

Farklı Sıcaklıklarda Sinterlenen Nb Katılmış TM Çeliklerinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri

Doğan Özdemirler¹, Süleyman Gündüz², Mehmet Akif Erden³, Hasan Karabulut⁴, Mustafa Türkmen⁵

¹ Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

² Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük.

^{3,4} Karabük Üniversitesi, TOBB TB M.Y.O, Karabük.

⁵ Kocaeli Üniversitesi, Hereke Meslek Yüksekokulu Metalurji Bölümü, Kocaeli.

e-posta:dozdemirler@hotmail.com, sgunduz@karabuk.edu.tr, makiferden@karabuk.edu.tr, hasankarabulut@karabuk.edu.tr, mustafa.turkmen@kocaeli.edu.tr

Özet

Anahtar kelimeler

Toz metalürjisi; Toz metalürjisi çelikleri; Mikroyapı; Mekanik özellikler

Bu çalışmada farklı sıcaklıklarda sinterlenen Nb ilave edilmiş TM çeliklerinin mikroyapısı ve çekme davranışları araştırılmıştır. TM çeliklerinin mikroyapısı optik mikroskop ile analiz edilmiştir. Sonuçlar optimum sinterleme sıcaklığının 1350°C olduğunu ve % ağırlık olarak 0,2 Nb ilave edilmiş TM çeliğin en yüksek akma dayanımına (YS) ve çekme dayanımına (UTS) sahip olduğunu göstermiştir. Fakat Nb miktarının % ağırlık olarak 0,2'den 2'ye çıkması ile akma dayanımı (YS) ve çekme dayanımı (UTS) düşmüştür. Uzama miktarında ise Nb ilavesi ile kötüleşme görülmektedir.

Microstructure and Mechanical Properties of Nb Added PM Steels Sintered at Different Temperatures

Abstract

Keywords

Powder Metallurgy; Powder Metallurgy Steels; Microstructure, Mechanical Properties.

In this work, microstructure and tensile behaviours of Nb added PM steels sintered at different temperatures were investigated. The microstructure of the PM steels was characterised by optic microscope. Results indicated that optimal sintering temperature is 1350°C and 0.2 wt. % Nb added PM steel showed the highest values in yield strength (YS) and ultimate tensile strength (UTS). However, when the amount of Nb content increased from 0.2 to 2 wt.%, yield strength and ultimate tensile strength decreased. Elongation also tends to decrease with increasing Nb content.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Çelikler mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde vazgeçilmez bir yere sahiptir. Özellikle ikinci dünya savaşının ardından çelik gereksinimi deniz-kara taşıtları, akaryakıt ve doğalgaz boru hatları, enerji santralleri, derin deniz üstü yapılar ve benzeri ihtiyaçlar nedeniyle artmıştır. Mikroalaşımli çelikler %0,05 ve %0,20 aralığında niyobyum (Nb), vanadyum (V) ve titanyum (Ti) 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 (Erden,2015).

Mikroalaşım elementlerinin özelliklerinden bir tanesi oluşturmuş oldukları karbür ve nitrürler ile östenitleme veya sinterleme sırasında tane büyümesini engellemeleridir. Östenitleme sırasında küçük çökeltilerin oluşması östenit tanelerinin büyümesini engeller ve soğuma sırasında küçük ferrit tanelerinin oluşmasına neden olur; (Xiang-

done et al. 2013; Bakkali et al. 2008; Gladman,1997). Nb en etkili mikroalaşım elementi olarak bilinir. Nb mikroalaşım elementi sinterleme ve soğuma sırasında karbür, nitür ve karbonitür olarak çökelir ve mikroalaşım çeliklerinin mekanik özelliklerine tane küçültmesi, katı ergiyik sertleşmesi ve çökelti sertleşmesi mekanizmaları ile katkı sağlamaktadır (Dutta and Sellars 1986; Campos et al. 2001; Misra et al. 2003; Jung et al.2011).

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle Fe matris içerisine farklı oranlarda Nb mikroalaşım elementinin katılmasıyla istenilen bileşimde TM çelik üretilmiştir. Nb ilavesinin % ağırlık olarak 0,2'den 2'ye çıkması ile farklı sinterleme koşullarında üretilen TM çeliklerin mikroyapı mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

2. Deneysel Metot

Bu çalışmada, çelik numuneler toz metalurjisi yöntemiyle istenilen bileşimlerde üretilmişlerdir. Farklı oranlarda katılan mikroalaşım element miktarının ve sinterleme sıcaklığının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Çizelge 1'de verilen kimyasal bileşimlerde tozlar karıştırılarak alaşımsız çelik ve mikroalaşımlı çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin çekme testi, mikroyapı analizi, yoğunluk ve gözeneklilik ölçümü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karıştırma işlemi öncesinde tozlar, Çizelge 1'de verilen bileşimlerde 0.0001 hassasiyetine sahip dijital hassas terzide tartılarak hazırlanmıştır. Tozların karıştırma işlemi Turbula T2F karıştırıcı ile 1 saat süre için bilyesiz olarak yapılmıştır.

Çizelge 1. Mikroalaşımlı toz metal çeliklerin kimyasal bileşimleri.

Bileşim	C (% ağı.)	Nb (% ağı.)	Fe (% ağı.)
Fe +0,3 C (Alaşım 1)	0,3	-	Geri kalan
Fe +0,3 C+ 0,2Nb (Alaşım 2)	0,3	0,2	Geri kalan
Fe +0,3 C+ 2Nb (Alaşım 3)	0,3	2	Geri kalan

Homojen olarak karıştırılan tozların preslenmesi 96 ton basma kapasiteli Hidroliksan marka cihazda 700 MPa presleme basıncında tek yönlü olarak yapılmıştır. Çekme deney numuneleri ASTM (E 8M)

toz metal malzeme çekme numune standartlarına göre hazırlanan kalıpta sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir. Preslenen numuneler argon ortamında 1 saat süre ile 4 farklı sıcaklıkta (1150, 1250, 1350°C ve 1400°C) sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası yoğunluk ölçümleri yapılmış, gözenek değerleri belirlenmiştir. Sinterlenen numunelerin mikroyapı analizlerini yapabilmek için numunelerin bir bölümüne, zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri uygulanmıştır. Farklı ortamlarda sinterlenmiş TM çelik çekme numunelerin mikroyapıları X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ile incelenmiştir. Çekme testleri 0.5mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme testi uygulanan numunelerin akma dayanımı (%0,2), çekme dayanımı ve % uzama değerleri hesaplanarak mekanik özelliklerdeki değişim tespit edilmiştir. Numunelerin yoğunlukları yoğunluk ölçüm kiti ile Archimets prensibine göre yapılmıştır. Toz metal çeliklerin perlit oranları Gladman ve Woodhead'ın tanımlamış olduğu metalografik nokta sayım metodu kullanılarak yapılmıştır (Gladman,1960).

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Mikroyapı

Numunelerin sinter sonrası % yoğunluk, % gözeneklilik miktarı, % perlit miktarı ve ortalama tane boyutları Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'den anlaşılacağı gibi sinterleme sıcaklığının artması ile % yoğunlukta ve ortalama tane boyutunda artış gözlenirken, gözenek miktarında bir düşüş gözlenmiştir. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü yüksek sıcaklıklarda atomların difüzyonu arttığı için küçük taneler birleşerek büyüme eğilimindedir. Bu nedenle sıcaklığın artması ile tanelerin büyümesi ve yoğunluğun artması beklenen bir sonuçtur (Askeland,1996). Numunelerin mikroyapı resimleri Şekil 1'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi sinterlenen numunelerin yapısı ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmektedir. Ayrıca sinterleme sıcaklığının 1150°C'den 1400°C'ye çıkması ile genel olarak % perlit oranı artmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü sinterleme sıcaklıklarının artması ile tane büyümesi gerçekleştiği için ferritin çekirdeklenmesinde

önemli olan tane sınırı sayısı düşmüştür.

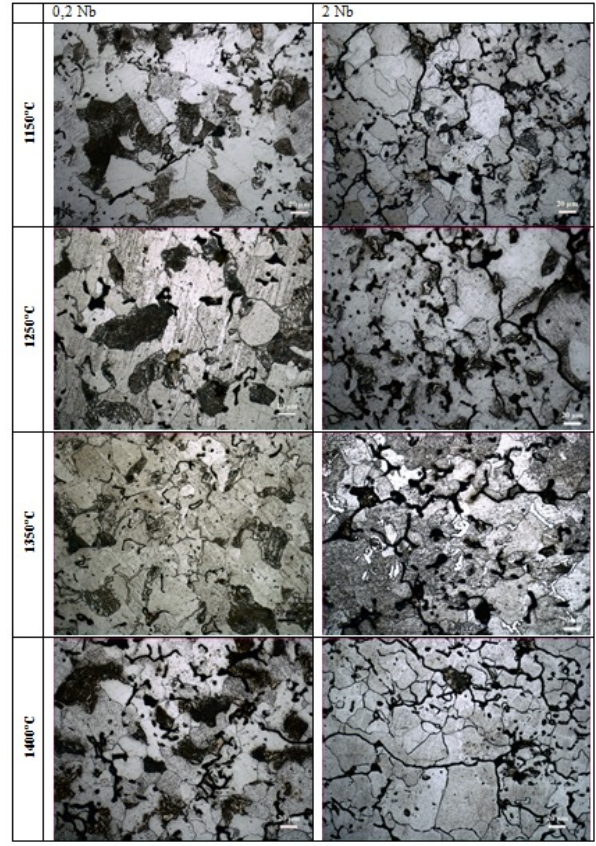
Çizelge 2. TM çelik numunelerin yoğunluk, % gözeneklilik, % perlit miktarları.

Bileşim	S. sonrası Yoğunluk (%)	Gözenek Miktarı (%)	Perlit Miktarı (%)	Ort. Tane Boyutu (µm)
Alaşım 1 1150°C	92,1	7,8	21,9	29,7
Alaşım 1 1250°C	92,7	7,3	22,2	30,3
Alaşım 1 1350°C	93,4	6,6	22,5	31,7
Alaşım 1 1400°C	94,4	5,6	22,7	33,6
Alaşım 2 1150°C	93,8	6,2	24,4	17,5
Alaşım 2 1250°C	94,6	5,4	24,7	18,2
Alaşım 2 1350°C	94,7	5,3	26,1	19,5
Alaşım 2 1400°C	94,8	5,2	23,1	33,3
Alaşım 3 1150°C	92,1	7,9	18,6	18,9
Alaşım 3 1250°C	92,5	7,5	20,8	19,1
Alaşım 3 1350°C	92,7	7,3	15,1	20,2
Alaşım 3 1400°C	93,2	6,8	7	33,9

Çizelge 2’de Nb oranının ağırlık olarak %0,2’ye kadar artmasıyla ortalama tane boyutunun düştüğü görülmektedir. Bu durumun sinterleme sırasında oluşan NbC, NbN ve NbC(N) çökeltilerinin östenit tanelerinin büyümesini engellemesiyle ortaya çıkmaktadır (Ollilainen et al. 2003). Mikroalaşım elementlerinin özelliklerinden bir tanesi oluşturmuş oldukları karbür ve nitrürler ile östenitleme veya sinterleme sırasında tane büyümesini engellemeleridir. Östenitleme sırasında küçük çökeltilerin oluşması östenit tanelerinin büyümesini engeller ve soğuma sırasında küçük ferrit tanelerinin oluşmasına neden olur; (Xiang-done et al. 2013; Bakkali et al. 2008; Gladman,1997). Nb oranının ağırlık olarak %0,2’den %2’ye çıkması ile ortalama tane boyutunun bir miktar artışı gözlenmiştir. Bunun nedeni olarakta büyük NbC çökeltilerinin tane sınırlarında oluşması olarak düşünülebilir (Scade et al. 2012a,b). Çökeltilerin tane sınırında yığılması gözenek miktarında bir artışa neden olmuştur. Böylece oluşan büyük çökeltiler yeterince tane büyümesini engelleyemediği için ortalama tane boyutunda büyümeye neden olmuştur.

Şekil 1’de görülen mikroyapı resimleri incelendiğinde tane sınırlarında kısmen kapanmamış gözeneklerin olduğu tespit edilmiştir. Bir çok kaynakta gözenekliliğin dayanımı olumsuz etkilediği belirtilmekle birlikte

gözeneklerin çok küçük ve küresel şekilli olmasının dayanımı düşürmediği bildirilmiştir (Saritaş et al. 2007).



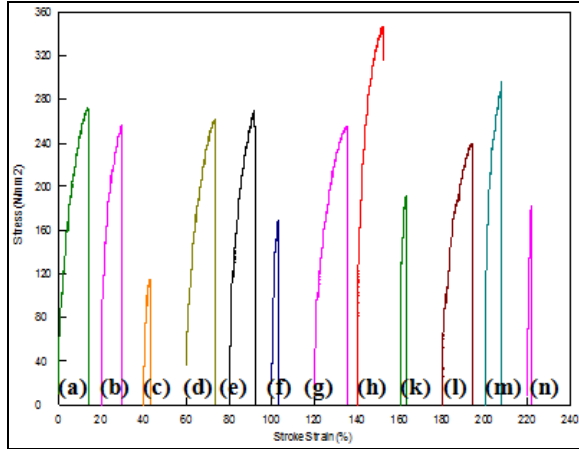
Şekil 1. Farklı sinterleme sıcaklıklarında sinterlenen Nb TM çelik numunelerin mikroyapı resimleri (500 x)

Ayrıca ilave edilen Nb miktarının artması ile yoğunlukta azalma gözlenirken, gözenek miktarında artış gözlenmiştir.

3.2.Mekanik Özellikler

Şekil 2 ve Çizelge 3’te çeliklerin gerilme-uzama diyagramları, akma, çekme ve % uzama değerleri görülmektedir. Sinterleme sıcaklığının artması ile Nb ilave edilmemiş alaşımsız çelik numunelerin akma ve çekme dayanımında düşüş % uzama değerlerinde ise artma gözlenmiştir. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü yüksek sıcaklıklarda atomların difüzyonu arttığı için küçük taneler birleşerek büyüme eğiliminde olacaktır ve tane boyutunun büyümesi akma ve çekme dayanımında azalmaya, % uzama değerinde ise artmaya yol açmıştır (Askeland,1996). 1150°C ve 1250°C’de sinterlenene Nb ilave edilen çelik numunelerin mekanik özelliklerindeki artış beklenen düzeyde

gerçekleşmemiştir. Bunun nedeni sinterleme sıcaklığının yeterince yüksek olmamasıdır. Çünkü NbC'ün etkili olabilmesi için yeniden ısıtma sıcaklığında tamamen çözelti içinde olması gerekir. Böylece ince parçacıklar şeklinde çökerek akma sınırında artışa neden olurlar. NbC'ün çözeltiye girebilmesi için yeniden ısıtma sıcaklığının yüksek (1300°C) ve yeterince uzun süreli olması gerekir (Koltuk,1996; Karabulut and Gündüz 2004).



Şekil 2. Değişik sinterleme sıcaklıklarına çeliklerin gerilme-uzama diyagramları. (a-%0 1150°C; b-%0,2 1150°C; c-%2 1150°C; d-%0,2 1250°C; e-%0,2 1250°C; f-%2 1250°C; g-%0 1350°C h-%0,2 1350°C; k-%2 1350°C; l-%0 1400°C; m-%0,2 1400°C; n-%2 1400°C).

Çizelge 3. Sinterleme ortamlarına göre TM çelik numunelerin akma, çekme ve % uzama değerleri.

Bileşim	Akma D. (MPa)	Çekme D. (MPa)	% Uzama
Alaşım 1 1150°C	110	272	13
Alaşım 2 1150°C	120	257	9
Alaşım 3 1150°C	65	115	3
Alaşım 1 1250°C	105	263	14
Alaşım 2 1250°C	125	272	11
Alaşım 3 1250°C	90	170	3
Alaşım 1 1350°C	103	253	15
Alaşım 2 1350°C	235	348	12
Alaşım 3 1350°C	100	193	3
Alaşım 1 1400°C	117	240	14
Alaşım 2 1400°C	165	298	8
Alaşım 3 1400°C	95	183	2

Sinterleme sıcaklıkları karşılaştırıldığında en iyi mekanik özelliklerin elde edildiği numuneler 1350°C'de sinterlenen numuneler olduğu tespit edilmiştir. En yüksek çekme dayanım değeri 348 MPa ile 1350°C'de sinterlenen %0,2 Nb içeren TM

çelik numunede elde edilmiştir.

Nb oranının %0,2'den %2'ye çıkması ile dayanım değerlerinde bir düşüş meydana gelmiştir. Bu durum % 2 Nb alaşım oranında yoğunluğun düşmesine bağlanabilir. Dayanım, süneklik ve iletkenlik gibi özellikler yoğunluğa yani gözeneklilik ve gözenek yapısına bağlıdır (Sarıtaş et al. 2007). Dayanım düşüşünün diğer bir sebebinin NbC çökeltilerinin tane sınırlarında oluşması olarak düşünülebilir (Scade et al. 2012a,b). 1400°C'de sinterlenen numuneler ile 1350°C'de sinterlenen numunelerin mekanik özellikleri karşılaştırıldığında 1400°C'de sinterlenen numunelerin mekanik özelliklerinde kötüleşme görülmektedir. Buna neden olarak tanelerin büyümesinin yanı sıra NbC gibi çökeltilerin bu sıcaklıkta büyüyerek dislokasyon hareketini yeterince engelleyememesi gösterilebilir (Askeland,1996).

3. Sonuçlar

Bütün sinterleme sıcaklıkları için % ağırlık olarak 0,2 Nb ilave edilmiş TM çeliğin en yüksek akma dayanımına (YS) ve çekme dayanımına (UTS) sahip olduğu görülmüştür.

Nb miktarının % ağırlık olarak 0,2'den 2'ye çıkması ile akma dayanımı (YS) ve çekme dayanımı (UTS) düşmüştür.

1350°C ortamında sinterlenen numuneler daha iyi mekanik özellikler sergilemiştir. Optimum sinterleme sıcaklığı 1350°C olarak tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Askeland D. R., 1996. The science and engineering of materials. Chapman and Hall, Third S. I. Edition 1-55.
- Bakkali E., Chenaouia A, Dkiouaka R and Elbakkalib L., 2008. Characterization of deformation stability of medium carbon microalloyed steel during hot forging using phenomenological and continuum criteria. *Journal of Materials Processing Technology*,1999, 140–149.
- Campos SS, Kestenbach HJ and Morales E. V.,2001. On strengthening mechanisms in commercial Nb-Ti hot strip steels.*Metallurgical and Materials Transactions A*, **32A**, 1245-1248.
- Dutta B and Sellars C. M.,1986. Strengthening of austenite by niobium during hot rolling of

- microalloyed steel. *Materials Science and Technology*, **2**, 146–153.
- Erden M. A., 2015. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen mikroalaşım çeliklerinin mikroyapı mekanik özellik ilişkisinin araştırılması. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 175.
- Gladman T., 1997. The physical metallurgy of microalloyed steels. *The Institute of Materials*, **1**, 341.
- Gladman, T. and Woodhead, J. H. 1960. The accuracy of point counting in metallographic investigations. *Journal of Iron and Steel Research*, **194**, 184-193.
- Karabulut H. and Gündüz S. 2004. Effect of vanadium content on dynamic strain ageing in microalloyed medium carbon steel. *Materials and Design*, **25**, 521–527.
- Misra R. D. K., Tennesi K. K., Weatherly G. C. and Tither G. 2003. Microstructure and texture of hot rolled Cb-Ti and V-Cb microalloyed steels with differences in formability and toughness. *Metallurgical and Materials Transactions A*, **34A**, 2341–2351.
- Sarıtaş, S., Türker M. and Durlu, N., 2007. Toz metalürjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri, Türk Toz Metalürjisi Yayınları, 05, 2-34, 206-237, 379-410.
- Schade C., Murphy T., Lawley A. and Doherty R., 2012. Microstructure and mechanical properties of microalloyed PM steels. *International Journal of Powder Metallurgy*, **48**, 51-59.
- Schade C., Murphy T., Lawley A. and Doherty R., 2012. Microstructure and mechanical properties of PM steels alloyed with silicon and vanadium. *International Journal of Powder Metallurgy*, **48**, 41-48.
- Xiang-dong H., Xin-ping M. and Sheng-xia L., 2013. Effect of annealing temperature on recrystallization behavior of cold rolled Ti-microalloyed steel. *Journal of Iron and Steel Research*, **20 (9)**, 105-110.