

# Atomize Tozlarda Katılma ve Mikroyapısal Karakterizasyon

## Solidification and Microstructural Characterization on Atomized Powders

Şadi KARAGÖZ, Rıdvan YAMANOĞLU ve Ş. Hakan ATAPEK\*

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Yerleşkesi, 41380, Kocaeli

Geliş Tarihi/Received : 21.01.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 15.05.2009

### ÖZET

Atomizasyon teknikleri ile üretilen tozların homojen mikroyapı, düşük empürite içeriği ve arzulan boyut aralığında üretimi gibi sunduğu birçok avantajlar doğrultusunda endüstriyel uygulamalarda kullanımı söz konusudur. Bu çalışmada santrifüj atomizasyonu ile üretilmiş demir ve demir dışı esaslı bazı alaşım tozlarının katılması irdelenmiş olup tüm tozların mikroyapısal karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** *Toz metalurjisi, Atomizasyon, Katılma, Mikroyapısal karakterizasyon.*

### ABSTRACT

Powders produced by atomization techniques are commonly used in many industrial applications due to their many advantages such as homogeneous microstructure, low contamination and production of desired size range. In this study, the solidification of some ferrous and non-ferrous based alloy powders were considered and microstructural characterization of all powder was carried out.

**Keywords :** *Powder metallurgy, Atomization, Solidification, Microstructural characterization.*

### 1. GİRİŞ

Günümüz teknolojik gelişmelerin sunmuş olduğu avantajlar endüstriyel anlamda çoğu işleminin, parça üretiminin veya veri otomasyonun belirlenmesi halinde doğrudan kullanıma yönelik ürün çıktısının elde edilmesine imkan vermektedir. Çoğu konvansiyonel üretim tekniği (döküm, şekillendirme vb.) bu tür bir olgunun gelişimine şüphesiz liderlik yapmaktadır.

Alışagelmiş parça üretiminden teknolojik parça üretimine olan eğilim ve buna paralel olarak üretimde toz metalurjik yöntemlerin uygulanması gelişimin devamına yönelik eksik parçaları tamamlamaktadır. Konvansiyonel yöntemlerle üretimi oldukça zor veya maliyet gerektiren çoğu parça üretiminin yüksek boyut toleransları ve seri bir şekilde eldesini mümkün kılan toz metalurjik parça işleme teknikleri havacılık, uzay, denizcilik, otomotiv, medikal gibi bir çok alanda kullanılan parçanın üretiminde kolaylık sağlamaktadır. Tüm bunlar söz konusu iken toz metalurjik malzeme üre-

timinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması kaçınılmazdır (German, 1994; Yamanoğlu, 2005).

Malzeme üretimi söz konusu iken işleme şartları ve malzemeye özgü özellikler nihai ürün özelliklerini doğrudan belirleyecektir. Bu açıdan bakıldığında malzemenin mikro seviyede sahip olduğu yapıyı özetleyen 'mikroyapı' performansla yönelik malzemenin tüm özelliklerini doğrudan belirlemektedir. Genel anlamda homojen ve ince dağılım gösteren mikroyapılar malzemeye üstün mekanik özellikler sağlamaktadır. Üretim yöntemi bu aşamada önemli bir kavram olarak değerlendirilir. Döküm ile büyük boyutlu malzemelerin üretimi hem zor hem de kontrol edilemeyen bir katılma sonrasında heterojen ve kaba bir dağılım göstererek sahip olduğu içyapı çoğu açıdan düşük mekanik özellikler sergileyecektir. Özellikle malzeme içi alaşım konsantrasyon farklılığının bir sonucu olarak oluşan makro veya mikro seviye segregasyonlar heterojen oluşumları ve düşük mekanik performansı teşviklendirecektir. Diğer taraftan kompleks parça üretiminde şekillendirme ve nihai üre-

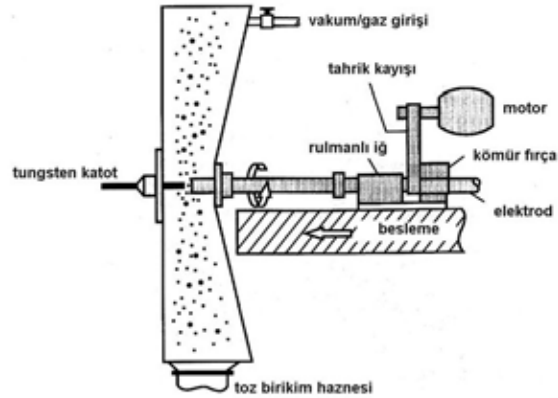
\* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : karagoez@kocaeli.edu.tr (Ş. Karagöz)

ne giden süreçte istenen yüksek toleransların parçaya kazandırılmaması, plastik şekil verme yöntemleri (çekme/basma, ekstrüzyon, dövme vb.) ile üretimi zayıflatacak karakteristiktir (Schatt v.d., 1994)

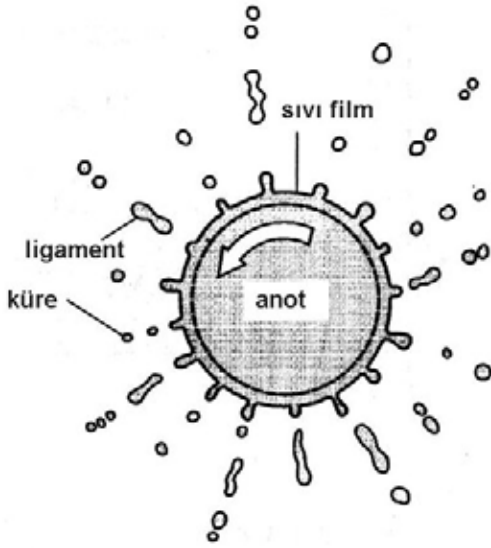
Ergiyik hale getirilen herhangi bir metal veya alaşım sisteminin atomize edilmesi basınçlı gaz/su veya merkezkaç kuvvetleri yardımı ile sağlanır. Atomizasyonun gerçekleştirildiği işlemede seçilen yöntem şüphesiz ki tozun katılma morfolojisi, boyut, şekil ve diğer birçok karakteristik özelliğini belirleyecektir. Özellikle gaz atomizasyon sistemlerinde  $10^3-10^4 \text{ Ks}^{-1}$  gibi yüksek soğuma hızlarına erişilmekte ve toz i yapısının çok ince ve homojen dağılımlı olması sağlanmaktadır. Su atomizasyon sisteminde ( $v=10^4-10^5 \text{ Ks}^{-1}$ ) ise genelde şekilsiz ve yüksek oksit içeren kaba bir toz yapısı elde edilmektedir. Her iki sistemde de ergiyik hale getirilen metal veya alaşım üzerine gerek düşey gerekse de yatay konumda basınçlı su/gaz yönlendirilip ergiyik metalin basınç yoğunluğunu aşarak bir tür patlatma etkisi ile daha küçük damlacıklara ayrışması ve hemen sonrasında hazne içerisinde yerçekim kuvvetleri altında soğuyarak katı hale geçmesi ve küçük boyutlu toz yapısına ulaşması hedeflenir. Tüm bunların dışında özellikle merkezkaç veya bir diğer ifade ile santrifüj kuvvetlerle yapılan atomizasyon sonrasında merkezden dışarı doğru filmin yayılmasını ve ana parçadan kopmasını sağlayan kuvvet (dönme hızı) tozun boyut ve şekil parametrelerini belirlemektedir. Teknolojik açıdan yaklaşılacak olursa REP (Rotating Electrode Process) veya PREP (Plasma assisted Electrode Process) gibi yöntemler santrifüj esaslı atomizasyon tekniklerinin başında gelir. Şekil 1'de dönel elektrot yöntemi (REP) şematik olarak verilmiştir. Yöntemde yer alan aparat toz haline getirilecek malzemeden yapılmış tüketilebilir bir elektrottur. Elektrot, bir plazma arkı veya sabit tungsten elektrot ile ergitilir. Tüketilen elektrot anot olup dönme hızı 17.500 devir/dakika'ya kadar artırılabilir. Elektrot dönüşü bir dış motor sistemi ile sağlanır. Ergime oluşunca tüketilebilir elektrot bir dış mekanizma ile hazne içerisine doğru beslenir. Elektrot ile olan elektrik teması hazne dışında sürtünme fırçalarıyla sağlanır. Gaz atomizasyonunda olduğu gibi santrifüj atomizasyonunda da tozları oksidasyondan korumak için işleme inert gaz ortamı altında gerçekleştirilir. Şekil 2'de ise tipik bir santrifüj atomizasyonunda yüzeyde oluşan filmin merkezden dışarı doğru giderek yayılması ve dönme hızına bağlı olarak hazne-

ye savrulması şematik olarak gösterilmiştir (German, 1994; Shukla v.d., 2001).

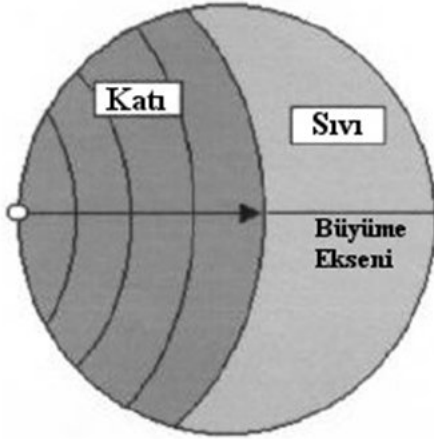
Ergiyik filmde kopan damlacıkların boyutları şüphesiz ki nihai toz boyutunu doğrudan belirleyecektir. Bu durumda basınç veya özellikle REP/PREP gibi sistemlerde dönme hızı etken kavram olacaktır. Ergiyiğin soğutulması söz konusu iken katılma çirdeklenme yöreleri, çirdeklenme potansiyeli ve katılma açısından önem arz eden tüm bu çirdeklerin hacimsel dağılımı gibi birçok faktör etkileyecektir. Örneğin, gaz atomizasyonunda sıvı damlacıkların boyut aralığı geniştir. Geniş bir alanda soğumanın sağlanıp homojen bir i yapı dönüşümün başarılması, ergiyik içerisinde veya atomizasyon haznesinde yer alan yüksek miktarda çirdeklenmeyi sağlayıcı oluşumlardan kaynaklanır. Ergiyik içerisinde kaçınılmaz bir şekilde varolan empüritelere veya hazne içi atomizasyon gazı habbecikleri bu görevi üstlenmektedir. Herhangi bir noktadan çirdeklenmenin başlaması sonrasında soğuma koşulları altında sıvı-katı arayüzünün hareketine ve nihai olarak tüm sıvının tüketilerek katı formun oluşumuna neden olacaktır. Şekil 3'de şematik olarak soğuma altında hem sıvı-katı arayüzeyi hem de katılma eksenine paralel olarak veri bir ergiyik parçacığı katı kristalin büyüme eksenini gösterilmiştir (Shukla v.d., 2001).



Şekil 1. Santrifüj atomizasyon; dönel elektrot yöntemi (REP). Tungsten katot kullanarak oluşturulan bir ark yardımıyla hızla dönen elektrot mil (anot) ergitilir. Vakum yada inert gaz ortamında anottan savrulmuş sıvıdan toz meydana gelir.



Şekil 2. Döner elektrotta sıvı filmin kopması ve küresel partiküllerin oluşumu.



Şekil 3. Soğuyan bir damlacıkta katılaşma boyunca arayüzey hareketinin şematik gösterimi.

Tozlar küçük boyutludur ve bu açıdan bakıldığında masif büyük boyutlu parçalara göre daha hızlı soğurlar. Hızlı katılaşma ile üretilen toz mikroyapıları denge konumda üretilenlere kıyasla farklılıklar içerebilir. Daha ince ve az miktarda segregasyon bu farklılıklar için uygun örneklerdir. Döküm yapısı çoğunlukla dendritik katılaşma sergilemekte ve soğumanın bir fonksiyonu olarak özellikle büyük boyutlu parçalarda heterojen kaba bir içyapı sunmaktadır. Dendritik arayüzeylerde veya bir başka ifade ile interdendritik yörelerde çoğunlukla empürite atomları yer almakta ve azalan sıcaklıkla birlikte atomların kafes içi çözünürlüklerin azalmasının bir sonucu olarak çökelmeler oluşmaktadır. Tüm bu çökeltiler malzeme bileşimine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu çökeltiler kalıntı, intermetalik, karbür, nitrür ve karbonitrür gibi deği-

şik evre varyasyonları içerebilir. Tüm bunlar gerçekte kompozisyonel değişimlerin bir sonucu olan segregasyonları işaret etmektedir (Sarıtaş, 2007).

Sıvı fazdan katı faza geçerek katılaşan bir metal veya alaşım sisteminde orjinal yapı olan dendritik yapı ve sahip olduğu birincil/ikincil kollar malzemenin çoğu özelliklerini doğrudan belirlemektedir. Özellikle ikincil dendrit kolları aramesafe soğuma oranının bir fonksiyonu olarak belirlenir ve genel olarak artan bir soğuma oranında ikincil dendrit kolları aramesafesi azalır (Verhoeven, 1975).

Bu çalışmada demir ve demirdışı esaslı metalik tozların PREP yöntemi ile üretimi, katılaşma morfolojileri ve mikroyapısal karakterizasyonları sunulmuştur. Örnek tozlar ile boyut ve şekil parametrelerinin toz metalurjik parça işleme olan avantaj/dezavantajlarının yanısıra katılaşmada etken kavramlar üzerinde durulacaktır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyel çalışma esas olarak PREP yöntemi ile üretilmiş 3 farklı alaşım tozunun katılaşma türünü ve mikroyapısal karakterizasyonunu içermektedir. Tablo 1'de çalışmada kullanılan demir ve demirdışı esaslı alaşımların işleme öncesi belirlenen kimyasal kompozisyonları sunulmuştur. Çalışmada çok düşük karbonlu bir IF (Interstitial-Free) çeliği ile yüksek hız takım çeliği gibi demir esaslı alaşımların yanında SiC takviyeli Al matriksli demir dışı bir kompozit malzeme de yer almaktadır. PREP sisteminde tozlaştırılacak malzeme anot olarak devreye girerken yüksek arkın oluşumu katot olarak seçilen tungsten esaslı uç ile sağlanmaktadır. Sistemde katot sabit olarak yataklanmış iken anot merkezkaç kuvvetlerinden yararlanmak amacı ile belirli bir hızda döndürölmektedir. Böylece anot malzemenin alını üzerinde oluşturulan ark ile yüzeyel ergime gerçekleşmekte ve dönme etkisi ile hazneye savrulan film tabakası parçalanmaktadır. Parçalanma sonrası parçacıklar yüzey gerilimi altında küreselleşip katılaşırken yerçekim kuvvetlerinin altında hazne tabanına doğru hareket ederek orada bulunan toplama haznesinde birikir (Karagöz v.d., 2005). Tablo 2 ise atomizasyon boyunca kullanılan parametreleri yansıtmaktadır.

IF çelikleri sahip oldukları yüksek şekillendirebilme özelliklerinden dolayı çoğunlukla otomotiv endüstrisinde iç ve dış panel malzemesi olarak kullanılmaktadır. En büyük özellikleri sahip oldukları ve ppm seviyesinde içerdikleri çok düşük arayer atomlardır. Bu tür arayer atomları

özellikle çeliğin şekillendirilmesi esnasında dislokasyon kilitleme yöreleri olarak görev alıp herhangi bir şekillendirme kuvveti altında sertlik artışına neden olup malzemenin şekillenme kabiliyetini azaltmaktadır (Yaşacan v.d., 2007).

**Tablo 1. Deneysel çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal kompozisyonları.**

Malzeme	Kompozisyon (%-Kütle)								
IF-çeliği	Fe	C	Mn	Si	Cr	Al	Ti		
	99.53	0.08	0.16	0.02	0.02	0.09	0.10		
Malzeme	Kompozisyon (%-Kütle)								
Hız Takım Çeliği	Fe	C	W	Mo	Cr	V	Nb		
	83.40	1.10	3.00	6.00	4.00	1.5	1		
Malzeme	Kompozisyon (%-Kütle)								
Etial-24	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	91.9	0.45	0.55	4.7	0.47	1.57	0.12	0.04	0.01

**Tablo 2. Deneysel toz üretiminde atomizasyon parametreleri.**

Dönme hızı	Her bir malzeme grubu için değişken
Plazma gazı	Argon
Vakum	10 <sup>-3</sup> mbar
Koruyucu gaz	Argon
Koruyucu gaz basıncı	1.3 atm
Anot çubuk çapı	55 mm

Toz halinde ise genellikle manyetik özellikleri nedeniyle kavrama sistemlerinde manyetik balata tozu olarak tercih edilirler (Karagöz v.d., 2008). İç yapı genel olarak saf ferrit yapısını içermektedir. Şekil 4'de toz üretimi öncesinde anot malzemesi olarak üretilen ekstrüze IF çeliğine ait bir mikroyapı sunulmuştur. Şekil 5 ise atomizasyon sonrası IF çelik tozlarını göstermektedir. Görüldüğü üzere mikroyapı saf ferrit fazından ve empürite atomlarının yoğun olduğu ferrit tane sınırlarından oluşmaktadır. Yapı içerisinde süresizlik olarak değerlendirilen ve çoğu kez istenmeyen kalıntılar çekirdekleşme yöresi olarak davranabilmektedir. Şekil 5a'da verilen mikroyapıda siyah nokta olarak görünen kalıntı bu tür olguyu örneklemektedir. Tozlar bütünsel olarak küresel ve kullanım açısından istenen boyutlar arasındadır.

İçerdikleri yüksek karbon ve alaşım elementleri ile yüksek hız takım çelikleri endüstriyel uygulamalarda kesici uç olarak kullanılmaktadır. Döküm konumunda veya ısıl işlem uygulamaları sonrasında temperlenmiş bir martenzitin yanı sıra değişik karbür morfolojileri ile üstün mekanik özelliklere sahip bu malzemelerin fiziksel metalurjisi yıllardır dikkati çekmiş ve bu konuda yapılan çalışmalar hala devam etmektedir (Riedl v.d., 1983). Deneysel çalışmada kullanılan hız takım

çelik kompozisyonu tipik bir HS6-5-2 tipi yüksek hız takım çeliği referans alınarak seçilmiştir. Şekil 6 standart bir HS6-5-2 tipi yüksek hız takım çeliğinin mikroyapılarını göstermektedir. Oldukça yoğun bir karbür dağılımının varlığı açıktır.



**Şekil 4. Atomizasyon öncesi IF çeliğine ait mikroyapı görüntüsü. Yapı saf ferritik tanelerden oluşmaktadır. Nital ile dağlama, ışık mikroskopisi, Faz kontrastı.**

Şekil 7-9'da atomizasyon sonrası deneysel takım çelik tozlarına ait mikroyapı örnekleri sunulmuştur. Atomizasyon süresince sıvı fazdan katı faza geçerek oluşan ilk delta ferrit yapısı yetersiz difüzyon nedeni ile perlitik reaksiyon ürünü olan östenite dönüşmeden yapıda stabil bir durumda yer almıştır (Şekil 7). Diğer yandan oldukça düşük bir toz boyutu (-45 µm) olması nedeni ile birim zamanda dönüşüm oldukça hızlı olacağından doğrudan martenzit oluşumunda söz konusudur. Bunun yanında soğuma koşulları altında özellikle interdendritik uzaylarda dönüşmemiş östenitin yanında karbür oluşumları da söz konusudur (Şekil 8). Şekil 9'a da ise katılma yapısı net bir şekilde görülmektedir. Beyaz alanlar atom ağırlığı yüksek olan elementlerce zengin

interdendritik uzaylarda bulunan karbür ağlarını göstermektedir. Şekil 9b ise daha yüksek bir büyütmede karbür ağ yapısını daha belirgin olarak sunmaktadır.

Tüm bunların dışında atomizasyonda katılaşma formuna örnek olarak SiC takviyeli Al matrisli kompozit bir toz örneği verilmiştir. Takviyeli alüminyum kompozitleri geleneksel alüminyum esaslı malzemelere kıyasla daha yüksek rijitlik, dayanım ve aşınma direnci göstermelerinden dolayı tercih edilirler. En çok kullanım alanları ise gerek dayanım göstermeleri gerekse de düşük yoğunlukta olmalarından dolayı havacılık ve uzay endüstrisidir (Karagöz v.d., 2008). Çalışmada matris malzemesi olarak Etial-24 (DIN AlCu4Mg1) kullanılmış olup iyi ıslatabilirliğinden dolayı SiC takviye elemanı olarak seçilmiştir. Ortalama 1 µm boyutlu SiC partikülleri ergime esnasında potaya ilave edilmiş olup ho-

mojenliğin artırılması amacı ile ergiyik düzenli olarak karıştırılmıştır. Döküm sonrası katılaştırılan ana malzeme ekstrüze edilerek toz üretimi için anot çubuk haline getirilmiştir. Daha sonrasında ise 3500 rpm ile işlenmiştir.

Kompozit tozlar üzerine tarama elektron mikroskop incelemeleri yapılarak katılaşma detaylandırılmaya çalışılmıştır. Şekil 11 bu tür bir inceleme sonrası elde edilen görüntüleri içermektedir. Toz katılaşması tipik dendritik katılaşma yapısı oluşumuna olanak vermiştir (Şekil 11a). Şekil 11b'de verilen detay görüntüde kaba taneler α-alüminyumdur. Bunların arasındaki ince taneli yapı ise ötektiktir. Şekil 11c'de görülen SEM materyal kontrast görüntüsünde ise α-Al taneleri arasında tane sınırlarına sürüklenmiş yüksek atom-no.lu yabancı atomların oluşturduğu aydınlık kontrastlı fazlar görülmektedir

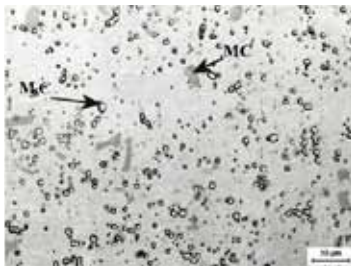


(a) +106-150 µm

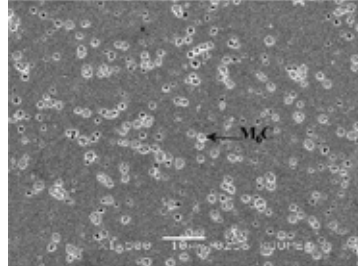


(b) +45-75 µm.

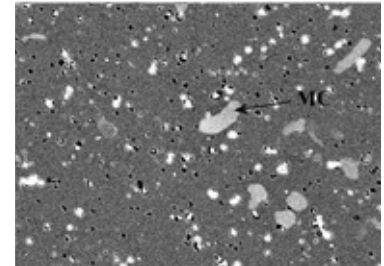
Şekil 5. IF çelik tozlarının mikroyapısı, Nital ile dağlama.



(a)

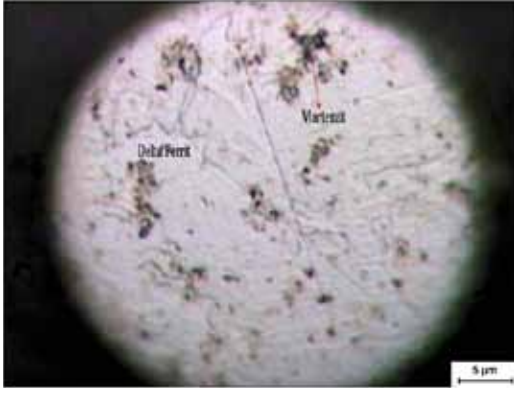


(b)



(c)

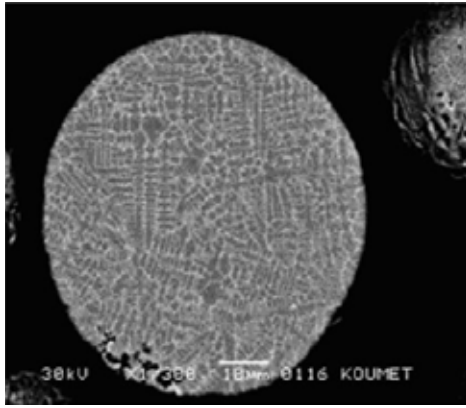
Şekil 6. Standart HS6-5-2 yüksek hız takım çeliği mikroyapıları. (a) Küresele yakın formda  $M_6C$  ve açık gri kontrastıyla MC türü karbürler,  $M_6C$  karbürü potansiyostatik olarak kaplama dağlanmış (aydınlık, siyah çerçevesi), ışık mikroskop görüntüsü, (b) aynı konumda tarama elektron mikroskop görüntüsü ve (c) MC türü karbürler, tarama elektron mikroskop görüntüsü.



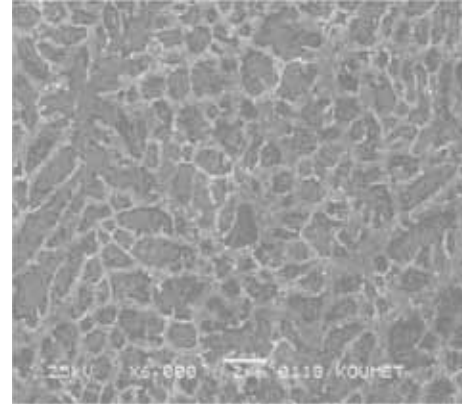
Şekil 7. Boyutu -45 µm olan yüksek hız takım çelik tozu mikroyapısı; δ-ferrit (aydınlık beyaz), kalıntı γ (hafif kıvımsız beyaz) ve martenzit. Yapıda aşırı soğumadan dolayı delta ferritin yanısıra kalıntı östenit ve bir miktar martenzit oluşmuştur. Nital ile dağlama, ışık mikroskop görüntüsü.



Şekil 8. Boyut aralığı +45-75 µm olan yüksek hız takım çelik tozu mikroyapısı. Yapıda özellikle dendrit merkezlerinde dönüşmemiş δ-ferrit bulunmaktadır. Delta ferrit tanelerinin çevresinde ise dönüşmemiş stabil östenit bulunmaktadır. Östenit içerisinde ise ince karbürler (kıvımsız kontrast) bulunmaktadır. Nital ile dağlama, ışık mikroskop görüntüsü.



(a)



(b)

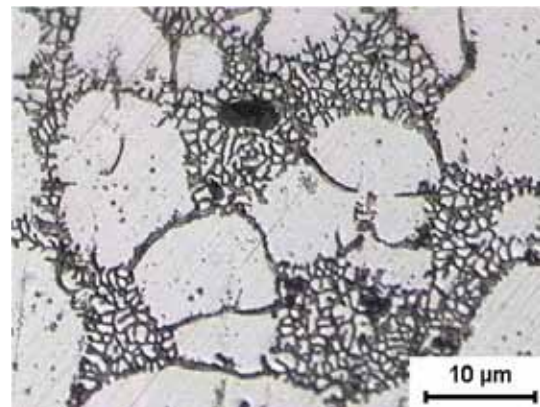
Şekil 9. (a) Boyut aralığı +45-75 µm olan yüksek hız takım çelik tozunun dendritik katılaşma yapısı, (b) dendritlerarası yörelerde karbür ağını sunan yüksek büyütme katılaşma yapısı, SEM görüntüleri.

Şekil 10'da atomize SiC takviyeli alüminyum esaslı toza ait dağlanmış konumda mikroyapı örnekleri verilmektedir. Şekil 10a tipik dendritik katılaşmayı sunmaktadır. Beyaz matriks dendritik alüminyum katı ergiyik fazını gösterirken

gri yöreler ötektik yapıyı işaret etmektedir. Şekil 10b'de daha yüksek büyütme ışık mikroskop görüntüsü ile tane sınırlarındaki yoğun ötektik yapının yanısıra koyu siyah SiC partikülleri gözlenmektedir.

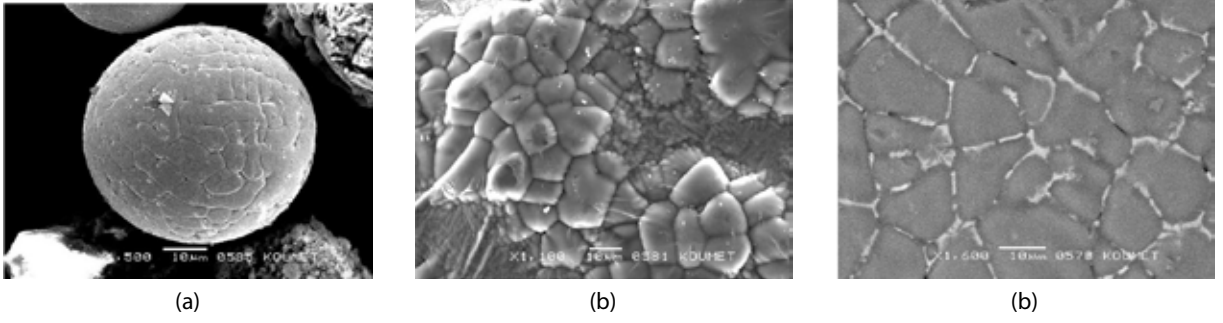


(a)



(b)

Şekil 10. Atomize SiC takviyeli Al matrikse ait dağlanmış konumda mikroyapı görüntüleri. (a) Genel dendritik katılaşma morfolojisi, (b) Ötektik yöreler ve SiC partikülleri.



Şekil 11. Kompozit toza ait tarama elektron mikroskop görüntü örnekleri. (a) Eşeksenli katılma, (b) Kaba dendritik oluşumlar ve (c) Karakteristik kaba büyüme.

### 3. SONUÇLAR

Konvansiyonel üretim tekniklerine iyi bir alternatif olan toz metalurjik parça işleme teknolojisi sunduğu birçok avantajlar kapsamında endüstriyel önem kazanmaktadır. Yeni teknolojik parçalara olan gereksinimlerin artmasına bağlı olarak toz metalurjik işleme tekniklerinin gelişimi ve birçok alana uygulanabilirliği de bu bağlamda artacaktır.

Sunmuş olduğu homojen ve minimum segregasyon içerikli mikroyapıları, yüksek boyut toleransları çerçevesinde nihai ürünler ve otomasyon orijinli işleme ile toz metalurjisi birçok çalışmaya kaynak teşkil edecektir (Karagöz v.d., 2008).

Bu çalışmada özellikle atomize demir ve demir dışı esaslı tozlar üzerinde çalışılmış olup alaşım sistemine bağlı olarak sıvı fazdan katı faza geçiş veya sonrasında katı-katı dönüşümde oluşan yapılar mikroyapısal karakterizasyon çerç-

vesinde açığa çıkartılmıştır. Çok düşük karbonlu bir IF çeliğinde gerek ekstrüze gerekse de atomize konumda benzer yapılar gözlenmiş olup yapı tamamen saf ferritik konumdadır. Çok kompleks yapılar sergileyebilen yüksek hız takım çeliklerinde toz boyutuna bağlı olarak konvansiyonel tekniklerle üretimde olduğu gibi oda sıcaklığında stabil dönüşüm ürünleri (martenzit veya kalıntı östenit) yer almaktadır. Ancak yeterli difüzyonun sıvı fazdan katı faza geçişte olmaması nedeni ile yüksek sıcaklık stabil fazı olan delta ferrit peritektik reaksiyon gösteremeyip yapıda kararlılığını korumuştur. Benzer olarak dönüşüm göstermeyen östenit çoğunlukla interdendritik uzaylarda karbürlerle birlikte yer almaktadır. Tüm bunların ötesinde SiC takviyeli Al-matriksli kompozit bir tozda çoğunlukla eşeksenli katılma ve kaba dendritik oluşumlar gözlenmiştir. Takviye elemanının ötektik havuzda veya tane sınırlarında primer bir yapı şeklinde var olduğu da belirlenmiştir.

### KAYNAKLAR

German, R. M. 1994. 'Powder Metallurgy Science', Second Edition, Metal Powder Industries Federation, Princeton. NJ. USA.

Karagöz, Ş., Atapek, Ş. H., Yamanoğlu, R. 2008. 'Toz Metalurjik Çeliklerde Fraktografik Etüd', 5. Uluslararası toz metalurjisi konferansı, Bildiriler kitabı basılacak.

Karagöz, Ş., Yamanoğlu, R. 2005. 'PREP Atomizasyonu ile Alaşım Tozu Üretimi ve Karakterizasyonu', 4. Uluslararası toz metalurjisi konferansı, Bildiriler kitabı. s. 508-519.

Karagöz, Ş., Yamanoğlu, R. 2008. 'Gergi tertibatlarında kullanılan manyetik esaslı if çeliği tozların PREP atomizasyonu ile üretimi', 12. Uluslararası malzeme sempozyumu, Bildiriler kitabı, Cilt: 1. s. 524-530.

Karagöz, Ş., Yamanoğlu, R., Atay, S. A. 2008. 'Al-SiC tozlarının PREP atomizasyonu ile üretimi', 7. Uluslararası katılımlı seramik kongresi, Özetler kitabı. s. 28.

Riedl, R., Karagöz, Ş., Fischmeister, H. 1983. 'Erstarrungsmorphologie der Primärcarbide in nioblegierten Schnellarbeitsstählen des Typs S6 5 2', Z. f. Metallkunde. 74. p. 199-205.

Sarıtaş, M. 2007. 'Toz metalürjisi ve parçalıklı Malzeme İşlemleri, Türk toz metalürjisi derneği yayınları, No: 5. Ankara.

Schatt, W., Wieters, K. P. 1994. 'Powder Metallurgy Processing & Materials', European Powder Metallurgy Association.

Shukla, P., Mandal, R. K., Ojha, S. N. 2001. 'Non-equilibrium solidification of undercooled droplets during atomization process', Bull. Mater. Sci., (24), 5. p p. 547-554.

Verhoeven, J. D. 1975. 'Fundamentals of Physical Metallurgy', John Wiley & Sons. Canada.

Ymanoğlu, R. 2005. 'Titan ve alaşım tozlarının PREP yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonu', Yüksek lisans tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji & Malzeme mühendisliği anabilimdalı, Kocaeli.

Yaşacan, D. A., Kayalı, E. S. 2007. 'Soğuk haddelenmiş IF çeliklerinde anizotropi katsayısının (r) geliştirilmesi', İTÜ Dergisi/D, Mühendislik, 6 (1), 47-52.