



Mehmet Akif Erden
Erdem Özkurt
Ahmet Nusrev Tanrıverdi
Alperen Yılmaz
Mustafa Türkmen
Hasan Karabulut
Süleyman Gündüz

Karabük University, makiferden@karabuk.edu.tr,
mturkmen57@hotmail.com,
hasankarabulut@karabuk.edu.tr, sgunduz@karabuk.edu.tr,
Karabük-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2016.11.4.2A0102>

AlC İLAVE EDİLEN TOZ METAL ÇELİKLERDE KARBON ORANININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Bu çalışmada, toz metalürjisi(TM)ile üretilen AlC ilave edilmiş çeliklerde karbon oranının mikroyapı and mekanik özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Farklı karbon oranlarına sahip AlC ilave edilmiş TM çelik numuneler 750MPa presleme basıncında preslendikten sonra atmosfer kontrollü tüp fırında argon atmosferinde 1350°C sıcaklıkta 1 saat sinterlenerek üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen farklı karbon oranlarına sahip AlC ilave edilmiş TM çeliklerinin tane boyutu ve fazların dağılımı optik mikroskop ile belirlenirken, mekanik özellikler çekme testi uygulanarak belirlenmiştir. Sonuçlar %0,55 karbon ilave edilmiş mikroalaşım çeliğinin en yüksek akma ve çekme dayanımı gösterdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metalürjisi, Toz Metalürjisi Çelikleri, AlC, Mikroyapı, Mekanik özellikler

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CARBON CONTENT ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AlC ADDED POWDER METALLURGY STEELS

ABSTRACT

In this work, the effect of C content on the microstructures and mechanical behaviours of AlC added microalloyed powder metallurgy (PM)steels were investigated. The samples pressed at 750 MPa and sintered at 1350°C temperature in the sintering argon atmosphere for 1 h were produced. AlC added PM microalloyed steels with different carbon ratio were analysed in terms of grain size microstructure and tensile test. Results indicated that 0.55 wt. % C added PM steel showed the highest values in yield strength (YS) and ultimate tensile strength (UTS).

Keywords: Powder Metallurgy, Powder Metallurgy Steels, AlC, Microstructure, Mechanical Properties

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan parçaların bir bölümünün üretim tekniği tamamen toz metalurjisine dayanmaktadır. İçeriğinin kontrol edilebilir olması ve birim maliyetin düşük kalması gibi faktörler nedeniyle toz metalurjisi üretim yöntemi imalat sektöründe müstakil üretim seçeneği olarak kullanılmaktadır [1 ve 6]. Mikroalaşımli çelikler %0,05 ve %0,20 aralığında niyobyum, vanadyum ve titanyum içeren çelikler olarak tanımlanmaktadır. Mikroalaşımli çelikler değişik sertleştirme mekanizmalarının ve uygun termomekanik işlemlerin uygulanması ile yüksek dayanım, yüksek tokluk, düşük sünek gevrek geçiş sıcaklığı, mükemmel kaynaklanabilirlik ve korozyona dayanıklılık gibi üstün özelliklere sahip malzeme gurubudur. Günümüzde üretilen mikroalaşımli çeliklerin büyük bölümü yassı ve boru mamül olarak üretilmekle birlikte son yıllarda dövme amaçlı mikroalaşımli çeliklerin üretimi de hız kazanmıştır. Ayrıca günümüzde yeterli düzeyde olmamakla birlikte toz metalurjisi yöntemiyle de mikroalaşımli çelik üretimi yapılmaktadır [7 ve 8].

Literatürde TM çeliği üretimi ve mikroyapı mekanik özellik ilişkisi hakkında bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin Erden vd. çalışmalarında TM yöntemiyle Ti ve V mikroalaşımli çelik üretmişlerdir. Sinterleme işlemini 1150°C'de 60 dakika bekleterek gerçekleştirmiş olup Ti ve V oranı (%0,1-%0,2) yükseldikçe akma ve çekme dayanımında bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumu sinterleme sırasında ve sinterleme sonrası soğuma sırasında TiC(N) ve VC(N) gibi çökeltilerin oluşmasına bağlamışlardır [7 ve 8]. Bu çalışmada Fe tozlarının içerisine farklı oranlarda grafit tozu ve ağırlık olarak %0,1 AlC ilave edilerek istenilen bileşimde mikroalaşımli çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen blok numuneler için sinterleme işlemi 1350°C'de 1 saat süre ile argon atmosferinde bekletilerek yapılmıştır. Numunelerin tane boyutu, yoğunluk ve gözeneklilik gibi mikroyapısal özelliklerin incelenmesinin yanında mekanik özellikleri çekme testi uygulanarak belirlenmiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICATION)

Mikroalaşım elementlerinin oluşturmuş olduğu karbo-nitrürlerin boyutu, dağılımı, şekli, çözünme sıcaklıkları ve soğuma hızına bağlı olarak oluşma şartları çok önem arz etmektedir. Döküm yönteminde bu özellikleri kontrol etmek toz metalurjisi yöntemine göre daha zordur. Bu nedenle bu çalışmada toz metalurjisi yöntemi kullanılarak farklı karbon oranlarına sahip ağırlık olarak %0,1 AlC ilave edilmiş çeliğin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma toz metal çelik üretiminin arttırılmasına katkı sağlayarak ülkemizi vasıflı çelik üretimde söz sahibi olmasını amaçlamaktadır.

3. DENEYSSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada, çelik numuneler toz metalurjisi yöntemiyle istenilen bileşimlerde üretilmişlerdir. Karbon oranının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Tablo 1'de verilen kimyasal bileşimlerde karıştırılarak mikroalaşımli çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler için çekme testi, yoğunluk, gözeneklilik, mikroyapı, ferrit-perlit oranı ve ortalama tane boyutu hesaplanmıştır [9]. Elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karıştırma işlemi öncesinde tozlar Tablo 1'de kimyasal kompozisyonu verilen oranlarda 0.0001 hassasiyetine sahip dijital hassas terzide tartımı gerçekleştirilmiştir. Tartımı yapılan tozlar Turbula marka üç eksenli karıştırıcı ile bir saat süreyle

bilyesiz olarak karıştırılmıştır. Yağlayıcı olarak Zn-stearate kullanılmıştır.

Tablo 1. Toz metal çeliklerin kimyasal kompozisyonları
(Table 1. Chemical compositions of powder metallurgy steels)

Bileşim	C(% ağı.)	AlC(% ağı.)	Fe (% ağı.)
Alaşım 1	0,15	0,1	Geri kalan
Alaşım 2	0,25	0,1	Geri kalan
Alaşım 3	0,35	0,1	Geri kalan

Karıştırılan tozlar, ASTM (E 8M) toz metal malzeme standartlarına uygun çekme numunesi şeklindeki kalıpta 750 MPa presleme basıncında tek yönlü sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir. Sinterleme işlemi numunelerin sinterleme sıcaklığına 5°C/dak. hızla ısıtılması ile başlamıştır. 350°C'de bütün numuneler çinko steareati buharlaştırmak için 30 dak. bekletilmiştir. Sıcaklık sinterleme sıcaklığına ulaştıktan sonra numuneler bu sıcaklıkta 1 saat tutulup ardından oda sıcaklığına 5°C/dak. hızla soğutulmuştur. Sinterlenen çekme numuneleri ise 1 mm/dak. çekme hızında çekme deneyi uygulanarak koparılmıştır. Her deney sonrasında gerilme-% gerinim diyagramları elde edilmiştir. Bu diyagramlardan numunelerin akma dayanımı (%0,2), çekme dayanımı ve % uzama değerleri hesaplanarak kimyasal bileşimdeki karbon oranındaki değişmeden dolayı mekanik özelliklerdeki farklılaşma tespit edilmiştir. Şekil 1'de çekme numunesinin çekme testi sonrası görüntüsü verilmektedir.



Şekil 1. 1350°C'de 1 saat sinterlenmiş Alaşım 2 test numunesinin çekme testi sonrası genel görüntüsü

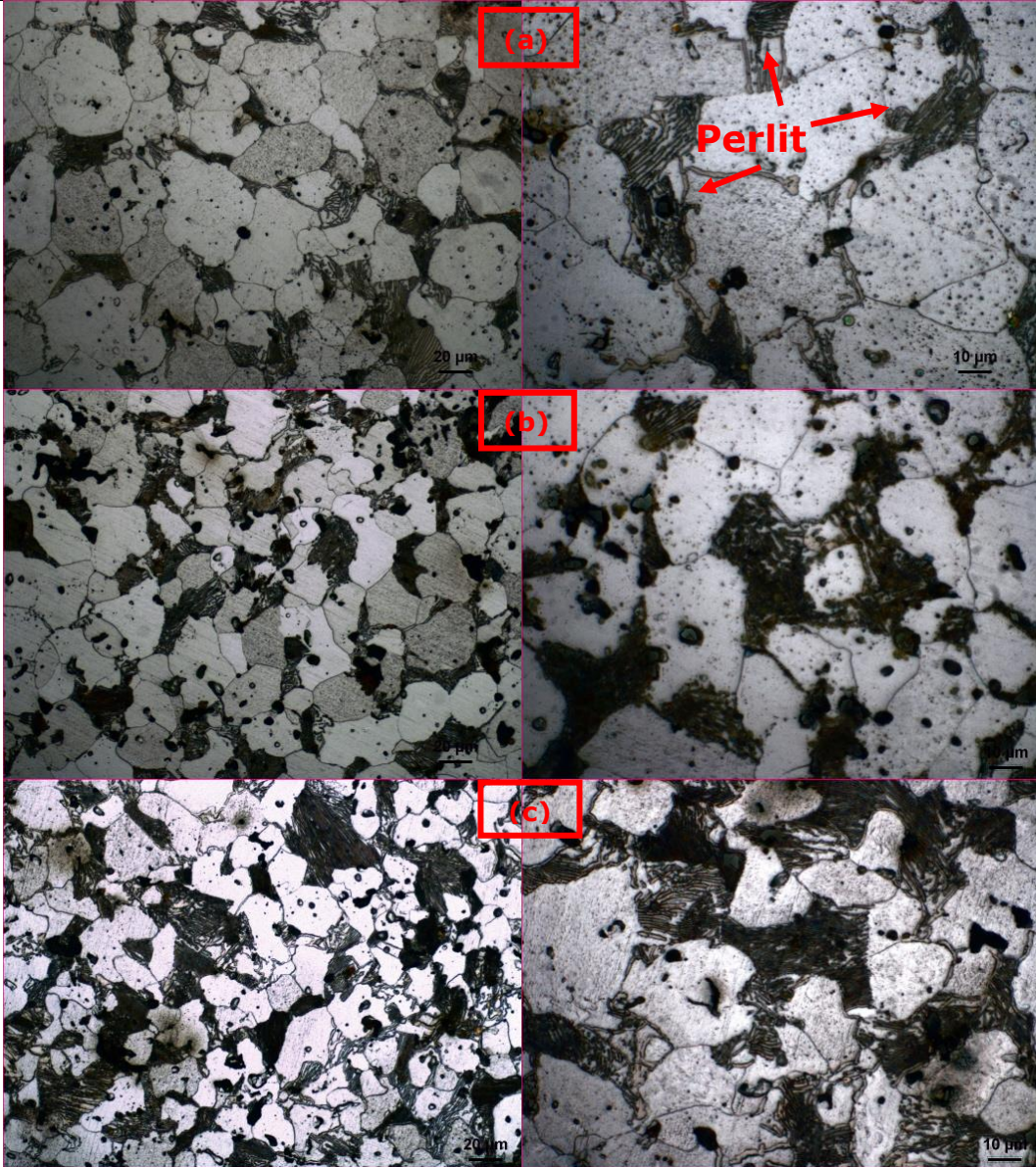
(Figure 1. General view of tensile test specimen for Alloy-2 sintered at 1350 °C for 1 h)

Mikroyapı incelemeleri X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Her numunenin değişik bölgelerinden farklı büyüklüklerde görüntüler alınarak bu görüntülerin bütün mikroyapıyı temsil edebilir nitelikte olmasına dikkat edilmiştir. Dağlama işlemi numunelerin %2 nital solüsyonu içerisine daldırılarak 4-8 sn bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Dağlama işlemi tamamlandıktan sonra dağlanan yüzeyler metanol ile temizlenip kurutulmuş ve ardından optik mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir. Numunelerin yoğunlukları yoğunluk ölçüm kiti ile Archimets prensibine göre yapılmıştır. Toz metal çeliklerin ferrit ve perlit oranları Gladman ve Woodhead'ın tanımlamış olduğu metalografik nokta sayım metodu kullanılarak yapılmıştır [10].

4. DENEY SONUÇLAR VE TARTIŞILMASI (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

4.1. Mikroyapı (Microstructure)

Numunelerin mikroyapı resimleri Şekil 2'de görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi bütün karbon oranlarında yapı ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmektedir. Şekil 1'de görülen mikroyapı resimleri incelendiğinde tane sınırlarında kısmen kapanmamış gözeneklerin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. 1350°C'de sinterlenmiş farklı karbon oranlarına sahip mikroalaşımli TM çelik numunelerin mikroyapı görüntüleri (500-1000X), (a) 0,15 C içeren, (b) 0,25 C içeren, (c) 0,35C içeren AlC ilave edilmiş mikroalaşım çeliği

(Figure 2. Micrographs of microalloyed PM steel specimens with different carbon contents(500-1000 x). (a) 0.15C content (b) 0.25C content (c) 0.35C content)

Bir çok kaynakta gözenekliliğin dayanımı olumsuz etkilediği belirtilmekle birlikte gözeneklerin çok küçük ve küresel şekilli olmasının dayanımı düşürmediği bildirilmiştir [11 ve 12]. Tablo 2'de farklı karbon oranlarına sahip numunelerin sinterleme sonrası yoğunluk ve % gözenek miktarı verilmiştir. Numunelerin sinterleme sonrası yoğunluklarının karbon oranının artması ile kayda değer bir değişime uğramadığı ve birbirine yakın olduğu görülmüştür. Toz metalurjisi ile üretilen parçaların mekanik özellikleri gözenek oranı ile ilişkilidir. Gözenekler gerilimin yoğunlaştığı merkezler olarak davranırken, çatlak ilerlemesine de katkı sağlamaktadır [10 ve 11].

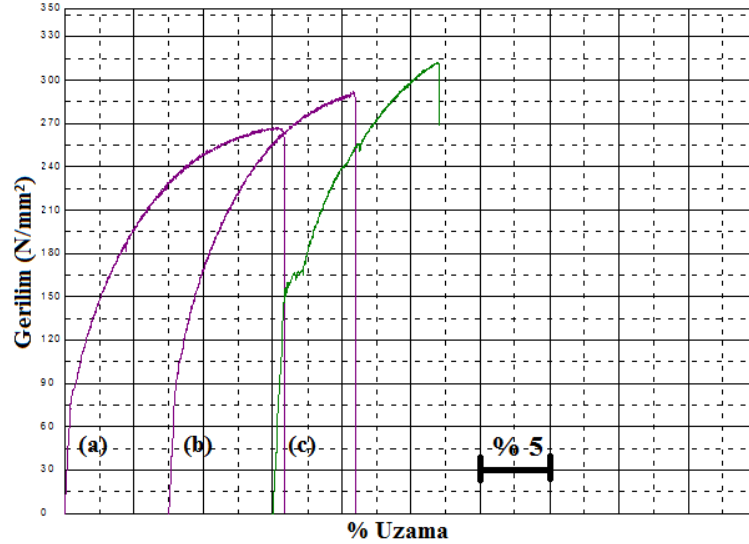
Tablo 2. Mikroalaşımli TM çelik numunelerin Yoğunluk, % Gözeneklilik ortalama tane boyutu, % perlit miktarı
(Table 2. Relative density, porosity, mean linear intercept grain sizes and volume fractions of pearlite phase in microalloyed PM specimens)

Bileşim	S.Sonrası Yoğunluk (%)	Gözenek Miktarı (%)	Perlit Miktarı (%)	Ortalama Tane Boyutu (μm)
Alaşım 1	93,7	6,3	19,2	22,8
Alaşım 2	93,45	6,55	31,9	19,4
Alaşım 3	93,2	6,8	37,7	18,6

Tablo 2'de de görüldüğü gibi Alaşım 1'de perlit miktarı 19,2 iken Alaşım 3'te 37,7 olduğu görülmüştür. Ayrıca ortalama tane boyutlarına bakıldığında Alaşım 1'de ortalama tane boyutu 22,8 μm iken Alaşım 3'te 18,6'ya düşmüştür. Karbon oranının artması ile perlit miktarında artış gözlenirken, ortalama tane boyutunda azalma gözlenmiştir. Bu beklenen bir durumdur. Literatürde bu sonucu destekleyen çalışmalar mevcuttur [12 ve 13].

4.2. Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)

Şekil 2, sinterlenen numunelerin gerilme-uzama diyagramlarını gösterirken Tablo 3 ise akma, çekme ve % uzama değerlerini göstermektedir. Şekil 2 ve Tablo 3'ten görüldüğü gibi numunelerde karbon oranının artması ile akma ve çekme dayanımı artış gösterirken, % uzama değerlerinde bir düşüş tespit edilmiştir. Ayrıca, karbon miktarının artması ile akma noktasının daha belirginleştiği ve akma noktası uzama miktarının arttığı Şekil 3'de görülmektedir. Bu durum daha yüksek oranda karbon içeren (% 0,35) TM çeliklerinde daha fazla karbonun katı ergiyik içerisinde serbest halde bulunduğunu göstermektedir [14].



Şekil 3. 1350°C'de sinterlenmiş farklı karbon oranlarına sahip AlC ilave edilmiş mikroalaşımli TM çelik numunelerin gerilme-uzama diyagramları, (a) %0,15 C, (b) %0,25 C ve (c) %0,35C.

Figure 3. Stress-strain curves of AlC added microalloyed PM steel specimens with different carbon contents (500-1000 x). (a) 0.15C %, (b) 0.25C % and (c) 0.35C %.

Tablo 3. Mikroalaşımlı TM çelik numunelerin mekanik özellikleri
(Table 3. Mechanical properties of microalloyed PM steels)

Bileşim	Çekme D. (MPa)	Çekme D. (MPa)	% Uzama
Alaşım 1	120	268	15
Alaşım 2	151	292	14
Alaşım 3	167	313	12

5. GENEL SONUÇLAR (GENERAL CONCLUSIONS)

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen AlC ilave edilmiş mikroalaşımlı çelikte, karbon oranının mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri incelenmiş ve sonuç olarak, bütün karbon oranları için ağırlık olarak % 0,35 karbon ilave edilen numunelerin en yüksek akma dayanımına (YS) ve çekme dayanımına (UTS) sahip olduğu % uzama olarak en düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, karbon miktarının ağırlık olarak % 0.15'den % 0.35'e çıkması ile akma noktasının daha belirginleştiği ve akma noktası uzama miktarının arttığı tespit edilmiştir.

NOT (NOTE)

Bu çalışma, 1-4 Eylül 2016 tarihleri arasında İstanbulda düzenlenen ISS2016-International Science Symposium (Quality in Science) sözlü bildiri olarak sunulduktan sonra, genişletilmiş ve yeniden yapılandırılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Erden, M.A., (2015). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Mikroalaşım Çeliklerinin Mikroyapı Mekanik Özellik İlişkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Karabulut, H., Çıtak, R. ve Çinici, H., (2014). Al Matrisli ve B4C. Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Farklı Mekanik Alaşımlama Sürelerinde Üretilmesi ve Karakterize Edilmesi, 7th International Powder Metallurgy Conference and Exhibition, G.Ü., 247-248, Ankara
3. Taskın, M. and Calıgulu, U., (2006). Modelling of Microhardness Values by means of Artificial Neural Networks of Al/SiCp Metal Matrix Composite Material Couples Processed with Diffusion Method, Mathematical and Computational Applications, 11(3):163-172.
4. Taskın, M., Çalıgülü, U., and Gur, A.K., (2008). Modeling adhesive wear resistance of Al-Si-Mg-/SiCp PM compacts fabricated by hot pressing process, by means of ANN, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 37:715-721.
5. Taskın, M., Dikbaş, H., Çalıgülü, U., (2008). Artificial Neural Network (ANN) Approach to Prediction of Diffusion Bonding Behavior (shear strength) of Ni-Ti Alloys Manufactured by Powder Metallurgy Method, Mathematical and Computational Applications, 13(3):183-191.
6. Gur, A.K., Calıgulu, U., and Taskın, M., (2011). The Optimisation of Adhesive Wear Behavior of AlmgSi/SiC Aluminium Composite with Taguchi Method, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(9):1584-1590.
7. Erden, M.A., Gündüz, S., Türkmen, M., and Karabulut, H., (2014). Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels, Materials Science and Engineering A, 616:201-206.
8. Erden, M.A., Gündüz, S., Türkmen, M., and Karabulut, H., (2016).



-
- The Effect of V Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Powder Metallurgy Steels, *Materials Testing*, 58(5):433-437.
9. Mutlu, İ., (2012). Alüminyum Matrisli Metal Kompozit Malzemelerin Üretilmesi, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 4(1):31-36.
 10. Gladman, T. and Woodhead, J.H., (1960). The accuracy of point counting in metallographic investigations, *Journal of the Iron Steel*, 194:189-194.
 11. Jing, W., Yisan, W., and Yichao, D., (2007). Production of (Ti,V)Creinforced Fe matrix composites, *Materials Science and Engineering A*, 454-455:75-79.
 12. Sarıtaş, S., Türker, M. ve Durlu, N., (2007). Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, *Türk Toz Metalurjisi Yayınları*, 05:2-410.
 13. Erden, M.A., Gündüz, S., Türkmen, M. ve Karabulut, H., (2014). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Alaşımsız Çeliklerde Sinterleme Ortamının Mekanik Özelliklere Etkisi, 15th International Materials Symposium (IMSP'2014), P.Ü., Denizli.
 14. Gladman, T., (1997). The physical metallurgy of microalloyed steels, *The Institute of Materials*, 1-341, England.