gözenek boyutu diyagramlarına baktığımızda gözlemlenene paralel olarak özellikle kenarda gözenek boyutlarının yüksek olduğu görülmektedir.



(a)

(b)

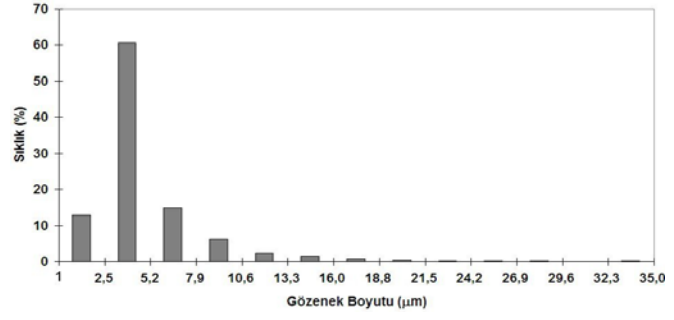
Şekil 7. (a) Sinter çeliklerin üretiminde kullanılan HP1 tozları; SEM görüntüsü.

(b) Preslenmiş ve sonrasında sinterlenmiş çeliğe ait mikroyapı, Işık mikroskop görüntüsü.

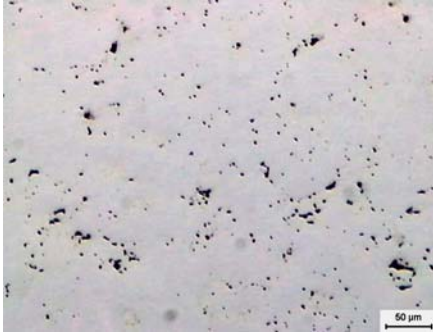
Tozun üretimi sonrasında sahip olduğu karakteristik özellikler açısından presleme ve sinterleme koşulları da önemlilik arz etmektedir. Presleme basıncı veya kullanılan sistemin yetersizliği ve bunun sonrasında uygulanan sinterleme açısından zaman-sıcaklık-atmosfer parametrelerinin uygun seçilmemesinin bir sonucu olarak nihai parçadan beklenen performansı saptayan tüm özellikler düşmektedir. Şekil 9'da verilen HP1 çeliğine ait kırılma yüzey görüntüsü bu duruma güzel bir örnek teşkil etmektedir.



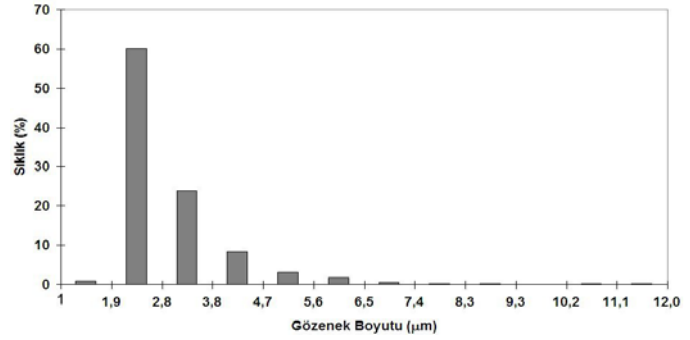
(a)



(b)



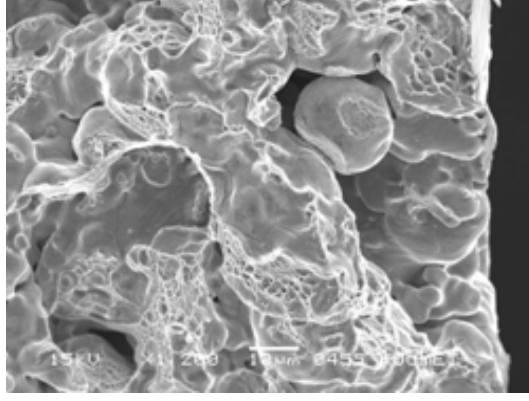
(c)



(d)

Şekil 8. Preslenmiş ve sinterlenmiş HPI sinter çelik parçaya ait mikroyapı ve sıklık-gözenek boyutu histogramları. (a) parça kenarı ve (b) kenara ait histogram, (c) parça merkezi ve (d) merkeze ait histogram.

Kırılma yüzey görüntüsünden de görüldüğü üzere matriksi ile tam bağ kuramamış bir toz tanesi çeliğin gerçekte mekanik özelliklerini doğrudan kötüleştirecektir. Kendisini çevreleyen boşluklar ideal çatlak çekirdeklenme görevini üstlenecek ve herhangi bir yüklenme altında parçanın hasara uğramasına neden olacaktır. Bağlantının oluştuğu kısıtlı alanlar tok bir kırılma karakteristiği sergilemektedir.



Şekil 9. HP1 sinter çeliğine ait kırılma yüzey görüntüsü, SEM

III. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Endüstriyel gelişimin bir sonucu olarak teknolojik üretim ve sonrasında optimum materyal özelliklerine sahip kullanılabilir parçaların üretimi mümkün olmuştur. Bu çalışmada konvansiyonel üretim tekniklerine bir alternatif olan metalurjik toz üretimi ve bu üretime ait prosesleme kademelerinin yanı sıra bu kademelerin alt fonksiyonlarını oluşturan parametreler üzerinde durulmuştur. Toz üretimi, karakterizasyonu, şekillendirme ve sinterleme gibi proses kademeleri önemli üst başlıkları oluşturmaktadır. Her bir proses kademesi kendi içerisinde değişken birçok kavramı içermekte olup bu parametrelerin görece olarak değişimi nihai parçanın çoğu özelliğini direkt ya da indirekt olarak etkilemektedir.

Çalışmada atomizasyon tekniği ile üretilen titanyum ve demir esaslı alaşım tozlarının şekil, boyut ve boyut aralığı kavramları ile örneklendirilmesi yapılmıştır. Tozun sahip olduğu şekil, boyut ve boyut aralığı gibi kavramlar, diğer işlem kademelerini doğrudan etkilemekte olup optimizasyon açısından önemlidir. Diğer taraftan presleme esnasında uygun basınçların seçilememesi nedeni ile kompakt malzemede merkez-kenar arası yoğunlaşma farklılıklarının var olması, preslenmiş parça üzerinde yapılan metalografik ve görüntü analizi işlemleri ile ortaya konmuştur. Gözenek ve gözeneklilik kavramları -toz metalurjik parça üretimi söz konusu iken- üzerinde yoğun çalışılması gereken bir esas olup varlığı genelde arzulanmaz. Ancak içyapıda filtre amaçlı malzemelerde belli bir gözenek dağılımına yer verilirken, yüksek mekanik performansın istendiği uygulamalarda ürün içerisindeki dağılımının mümkün mertebe minimize

edilmesi gerekecektir. Tüm bunların dışında özellikle pres+sinterleme sonrası parça içerisinde mikroyapısal homojeniteden bahsedebilmek önemlidir. Fraktografik bir etüd sonrasında toz-toz temasının presleme ve sinterleme koşullarında optimize edilememesinin bir sonucu olarak boşluk oluşumlarının var olduğu ve bu oluşumların parçada yüklenme koşulları altında çatlak başlangıcına neden olacağı görülmüştür. Bu da seri üretim parçasının dayanım açısından zayıf kalacağını işaret etmektedir.

IV. KAYNAKLAR

- [1] P.R. Roberts, “*Metals Handbook*”, Vol. 7, Powder Metallurgy, Coordinator E. Klar, Ninth Edition, ASM, Metals Park, OH, 1984.
- [2] Ş. Karagöz, R. Ymanoğlu, “PREP Atomizasyonu ile Üretilen Tozların Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı”, 4. Otomotiv Kongresi Bildiriler Kitabı, ss. 587-592., Bursa, 2008.
- [3] S. Sarıtaş, M. Türker, N. Durlu, “Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları, Ankara, 2007.
- [4] R. M., German, “*Powder Metallurgy Science-2. Ed*”, MPIF, Princeton, New Jersey, 1994.
- [5] A. Lawley, “*Atomization – The Production of Metal Powders*”, Metal Powders Industries Federation, Princeton, N. J., 1992.
- [6] T. Allen, “*Powder Sampling and Particle Size Measurement*”, Vol. 1, 5th Edition, 1997.
- [7] Ş. Karagöz, R. Ymanoğlu, “PREP Atomizasyonu ile Toz Üretim Karakteristiklerinin Belirlenmesi,” 12. Uluslararası Metalurji-Malzeme Kongresi, İstanbul, 2005.
- [8] Ş. Karagöz, R. Ymanoğlu, “Production of Ti6Al4V Alloy Powder for Biomedical Applications,” *Metal World Technical Magazine*, Vol. 156, pp. 116-118, 2006.
- [9] Ş. Karagöz, R. Ymanoğlu, “PREP Atomizasyonu ile Alaşım Tozu Üretimi ve Karakterizasyonu,” 4. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı, Sakarya, 2005.