



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Toz Metalurjisi İle Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Vanadyum İlavésinin Mikroyapı Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi

Mehmet Akif ERDEN ^{a,*}, Samet BARLAK ^b, Berkay ADALI ^b, Özgür ÇELİKKIRAN ^b

^a Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, TOBB TB MYO, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

^b İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: e-mail: makiferden@karabuk.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle Fe matris içerisine sabit oranda grafit ve niyobium ilavesinin yanı sıra farklı oranlarda vanadyum elementinin (% Ağırlık olarak 0-0,025-0,05-0,1-0,3-0,5-1-3) katılmasıyla istenilen bileşimde çelik malzeme toz karışım olarak elde edilmiştir. Elde edilen tozlar çekme numunesi şeklinde tasarlanan kalıpta 700 MPa presleme basıncında sıkıştırılarak atmosfer kontrollü tüp fırında argon atmosferinde 1400C’de sinterlenerek çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı V oranlarına sahip Nb-V mikroalaşımli çelik numunelerin mekanik özellikleri çekme ve mikrosertlik testi ile analiz edilmiştir. Toz metal çeliklerin mikroyapısı optik mikroskop ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar % ağırlık olarak % 1 V ilave edilmiş TM çelik numunelerin en yüksek akma ve çekme dayanımına sahip olduğu göstermektedir. V miktarı %1’den %3’e çıkması ile akma ve çekme dayanımında azalma gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metalurjisi, Nb-V mikroalaşımli çelikler, V, Mikroyapı, Çekme dayanımı

The Effect On Microstructure Mechanical Properties Of Vanadium In Nb-V Microalloyed Steel Produced By Powder Metallurgy

ABSTRACT

In this study, the addition of vanadium element (0-0,025-0,05-0,1-0,3-0,5-1-3% by weight) at different ratios as well as the addition of graphite and niobium in the fixed matrix into the Fe matrix by powder metallurgy method the steel material in the composition is obtained as a powder mixture. The obtained powders were compacted at 700 MPa pressing pressure in the form of drawn specimen and steel production was performed by sintering at 1400 ° C in argon atmosphere in an atmosphere controlled tube furnace. The mechanical properties of Nb-V microalloyed steel specimens with different V ratios were analyzed by tensile and microhardness test. Microstructure of powder metal steels is characterized by optical microscope. The results show that the TM steel samples added with 1% V by weight have the highest yield and tensile strength. With increasing the V content from 1% to 3%, a decrease in yield and tensile strength was observed.

Keywords: Powder metallurgy, Nb-V Microalloyed Steel, V, Micro structure, Tensile strength

I. GİRİŞ

Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler (YDDA) veya high strenght-low alloyed (HSLA) olarak ta adlandırılan mikroalaşımlı çelikler, kuvvetli karbür ya da nitrür yapıcı elementlerden çok az miktarlarda ilave edilerek mekanik özellikleri geliştirilmiş çeliklerdir. Mikroalaşımlı çeliklerin geliştirilmesi 1900'lü yılların başlarına dayanmaktadır. 1930 yıllarında yüksek dayanımlı yapı çelikleri geliştirilmiştir. 1940'lı ve 1950'li yıllarda ince taneli çelikler ortaya çıkarılarak yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler ortaya çıkmıştır [1].

Ti, Al, Nb ve V gibi mikroalaşım elementlerinin oluşturmuş olduğu karbo-nitrürlerin boyutu, dağılımı, şekli, çözünme sıcaklıkları ve soğuma hızına bağlı olarak oluşma şartları mekanik özellikleri belirleme açısından çok önem arz etmektedir. Döküm yönteminde bu özellikleri kontrol etmek toz metalürjisi yöntemine göre daha zordur. Bu nedenle bu çalışmada farklı oranlarda vanadyum ile alaşımlandırılmış Nb-V mikroalaşım çeliği toz metalürjisi yöntemiyle üretimi gerçekleştirilerek vanadyum miktarının mekanik özellikleri nasıl etkilediği araştırılmıştır [1-2].

Toz metalürjisi (T/M) yeni bilinen bir işlem olmamasına rağmen ancak 20. yüzyılın başlarında endüstriyel bir işlem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Dünyanın gelişmiş ülkelerinde yaygın olarak kullanılmakta olup, ürünleri endüstride geniş uygulama alanları bulmaktadır. T/M ile seri üretimde ilk kullanılan malzemenin neredeyse tamamı kullanılmaktadır. Bu doğrultuda parçanın daha ucuz, diğer yöntemlerle üretilmesi ve işlenmesi zor bazı parçalar kolaylıkla ve istenilen bileşimde üretimi gerçekleştirilmektedir [3]. Literatürde T/M çeliği üretimi ve mikroyapı mekanik özellik ilişkisi hakkında bazı çalışmalar mevcuttur [3-5]. Örneğin Gündüz vd. çalışmalarında TM yöntemiyle Ti-V mikroalaşımlı çelik üretmişlerdir. Sinterleme işlemini 1150°C'de 60 dakika argon ve argon ortamında bekleterek gerçekleştirmiş olup Ti-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 [6].

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemi kullanılarak Nb-V mikroalaşım çeliğinde V elementinin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma vasıflı toz metal çelik üretiminin artırılmasına katkı sağlayarak ülkemizi vasıflı çelik üretimde söz sahibi konuma getirilmesine katkı sağlaması bu çalışmanın ana amaçlarındandır.

II. DENEYSEL METOD

Bu çalışmada, çelik numuneler TM yöntemiyle Çizelge 1'de verilen bileşimlerde üretilmiştir. Farklı oranlarda katılan vanadyum elementinin Nb-V mikroalaşım çeliklerinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Tozlar çizelge 1'de verilen oranlarda 0,0001 g. hassasiyetle çalışan Radwag marka hassas terazide tartılmıştır. Tozların karıştırma işlemi 3 eksenli hareket eden Turbula marka karıştırma cihazıyla bilyesiz olarak 1 saat süreyle yapılmıştır. Homojen olarak karıştırılan tozların soğuk preslenmesi işlemi ise 96 ton kapasiteli Hidroliksan marka hidrolik presle 750 Mpa presleme basıncında tek yönlü olarak yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri ASTM 8M toz metal çekme numunesi standartlarına uygun kalıpta sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir.

Çizelge 1. TM yöntemiyle üretilen çeliklerin kimyasal kompozisyonları.

Bileşim	C (% ağı.)	V (% ağı.)	Nb (% ağı.)	Fe (% ağı.)
Alaşım 1	0,55	-	-	Geri kalan
Alaşım 2	0,55	0,025	0,075	Geri kalan
Alaşım 3	0,55	0,05	0,075	Geri kalan
Alaşım 4	0,55	0,1	0,075	Geri kalan
Alaşım 5	0,55	0,3	0,075	Geri kalan
Alaşım 6	0,55	0,5	0,075	Geri kalan
Alaşım 7	0,55	1	0,075	Geri kalan
Alaşım 8	0,55	3	0,075	Geri kalan

Preslenen numuneler atmosfer kontrollü sinter fırınında argon ortamında 1400 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle sinterlenmiştir. Çekme testi 50 KN kapasiteli Shimadzu marka çekme cihazında 0,5 mm/dk. çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme sonucu kopan numunelerin akma dayanımı (% 0,2), çekme dayanımı ve % uzama değerleri hesaplanmıştır. Sinterleme sonrası yoğunluk ölçümleri Radwag marka hassas terazinin yoğunluk kitinde yapılmıştır. Sinterlenen numunelere geleneksel yöntemler uygulanarak (zımparalama, parlatma ve dağlama) metalografik incelemelere hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mikroyapıları X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot marka optik mikroskop altında incelenmiştir. Ayrıca, toz metal çeliklerin perlit oranları Gladman ve Woodhead'ın tanımlamış olduğu metalografik nokta sayım metodu kullanılarak hesaplanmıştır [7].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. MİKROYAPI

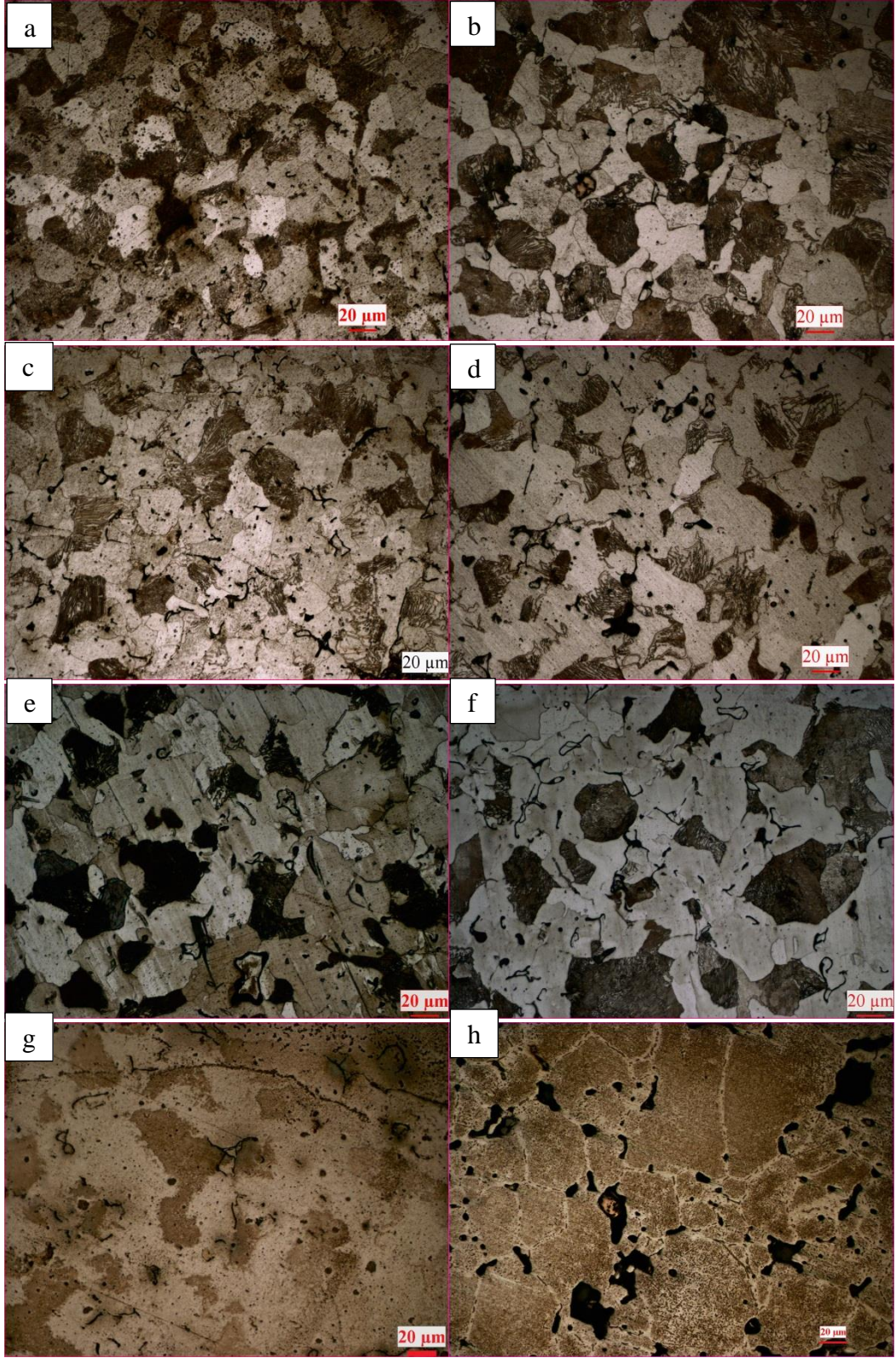
1400°C'de sinterlenen alaşımsız ve farklı oranlarda V ilave edilmiş Nb-V mikroalaşım çelik numunelerin mikroyapı resimleri Şekil 4'de verilmiştir. Mikroyapı resimleri incelendiğinde tüm numunelerde yapılar farklı tane boyutuna sahip ferrit ve perlit fazlarından oluştuğu görülmektedir. Mikroyapı resimlerinden 1400°C'de sinterlenmiş alaşımsız çeliğin farklı oranlarda V ilave edilmiş Nb-V mikroalaşım çeliklere göre daha büyük taneli olduğu gözlenmiştir. Örneğin 1400°C'de sinterlenmiş alaşımsız çeliğin ortalama tane boyutu 33,6 µm iken V alaşım miktarının sırasıyla % 0,025 - 0,05 - 0,1 - 0,3 - 0,5 - 1 ve % 3'ye çıkması ile sırasıyla ortalama tane boyutu 45 - 41 - 39,3 - 37,8 - 36,9 - 36,5 - 34,7 ve 38,8 µm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca mikroyapı resimleri incelendiğinde tane sınırlarında kısmen kapanmamış gözeneklerin olduğu tespit edilmiştir. Sinterleme işleminde belirli bir sıcaklık ve sürede toz tanelerinin birbirine bağlanması sağlanarak sinterleme sonrasında parçaların yoğunluğu artmış olur. Bunun sonucunda malzemede daha homojen bir yapıya sahip olur. [8-11]. Literatürde gözenekliliğin dayanımı olumsuz etkilediği belirtilmekle birlikte gözeneklerin çok küçük ve küresel şekilli olmasının dayanımı düşürmediği ifade edilmiştir [8].

Çizelge 2. TM yöntemiyle üretilen çelik numunelerin yoğunluk, gözeneklilik, perlit miktarı ve tane boyutu miktarları.

Bileşen	Yoğunluk (%)	Gözeneklilik (%)	Perlit (%)	Tane Boyutu (μm)
<i>Alaşım 1</i>	93,8	6,2	30,4	45
<i>Alaşım 2</i>	93	7	27,1	41
<i>Alaşım 3</i>	92,5	7,5	22,6	39,3
<i>Alaşım 4</i>	92,2	7,8	20,9	37,8
<i>Alaşım 5</i>	91,1	8,9	20,8	36,9
<i>Alaşım 6</i>	91	9	20,5	36,5
<i>Alaşım 7</i>	89,7	10,3	19,4	34,7
<i>Alaşım 8</i>	91,6	8,4	21,2	38,8

Alaşım elementlerinin en önemli özelliklerinden biri oluşturmuş oldukları karbür ve nitrürlerle östenitleme veya sinterleme sırasında tane büyümesini engellemeleridir. Sinterleme sırasında küçük çökeltilerin oluşması östenit tanelerinin büyümesini engeller ve soğuma sırasında küçük ferrit tanelerinin oluşmasına neden olur [12-14]. Çizelge 2’de görüldüğü gibi V oranının ağırlık olarak % 1’e kadar artmasıyla ortalama tane boyutunda düşme meydana gelmektedir. Bu durum sinterleme sırasında oluşan VC(N) ve NbC(N) çökeltilerinin östenit tanelerinin büyümesini engellemesiyle ortaya çıkmaktadır [15].

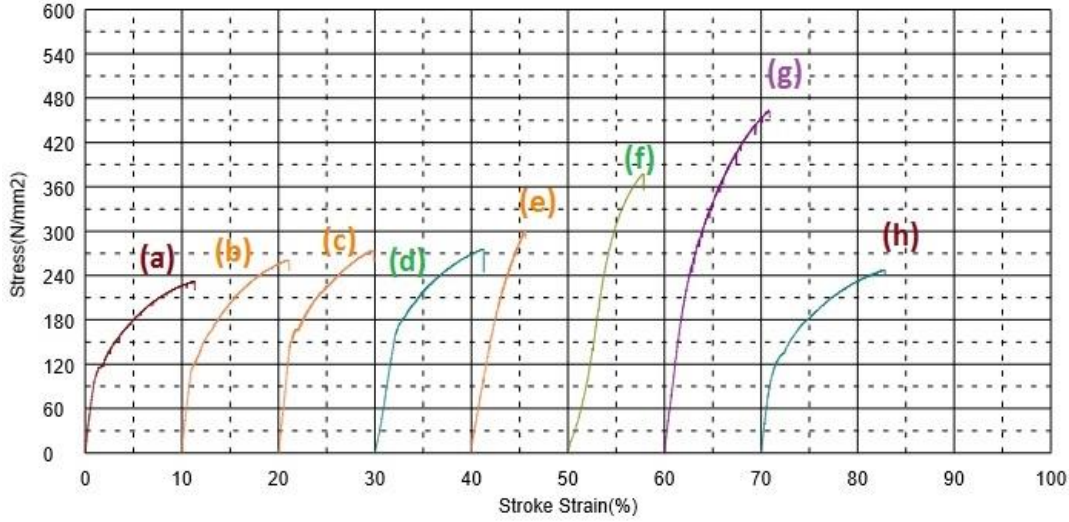
V oranının ağırlık olarak % 1’den % 3’e çıkması ile ortalama tane boyutunun bir miktar arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak da büyük VC(N) ve NbC(N) çökeltilerinin tane sınırlarında oluşması olarak düşünülebilir [9, 16]. Çökeltilerin tane sınırında yığılması gözenek miktarında bir artışa neden olmuştur. Böylece oluşan büyük çökeltiler yeterince tane büyümesini engelleyemediği için ortalama tane boyutu artmıştır.



Şekil 1. TM yöntemiyle üretilen çelik numunelerin mikroyapı görüntüleri (a- Alaşım 1, b- Alaşım 2, c- Alaşım 3, d- Alaşım 4, e- Alaşım 5, f- Alaşım 6.).

B. MEKANİK ÖZELLİKLER

Şekil 2, TM yöntemiyle üretilen alaşımsız ve farklı oranlarda V ilave edilen mikroalaşım çelik numunelerin gerilme-% uzama diyagramlarını gösterirken, Çizelge 3 ise akma, çekme ve % uzama değerlerini göstermektedir.



Şekil 2. TM yöntemiyle üretilen numunelerin gerilme-uzama diyagramları, (a- Alaşım 1, b- Alaşım 2, c- Alaşım 3, d- Alaşım 4, e- Alaşım 5, f- Alaşım 6.)

Çizelge 3. TM yöntemiyle üretilen çelik numunelerin akma-çekme dayanımları, % uzama ve sertlik değerleri.

Bileşen	Akma Dayanımı (MPa)	Max. Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (Hv ₁)
Alaşım 1	86	232	12	104
Alaşım 2	126	261	11	109
Alaşım 3	168	275	10	115
Alaşım 4	259	285	10	131
Alaşım 5	288	303	6	139
Alaşım 6	324	384	8	147
Alaşım 7	407	459	9	193
Alaşım 8	94	240	11	87

Şekil 2 ve Çizelge 3’de görüldüğü gibi ağırlık olarak V oranı % 1’ye çıktığında akma, çekme ve sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. % uzama değerlerinde ise bir düşüş olduğu söylenebilir. V elementinin oluşturmuş olduğu karbür, nitrür ve karbonitrür çökeltileri östenit tane boyutunu ve östenitin yeniden kristalleşmesini engelleyerek malzemenin küçük taneli olmasını sağlar. Küçük taneli yapıda daha fazla tane sınırı bulunması ve bu tane sınırlarının dislokasyon hareketini engellemesi ile dayanım artışı olur. Tane boyutunun küçültülmesi malzemenin % uzamasına da katkıda bulunmuştur. Bunun yanı sıra oluşan çökeltiler, çökelti sertleşmesi, dispersiyon sertleşmesi ve kümeleşme sertleşmesi gibi değişik dayanım arttırıcı mekanizmalar ile akma, çekme ve sertlik değerlerinin artmasına katkı sağlamıştır [17].

Fakat V miktarının ağırlık olarak % 1'den fazla olması dayanımı düşürmüştür. Bu durum fazla oranda VC(N) çökeltilerin gerek tane sınırında gerekse tane içinde bulunduğunu ve aşırı sertleşmeye yol açıp kırılma eğilimine neden olduğunu göstermektedir [9, 16]. Dayanımın % 3 V içeren mikroalaşım çelikte düşük olmasının diğer nedeni bu çelikte yoğunluğunda düşük olmasıdır. Dayanım, süneklilik ve iletkenlik gibi özellikler yoğunluğa yani gözeneklilik ve gözenek yapısına bağlıdır [8].

IV. SONUÇ

T/M yöntemi ile üretilen V ilaveli mikroalaşım çelikleri, atmosfer kontrollü (argon) ısıtma fırınında 1400 °C 'de 1 saat süre ile sinterlenmiştir. Üretilen mikroalaşım çeliklerinde V oranının, mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

1. Alaşım ve alaşımsız çelikler farklı boyutlarda ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmiştir. Farklı oranlarda V ilave edilmiş mikroalaşım çelikler, alaşımsız çeliğe göre bütün alaşım oranlarında daha küçük taneli yapı sergilemişlerdir. Bu durum alaşım elementlerinin oluşturmuş olduğu karbür ve nitritlerin tane büyümesini engellemesinden kaynaklanmıştır.
2. V miktarının ağırlık olarak % 1'e çıkması ile çeliklerin akma, çekme ve sertlik değerlerinde bir artış görülmektedir. Bu durum sinterleme sırasında ve sonrasında soğuma ile birlikte VC(N) ve NbC(N) gibi çökeltilerin oluşmasının bir sonucudur. Bu çökeltiler sinterleme sırasında tane büyümesini engelleyerek küçük östenit tanelerinin oluşmasına neden olur ve malzemelerin dayanımını artırır.
3. V miktarının ağırlık olarak % 1'den fazla olması dayanımı düşürmüştür. Bu durum fazla oranda VC(N) çökeltilerin gerek tane sınırında gerekse tane içinde bulunduğunu ve aşırı sertleşmeye yol açıp kırılma eğilimine neden olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜBAP-17-YD-276, KBÜ-BAP-15/2-KP-058 ve KBÜBAP-17-YL-178. UMAS 2017'de sunulmuş ve genişletilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. A. Erden, "The Effect of the Sintering Temperature and Addition of Niobium and Vanadium on the Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed PM Steels," *Metals*, vol. 7, no. 9, pp. 329, 2017.
- [2] H. Demir, H. B. Ulaş ve M. Zeyveli, "Stavax esr çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi," 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, ss. 1270-1273, 2009.
- [3] M. Türkmen, "Effect of carbon content on microstructure and mechanical properties of powder metallurgy steels," *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, vol. 55, pp. 3-4, 2016.

- [4] M. A. Erden, S. Gündüz, M. Türkmen and H. Karabulut, “The effect of V addition on the microstructure and mechanical properties of low carbon microalloyed powder metallurgy steels,” *Materials Testing*, vol. 58, no. 5, pp. 433-437, 2016.
- [5] İ. Uygur, “Fe-Cu-C çeliklerine mangan ilavesinin mekanik özelliklere etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 22, s. .3, ss. 325-330, 2007.
- [6] S. Gündüz, M. A. Erden, M. Türkmen and H. Karabulut, “The influence of vanadium and titanium on the mechanical properties of microalloyed PM steel,” *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, vol. 55, no. 5, pp. 277-287, 2017.
- [7] T. Gladman and J. H. Woodhead, “The accuracy of point counting in metallographic investigations,” *Journal of Iron and Steel Research*, vol. 194, pp. 184-193, 1960.
- [8] S. Sarıtaş, M. Türker ve N. Durlu, *Toz metalürjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye: Türk Toz Metalürjisi Yayınları, 2007, böl. 1, pp. 2-34.
- [9] C. Schade, T. Murphy, A. Lawley and R. Doherty, “Microstructure and mechanical properties of microalloyed PM steels,” *International Journal of Powder Metallurgy*, vol.48, no.6, pp.51-5, 2012.
- [10] C. Schade, T. Murphy, A. Lawley and R. Doherty, “Microstructure and mechanical properties of PM steels alloyed with silicon and vanadium,” *International Journal of Powder Metallurgy*, vol.48, no.6, pp.41-48, 2012.
- [11] S. Gündüz, M. A. Erden, H. Karabulut, M. Türkmen, “Effect of the Addition Niobium and Aluminium on the Microstructure and Mechanical Properties of the Micro-Alloyed PM Steels,” *Materials and Technology*, vol. 50, no. 5, pp. 641–648, 2016.
- [12] Ş. Okumuş and H. Karabulut, “Effect of quench and strain aging on the mechanical properties of low carbon microalloyed steels,” *Materials Testing*, vol.57, no.4, pp.289-295, 2015.
- [13] M. A. Erden, “Effect of C Content on Microstructure and Mechanical Properties of Nb-V Added Microalloyed Steel Produced by Powder Metallurgy Method,” *European Journal of Science and Technology*, vol. 5, no. 9, 44-47, 2016.
- [14] T. Gladman, “The physical metallurgy of microalloyed steels,” *Mater. Sci. Technol*, vol. 15, pp. 30–36, 1999.
- [15] V. Ollilainen, W. Kasprzak and L. Hollapa “The effect of silicon, vanadium and nitrogen on the microstructure and hardness of air cooled medium carbon low alloy steel,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 134, pp. 405-412, 2003.
- [16] D. Özdemirler, S. Gündüz and M. A. Erden, “Influence of NbC Addition on the Sintering Behaviour of Medium Carbon PM Steels,” *Metals*, vol. 7, no.4, pp. 121-132, 2017.
- [17] D. T. Llewellyn and R.C. Hudd, *Steels: Metallurgy and Applications*, 3rd ed., Oxford, UK: Reed Educational and Professional Publishing Ltd., pp. 15–40, 1998.