

Toz Metalürjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Ni İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi

Mehmet Akif ERDEN, Muhammed Taha TAŞCI

Karabük Üniversitesi TOBB TB MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, KARABÜK
Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Müh. A.B.D., KARABÜK

(Geliş / Received : 07.06.2016 ; Kabul / Accepted : 11.07.2016)

ÖZ

Bu çalışmada % ağırlıkça % 0,55 grafit ve % 0,15 (Nb-V) içeren demir esaslı malzemelerde Ni ilavesinin (% ağırlıkça 2, 3 ve 5) mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. 750 MPa basınçta preslenen numuneler 1350°C de argon atmosferinde 1 saat sinterlenerek üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen TM çeliklerinin mikroyapısı optik mikroskop SEM ve EDS ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar % ağırlık olarak 5 Ni ilave edilmiş TM çeliğin en yüksek akma dayanımına (A. D.) ve çekme dayanımına (Ç. D.) sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metalürjisi; toz metalürjisi çelikleri; Ni; mikroyapı; mekanik özellikler.

The Effect of Ni on the Microstructure and Mechanical Properties of Nb-V Microalloyed Steels Produced by Powder Metallurgy

ABSTRACT

In this work, the effect of Ni (wt. % 2-3-5) on the microstructures and tensile behaviours of Fe matrix materials including graphite 0.55 wt. % and (Nb-V) 0.15 wt. % were investigated. The samples pressed at 750 MPa were produced by sintered at 1350°C temperature in the argon atmosphere for 1 h. The microstructure of the produced PM steels was characterised by optic microscope, SEM and EDS. Results indicated that 5 wt. % Ni added PM steel showed the highest values in yield strength (YS) and ultimate tensile strength (UTS).

Keywords: Powder metallurgy; powder metallurgy steels; Ni; microstructure, mechanical properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsan ihtiyaçlarının gelişen teknoloji ile beraber artış göstermesi malzeme alanında yapılan çalışmaların önemini artırmaktadır. Bu çalışmalar arasında metal matrisli malzeme üretiminde önemli bir yer almaktadır. Metal matrisli malzemeler birden daha fazla sayıda, kimyasal bileşimi ve özellikleri bakımından farklı olan malzemenin birleştirilmesi ile bir araya getirilen ve matris malzemesi Fe, Al gibi metal malzemelerden oluşan malzemeler olarak tanımlanabilirler [1-2].—Bu malzemelerin üretim yöntemlerinden bir tanesi de toz metalürjisi üretim yöntemidir.

Birçok kaynakta genel olarak toz metalürjisi, imalatı zor parçaların yüksek mukavemet ve minimum toleransla üretimi için seramik esaslı tozlar ile saf metal ve alaşım tozların karıştırılarak preslenmesi, sinterlenmesi şeklinde tanımlanmaktadır [3-7]. Kısaca toz metalürjisi tozların bazı işlemlerden geçirilerek yararlı mühendislik malzemelerine dönüştürülmesidir [7]. Bu yöntem, üretilebilirlik, ekonomiklik, homojenlik gibi üstün özellikleri

sağladığı için tercih edilmektedir. Üretim maliyetinin düşük olması ve performansının yüksek olması sebebiyle birçok farklı alanda kullanılmaktadır [7].

Döküm yoluyla üretilmeyen yüksek ergime sıcaklığına sahip seramikler, bakırlı çelikler ve karışık fazlı bileşimler, refrakter malzemeler, birbiri içerisinde çözünmeyen tozlar, intermetalikler, sermetler gibi döküm yöntemiyle üretimi zor olan malzemeler toz metalürjisi yoluyla üretilebilir. Bu teknikte üretilen malzemeler, ortopedi malzemeleri, nükleer güç santralleri, yüksek sıcaklığa dayanıklı filtreler, uçak parçaları, otomobil parçaları, elektrik bağlantı elemanları, saat parçaları, gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen malzemelerin yüzey kalitesi çok iyi ve boyutları tamdır. Ayrıca toz metalürjisi ile üretilen malzemelere yüksek oranda ikinci faz partikülleri katılabilir [8-9]. Yapılan birçok çalışma, demir matrisli malzeme üretimine örnek olarak verilebilir. Örneğin, Wang et al., yaptıkları çalışmada (Ti, V)C ile güçlendirilmiş Fe matrisli kompozitler (Ti, Fe, Fe-% 50 V, Fe-%70 Cr, Fe-%50 Mo) üretmişlerdir. (Ti,V)C partiküllerin Fe matrisin içerisinde homojen dağıldığı ve küçük taneli olduğu görülmüştür. Ayrıca

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: makiferden@karabuk.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.4 611-616

yazarlar V/Ti atomik oranının artmasıyla (Ti, V)C'ün kafes parametresinin düştüğü ve morfolojisinin ise düzensiz şekilden küresel şekle dönüştüğünü tespit etmişlerdir [10]. Günümüzde üretilen çeliklerin büyük bölümü yassı ve boru mamul olarak üretilmekle birlikte son yıllarda dövme amaçlı çeliklerin üretimi de hız kazanmıştır. Ayrıca günümüzde yeterli düzeyde olmamakla birlikte toz metalürjisi yöntemiyle de çelik üretimi yapılmaktadır [5;7;12].

Nikel östenit dengeleyicidir ve demir krom karbon alaşımlarında östenit alanını genişletir ve ferrit alanını daraltır. Nikel, yüksek sıcaklıkta korozyon ve oksitlenmeye karşı direnci artırır. Tane küçültme etkisine sahip olan nikel, malzemenin tokluğunu ve mukavemetini artırır. Ayrıca, malzemenin yüzeyinde tufal oluşumunu engelleyici özelliğe sahiptir. Krom ile birlikte kullanılması ile birlikte sertliğini, sünekliğini yüksek yorulma direncini artırır ve kritik soğuma hızını düşürür. Literatürdeki bazı çalışmalar Ni ilavesinin perlit miktarını artırdığı yönündedir. Örneğin, Kalathur ve Frederick yaptıkları çalışmada Fe-C-Ni alaşımlarında Ni miktarının artması ile kısmen perlitin içindeki karbon miktarının azaldığı ve ayrıca mikroyapıda perlit miktarının arttığı ferrit miktarının ise azaldığını belirtmişlerdir. Bunun sonucunda malzemenin dayanımı artarken sünekliğin düştüğünü gözlemlemişlerdir [2;11]. Nikel elementi bir çok element ile (karbon, bakır ve molibden gibi) karşılaştırıldığında, sahip olduğu difüzyon katsayısı değeri daha düşük olduğundan demir içerisinde yavaş yayılım gösterir [13, 14]. Bu çalışmada Fe tozlarının içerisinde grafit, Nb, V ve farklı oranlarda Ni ilave edilerek istenilen bileşimde çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen blok numuneler için sinterleme işlemi 1350°C'de 1 saat süre ile argon atmosferinde bekletilerek yapılmıştır. Numunelerin mikroyapı incelemeleri optik mikroskop, SEM ve EDS ile gerçekleştirilirken, mekanik özellikleri ise çekme testi uygulanarak belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle Çizelge 1'de verilen kimyasal bileşimlerde çelik numuneler üretilerek Ni miktarının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Numuneler için çekme testi ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karıştırma işlemi öncesinde kullanılan grafit, demir, niyobyum, vanadyum ve nikel tozlarının toz boyutları sırasıyla <20, ≤180, <45, <44 ve 5 µm'dir. Saflik değerleri ise sırasıyla yaklaşık olarak %

96,5, % 99,9, %99,8, % 99,5 ve % 99,7'dir. Tozların tartımı Çizelge 1'de kimyasal kompozisyonu verilen oranlarda 0,0001 hassasiyetine sahip dijital hassas terzide gerçekleştirilmiştir. Tartımı yapılan tozlar Turbula marka üç eksenli karıştırıcı ile bir saat süreyle bilyesiz olarak karıştırılmıştır. Yağlayıcı olarak Zn-stearate kullanılmıştır.

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 1350°C'de 1 saat argon atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Sinterlenen çekme numuneleri mekanik özelliklerini tespit etmek için 1 mm/dak. çekme hızında çekme deneyi uygulanarak koparılmıştır. Her deney sonrasında gerilme-% gerinim diyagramları elde edilmiştir. Kimyasal bileşimdeki nikel oranındaki değişimden kaynaklanan mekanik özelliklerdeki farklılıklar numunelerin akma dayanımı (%0,2), çekme dayanımı ve % uzama değerleri tespit edilerek belirlenmiştir. Şekil 2'de çekme numunesinin mekanik özelliklerinin tespit etmek için uygulanan çekme testi sonrası görüntüsü verilmektedir.



Şekil 2. 1350°C'de 1 saat sinterlenmiş Alaşım 2 test numunesinin çekme testi sonrası genel görüntüsü (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 ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) 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 içerisinde 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 perlit oranları Gladman ve Woodhead'ın tanımladığı metalografik nokta sayım metodu kullanılarak yapılmıştır. Optik mikroskop görüntüleri ile elde edilen Alaşım 1 ve Alaşım 2 numunelerin tane boyutları ortalama doğrusal kesişme yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

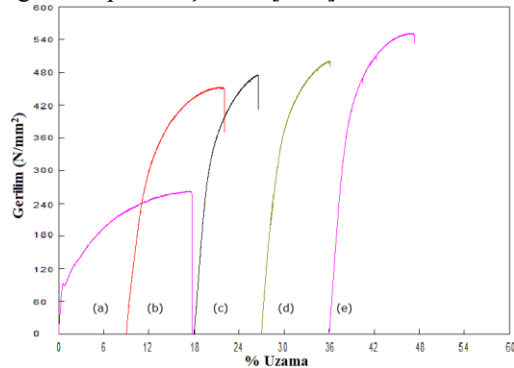
Çizelge 1. Toz metal çeliklerin kimyasal kompozisyonları (Chemical compositions of powder metallurgy steels)

Bileşim	Grafit(% ağı.)	Nb (% ağı.)	V (% ağı.)	Ni(% ağı.)	Fe (% ağı.)
Alaşım 1	0,55	-	-	-	Geri kalan
Alaşım 2	0,55	0,75	0,75	-	Geri kalan
Alaşım 3	0,55	0,75	0,75	2	Geri kalan
Alaşım 4	0,55	0,75	0,75	3	Geri kalan
Alaşım 5	0,55	0,75	0,75	5	Geri kalan

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

3.1. Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)

Şekil 3 sinterlenen numunelerin gerilme-uzama diyagramlarını gösterirken, Çizelge 2 ise akma, çekme ve % uzama değerlerini göstermektedir. Şekil 3 ve Çizelge 2 mekanik özellikler yönünden karşılaştırıldığında Alaşım 1 ve Alaşım 2 de grafit oranları sabit tutulup Nb ve V etkisi incelenmiştir. Alaşım 1'e Nb ve V ilave edilmesiyle elde edilen Alaşım 2'nin mekanik özelliklerinin Alaşım 1'e göre belirgin bir şekilde üstün olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak ilave edilen Nb ve V elementi sinterleme sırasında ve sonrasında oluşturduğu çökeltiler ile çökelti serleşmesi ve tane boyutu küçültme gibi mukavemet artırıcı mekanizmalar sayesinde akma ve çekme dayanımını artırmıştır. Benzer çalışmalar bu sonucu desteklemektedir. Örneğin Erden vd. yaptıkları çalışmalarda 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;12]. Alaşım 2, Alaşım 3, Alaşım 4 ve Alaşım 5 de grafit, Nb ve V oranları sabit tutulup Ni etkisi incelenmiştir. Ayrıca üretilen çekme numunelerinde çekme testi sonrası elde edilen değerler karşılaştırıldığında nikel oranının artması ile akma ve çekme dayanımı artış gösterirken, % uzama değerlerinde bir düşüş tespit edilmiştir. Örneğin Alaşım 2'de çekme dayanımı 454 MPa ve % uzama değeri % 13 iken Alaşım 4'de çekme dayanımı 502 MPa ve % uzama değeri % 9 çıkmıştır. Çıkan sonuçlar literatürle uyumluluk göstermektedir. Örneğin, Kalathur and Frederick yaptıkları çalışmada Fe-C-Ni alaşımlarında Ni miktarının artması ile kısmen perlitin içindeki karbon miktarının azaldığı ve ayrıca mikroyapıda perlit miktarının arttığı ferrit miktarının ise azaldığını belirtmişlerdir. Bunun sonucu olarak malzemenin dayanımı artarken sünekliğin düştüğünü tespit etmişlerdir [2;11].



Şekil 2. Farklı nikel oranlarına sahip numunelerin gerilme-uzama diyagramları, (a) Alaşım 1, (b) Alaşım 2, (c) Alaşım 3, (d) Alaşım 4 ve (e) Alaşım 5. (Stress-strain curves of specimens with different Ni contents (a) Alloy 1, (b) Alloy 2, (c) Alloy 3, (d) Alloy 4, and (e) Alloy 5.)

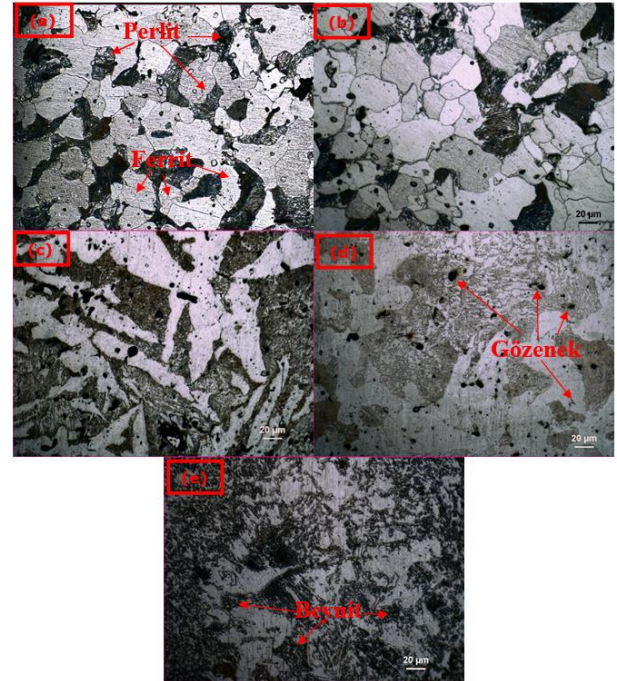
Çizelge 2. Mikroalaşımli TM çelik numunelerin mekanik özellikleri (Mechanical properties of microalloyed PM steels)

Bileşim	Akma D. (MPa)	Çekme D. (MPa)	% Uzama
Alaşım 1	92	263	17
Alaşım 2	250	454	13
Alaşım 3	267	476	9
Alaşım 4	289	502	9
Alaşım 5	313	554	10

Bu çalışmada malzeme içerisindeki ağırlık olarak Ni miktarı artarken malzemenin çekme dayanımının arttığı ve % uzama değerinin ise azaldığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, literatürde bulunan çalışmalar ile uyusmaktadır. [15-17]. Örneğin Getting et al. yaptığı çalışmada Molibden toz metal çeliklerinin mekanik özellikleri üzerine Ni ilavesinin etkisini araştırmıştır. Elde ettiği sonuçlar, ilave edilen Ni miktarının artması ile üretilen toz metal çeliğin sertlik ve çekme dayanımının arttığı ve % uzama miktarının azaldığını tespit etmişlerdir [17].

3.2. Mikroyapı (Microstructure)

Numunelerin mikroyapı resimleri Şekil 3'de görülmektedir. Şekil 3'de görülen mikroyapı resimleri incelendiğinde tane sınırlarında ve tane içerisinde kısmen kapanmamış gözeneklerin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Farklı nikel oranlarına sahip numunelerin mikroyapı görüntüleri (500X), (a) Alaşım 1, (b) Alaşım 2, (c) Alaşım 3, (d) Alaşım 4 ve (e) Alaşım 5. (Micrographs of specimens with different nickel contents (500-1000 x). (a) Alloy 1, (b) Alloy 2, (c) Alloy 3, (d) Alloy 4 and (e) Alloy 5.)

Bir çok kaynakta gözenekliliğin dayanımı olumsuz etkilediği belirtilmekle birlikte gözeneklerin çok küçük ve küresel şekilli olması ve tane içi olması mekanik

özellikleri düşürmediği bildirilmiştir [4;7]. Çizelge 3, TM çelik numunelerin sinter sonrası yoğunluk ve % perlit miktarını vermektedir.

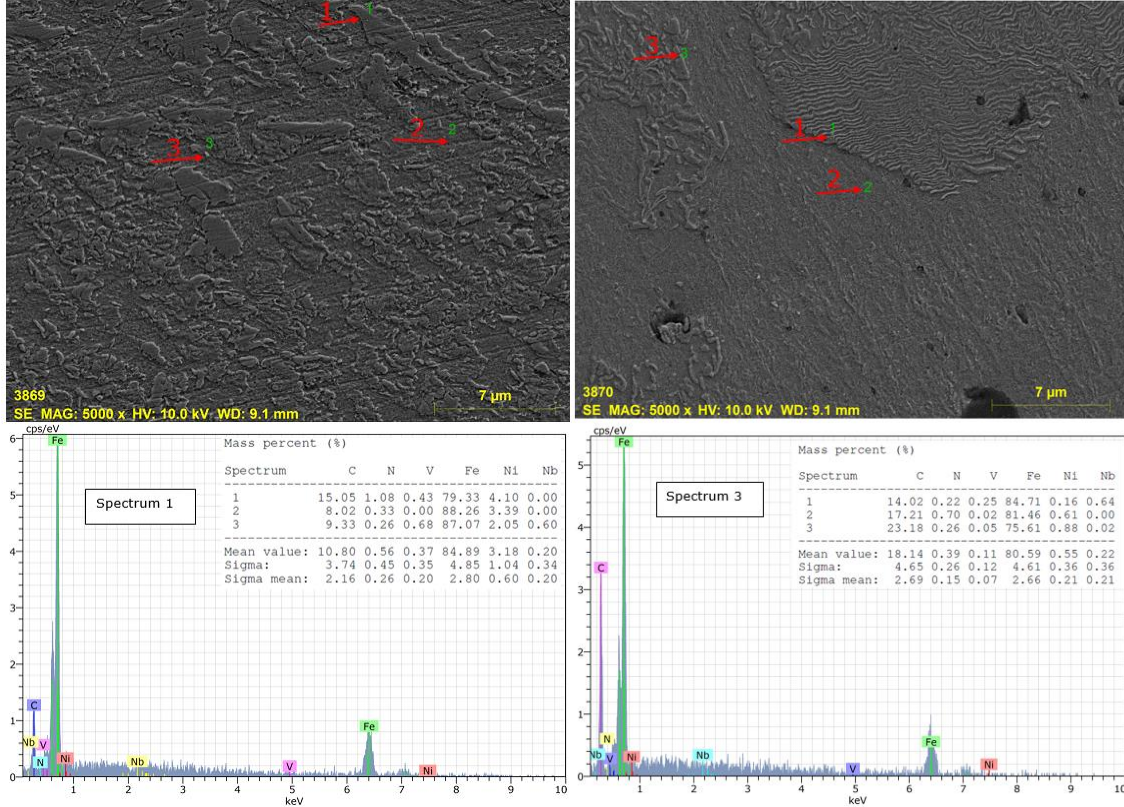
miktarının artması ile bey nitik yapısında oluştuğu düşünülmektedir. Nitekim Getting et al. yaptıkları çalışmada molibden toz metal çeliklerinin mekanik

Çizelge 3. TM çelik numunelerin Yoğunluk ve perlit miktarı.

Bileşim	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	S. sonrası Yoğunluk (g/cm ³)	S. sonrası Yoğunluk (%)	Perlit Miktarı (%)
Alaşım 1	7,829	7,281	93	21,4
Alaşım 2	7,828	7,264	92,8	26,1
Alaşım 3	7,849	7,268	92,6	33,7
Alaşım 4	7,860	7,295	92,8	41,5
Alaşım 5	7,959	7,394	92,9	47,3

Numunelerin sinterleme sonrası yoğunlukları nikel 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 [4]. Demir esaslı T/M malzemelerin üretiminde, sinterleme sonrasında yavaş soğuma hızı nedeniyle, malzemenin mikroyapısı ferrit ve perlit şeklinde oluşmaktadır [57]. Şekil 3'de de görüldüğü gibi Alaşım 1 ve Alaşım 2 yapının perlit ve ferrit fazlarından oluşmaktadır. Nikel ilavesinin artması ile perlit miktarında bir artış gözlenmiştir. Bu beklenen bir durumdur. Literatürde bu sonucu destekleyen çalışmalar mevcuttur [2;12]. Bu çalışmada ilave edilen Ni

özellikleri üzerine Ni ilavesinin etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, ilave edilen Ni miktarının artması ile üretilen toz metal çeliklerin sertlik ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir. Ayrıca mikroyapı incelemelerinde Ni içermeyen molibden çeliğinin mikroyapısının ferrit ve perlitten oluştuğu ancak bu tür toz alaşımların içerisinde nikel miktarının ağırlık olarak %0- 2 bulunması durumunda mikroyapıda daha sert fazların oluştuğunu ve nikel miktarı ağırlık olarak %2-5 arasında olması durumunda ise bey nit ve martenzit fazlarının bulunduğunu ifade etmişlerdir [13]. Nikel elementi bir çok element ile (karbon, bakır ve molibden gibi) karşılaştırıldığında, sahip olduğu difüzyon katsayısı değeri daha düşük olduğundan demir içerisinde en yavaş yayılımı gösterir



Şekil 4. Alaşım 5 SEM mikroyapı ve nokta EDS sonuçları (SEM micrograph Alloy 5 and corresponding EDS of the indicated points).

[13-14]. Nikel elementinin bazen homojen dağılmadığı ve Ni elementince zengin bölgelerin olduğu SEM nokta EDS ile gözlenmiştir. Bu durum, Tracey [13] ve Upadyaya'nın [14] çalışmalarında belirtildiği gibi, nikel difüzyon katsayısının düşük olması ve sinterleme esnasında yeterince yayınamamalarından kaynaklanmaktadır. Şekil 4'te % 5 Ni ilave edilmiş numunenin SEM nokta EDS sonuçları görülmektedir. Alınan nokta EDS'lerde nikel elementinin matris içerisinde homojen dağılmadığı ve bazı bölgelerde nikelce zengin alanlar oluştuğunu tespit edilmiştir. Bu durum, nikel difüzyon katsayılarının düşük olması ve sinterleme esnasında yeterince yayınamamasından kaynaklanmaktadır. Alaşım 1 ve Alaşım 2'nin ortalama tane boyutu hesaplandığında Alaşım 1'in ortalama tane boyutu 34 µm iken (Nb-V) ilavesi ile Alaşım 2'nin ortalama tane boyutu 29µm'ye düştüğü görülmektedir. Bu durumun sinterleme sırasında oluşan VC, VN, VC(N), NbC, NbN ve NbC(N) çökeltilerinin östenit tanelerinin büyümesini engellemesiyle ortaya çıkmaktadır [14]. Mikroalaşım elementlerinin özelliklerinden birtanesi oluşturmuş oldukları karbür ve nitürler 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 [18-21]. NbC çökeltilerinin çözünürlüğü TiC çökeltilerine çok benzer ve östenit tane büyümesini engelleyerek küçük ferrit tanelerinin oluşmasına katkı sağlar [21]. Sinterleme sıcaklığında çözünmeyen çökeltiler östenit tane büyümesini engelleyerek küçük ferrit tanelerinin oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle östenit bölgesinde (900°C-1300°C) deformasyon miktarına bağlı olarak oluşan NbC çökeltilerinin yeniden kristalleşmeyi engellediği ve küçük ferrit tanelerini oluşturduğu bilinmektedir [22-24]. Ayrıca VC, VN ve VCN çökeltileri östenit bölgesinde ve östenit-ferrit dönüşümü esnasında tane büyümesini engelleyerek küçük ferrit tanelerinin oluşmasını sağlar [25]. (Nb-V) ilavesi ile üretilen çeliklerin akma ve çekme dayanımları artarken tane boyutlarının azaldığı gözlenmiştir. Bu durumun sinterleme sırasında oluşan VC, VN, VC(N), NbC, NbN ve NbC(N) çökeltilerinin östenit tanelerinin büyümesini engellemesiyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Nitekim literatürdeki yapılan çalışmalar bu sonucu destekler niteliktedir. Örneğin Erden ve Gökçe, yaptıkları çalışmada farklı sinterleme ortamlarında farklı oranlarda Nb-V mikroalaşım elementi içeren mikroalaşım çeliğini üretimi gerçekleştirmişlerdir. Üretilen çeliklerde Nb-V miktarının artması ile çeliklerin akma dayanımı çekme dayanımı artarken ortalama tane boyutunun düştüğünü gözlenmiştir [26].

4. GENEL SONUÇLAR (GENERAL CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, % ağırlıkça % 0,55 grafit ve % 0,15 (Nb-V) içeren demir esaslı malzemelerde Ni ilavesinin (% ağırlıkça 2, 3 ve 5) mikroyapı ve mekanik özellikler

üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1-Toz metalürjisi yöntemiyle Ni içeren çelik üretimi gerçekleştirilmiştir.

2-Bütün Ni oranları için ağırlık olarak % 5 nikel ilave edilen numunelerin en yüksek akma dayanımına (YS) ve çekme dayanımına (UTS) sahip olduğu % uzama olarak Alaşım 1 ve Alaşım 2'den daha düşük olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi BAP projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. KBÜ-BAP-16/1-YL-152 nolu projemize vermiş olduğu destekten dolayı Karabük Üniversitesi Rektörlüğü BAP Kordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Erden M. A. "Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen mikroalaşım çeliklerinin mikroyapı mekanik özellik ilişkisinin araştırılması", *Doktora Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).
2. Aşkun Y., Hasırcı H., Şeker U., "Ni ve Cu ile Alaşımlandırılmış Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Kaliteleri Açısından Değerlendirilmesi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1): 191-199, (2003).
3. Robert, M., "Powder Metallurgy Science", *Metal Powder Industry Federation*, New Jersey, (1984).
4. Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., "Toz metalürjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri", *Türk Toz Metalurjisi Yayınları*, 05, Anlara, 2007.
5. Schade C, Murphy T, Lawley A, Doherty R., "Microstructure and mechanical properties of microalloyed PM steels", *Int J of Powder Metall.*, 48: 51-59, (2012).
6. Mutlu, İ. Alüminyum Matrisli Metal Kompozit Malzemelerin Üretilmesi, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 4(1): 31-36, (2012).
7. Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M., Karabulut H., "Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels", *Materials Science and Engineering A*, 616: 201-206, (2014).
8. Doğan Ö. N., Hawk, J. A., Tylczak J. H., "Wear of cast chromium steels with TiC reinforcements", *Wear*, 250: 462-469 (2001).
9. Wang, Y. S., Zhang, X. Y., Fengchun L., Guangting Z., "Study on and Fe-TiC surface composite produced in situ", *Mater. Des.*, 20: 233-236 (1999).
10. Wang, J., Wang, Y., Ding, Y., "Production of (Ti, V)C reinforced Fe matrix composites", *Materials Science and Engineering A*, 445-455: 75-79 (2007).
11. Kalathur S. N. and Frederick J.S. "Sintering of powder premixes – a brief overview" *Hoeganaes Corporation*, 1001 Taylors lane, Cinnaminson, NJ 08077, Paper No. 2007-01-0145 (2007).
12. Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M., Karabulut H., "The Effect of V Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Powder Metallurgy Steels", *Materials Testing*, 58(5): 433-437, (2016).
13. Tracey, V. A., "Nickel Sintered Steels: Development, Status and Prospects", *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, 5: 303-314, ed:J.M.Capus,

- R.M.German, , 21-26 June, San Francisco, California, USA (1992).
14. Upadhyaya, G. S., “Sintered Metallic and Ceramic Materials-Sintered Low-Alloy Ferrous Materials”, *John Wiley & Sons LTD*, West Sussex, England, (2000).
 15. Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Derya Kitabevi, Trabzon, (1999).
 16. Torralba, J. M., “Microstructures:Low Alloyed Steels”, *A Residential Training Course for Young Materials/Design Engineers*, 2: 395-428, (2007).
 17. Gething, B. A., Heaney, D. F., Koss, D. A.,Mueller T. J., “The Effect of Nickel on the Mechanical Behavior of Molybdenum P/M Steels”, *Materials Science and Engineering A*, 390: 19–26, (2005).
 18. Ollilainen V., Kasprzak W., Hollapa L., “The effect of silicon, vanadium and nitrogen on the microstructure and hardness of air cooled medium carbon low alloy steel”, *Journal of Metarials Processing Technology*, 134: 405-412 (2003).
 19. Xiang-dong H., Xin-ping M., Sheng-xia L., “Effect of annealing temperature on recrystallization behavior of cold rolled Ti-microalloyed steel” *J. of Iron and Steel Res Int.*, 20 (9): 105-110 (2013).
 20. Bakkali E. H. F., Chenaouia A., Dkiouaka R., Elbakkalib L. A. O. A., “Characterization of deformation stability of medium carbon microalloyed steel during hot forging using phenomenological and continuum criteria”, *J. Mater. Proc. Tech.*, 140–149 (2008;1999).
 21. Gladman T., “The physical metallurgy of microalloyed steels”, *The Institute of Materials*, England, 1, 341 (1997).
 22. Dutta B., Sellars C. M., “Strengthening of austenite by niobium during hot rolling of microalloyed steel”, *Mater Sci Technol.*, 2: 146–153 (1986).
 23. Sage A. M., “An overview of the use of mikroalloys in hsla steels with particular reference to vanadyum and titanium, processing, properties and applications”, *Proceedings of the Second International Conference on HSLA Steels*, 51-61, (1992).
 24. Campos S.S., Kestenbach H.J., Morales E. V., “On strengthening mechanisms in commercial Nb-Ti hot strip steels”, *Metall. Mater. Trans. A.*, 32A: 245-1248, (2001).
 25. Baker T. N., “Process, microstructure and properties of vanadium microalloyed steels”, *Mater. Sci. Tech.*, 25: 1083-1107(2009).
 26. Erden M.A., Gökçe H., “The Effect of Sintering Atmosphere on Mechanical Properties of Nb-V Bsaed Microalloy Steels Produced by Powder Metallurgy Method” *SYLWAN*, 160(8): 362-375, (2016).