

PRESLEME BASINCININ TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN ALAŞIMSIZ ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Mehmet Akif ERDEN*

Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, TOBB TB Meslek Yüksekokulu, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Geliş / Received: 10.06.2016

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 03.09.2016

Kabul / Accepted: 03.09.2016

ÖZ

Bu çalışmada, toz metalürjisi (TM) ile üretilen alaşımsız çeliklerde presleme basıncının mikroyapı mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Belirlenen kimyasal kompozisyonda karıştırılan tozlar, ASTM (E 8M) toz metal malzeme standartlarına uygun çekme numunesi şeklindeki kalıpta 650, 700, 750, 800 ve 850 MPa presleme basıncılarında tek yönlü sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir. Presleme işlemi gerçekleştirilen numuneler argon atmosferinde 1200°C sinterleme sıcaklığında 1 saat sinterlenmiştir. Üretimi gerçekleştirilen TM çeliklerinin mikroyapısı optik mikroskop, SEM ve EDS ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar 750 MPa’da preslenmiş TM çeliklerin en yüksek akma dayanımına ve çekme dayanımına sahip olduğunu göstermiştir. Fakat presleme basıncının 750 MPa’dan 850 MPa’ya çıkması ile akma dayanımı ve çekme dayanımı düşmüştür.

Anahtar Kelimeler: Toz metalürjisi, toz metalürjisi çelikleri, presleme basıncı, mikroyapı, mekanik özellikler

EFFECT OF PRESSING PRESSURE ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF NON-ALLOYED STEELS PRODUCED BY POWDER METALLURGY METHOD

ABSTRACT

In this work, pressing pressure on microstructure and mechanical properties of non-alloyed powder metallurgy (PM) steels were investigated. The mixed powders prepared in the predetermined proportions were pressed unidirectionally under 650, 700, 750, 800 and 850 MPa. Samples of the tensile experiment were turned into blocks by squeezing with the mould which had been prepared according to ASTM (E 8M) standards of powder metal material tension sample. The pressed samples were sintered at argon atmosphere at 1200°C for 1 hour. The microstructure of the PM steels was characterised by optic microscope, SEM and EDS. Results indicated that PM steel pressed at 750 MPa showed the highest values of yield strength and ultimate tensile strength. However, when the amount of pressing pressure increased from 750 MPa to 850 MPa, yield strength, ultimate tensile strength and elongation decreased.

Keywords: Powder metallurgy, powder metallurgy steels, pressing pressure, microstructure, mechanical properties

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 370 433 6603; e-mail/e-posta: makiferden@karabuk.edu.tr

M.A. ERDEN

1. GİRİŞ

Toz metalürjisi (TM) yeni bilinen bir işlem olmamasına rağmen ancak 20. yüzyılın başlarında endüstriyel bir işlem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçtan günümüze TM yöntemi değişik alanlarda genişleyerek kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak; takım çelikleri, paslanmaz çelikler, süper alaşımlar, alüminyum ve titanyum alaşımları bakır ve bakır alaşımları, nükleer malzemeler ve sermetler verilebilir [1-5]. Bu yöntem ile üretilen parçalar, diğer yöntemler ile üretilen parçalara oranla daha pürüzsüz yüzeye sahip ve çoğu zaman ikincil işlem gerektirmemektedir. TM ile seri üretimde ilk kullanılan malzemenin yaklaşık %97'sinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda parçanın daha ucuz ve istenilen bileşimde üretimi ve ayrıca diğer yöntemlerle üretilmesi ve işlenmesi zor bazı parçaların da kolaylıkla üretimi gerçekleştirilmektedir. Zımba basıncının değeri üzerinde oynamalar yapılarak çeşitli formlarda ürünlerin daha kaliteli ve düzgün bir şekilde üretimi sağlanabilmektedir [4].

Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde çelikler vazgeçilmez bir yere sahiptir. Özellikle ikinci dünya savaşının ardından deniz-kara taşıtları, akaryakıt ve doğalgaz boru hatları, enerji santralleri, derin deniz üstü yapılar ve benzeri ihtiyaçlar için çelik gereksinimi artmıştır. Dayanım/ağırlık oranının yükselmesiyle daha ince ve hafif çeliklerin geliştirilmesi neticesinde üretim ve işletme giderlerinin birim maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır [6-8].

Literatürde TM çeliği üretimi ve mikroyapı mekanik özellik ilişkisi hakkında bazı çalışmalar mevcuttur [8-11]. Örneğin Erden ve ark. [9-10] çalışmalarında TM yöntemiyle Ti ve V mikroalaşımli çelik üretmişlerdir. Sinterleme işlemi 1150°C'de 60 dakika bekletilerek gerçekleştirilmiş olup Ti ve V oranı (%0,1-0,2) yükseldikçe akma ve çekme dayanımında bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu durum sinterleme ve sinterleme sonrası soğuma sırasında TiC(N) ve VC(N) gibi çöktillerin oluşmasına bağlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, TM yöntemi ile üretilen alaşımsız çeliklerde presleme basıncının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini araştırmaktır. Bu çalışma kapsamında farklı presleme basınçlarında preslenen alaşımsız TM çeliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerdeki değişimi karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, çelik numuneler toz metalürjisi yöntemiyle Tablo 1'de verilen bileşimde farklı presleme basıncında üretilmiştir. Presleme basıncının toz metalürjisi ile üretilen alaşımsız çeliklerin mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Karıştırma işlemi öncesinde tozlar Tablo 1'de kimyasal kompozisyonu verilen oranlarda RADWAG AS-60-220 C/2 marka hassas terazi ile 0,0001 g hassasiyetinde tartılmıştır. Tartımı yapılan tozlar Turbula marka üç eksenli karıştırıcı ile bir saat süreyle bilyesiz olarak karıştırılmıştır.

Tablo 1. Toz metal çeliklerin kimyasal kompozisyonları.

Bileşim	Grafit (% ağırlık)	Fe (% ağırlık)
Fe +0,25 C	0,45	99,55

Yağlayıcı olarak Zn-stearate kullanılmıştır. Karıştırılan tozlar, ASTM (E 8M) toz metal malzeme standartlarına uygun çekme numunesi şeklindeki kalıpta 650, 700, 750, 800 ve 850 MPa presleme basınçlarında tek yönlü sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir. Şekil 1, tozların tartımında kullanılan hassas teraziyi, karıştırma işleminde kullanılan turbula cihazını ve sıkıştırma işleminde kullanılan presi göstermektedir.

Sinterleme işlemi numunelerin sinterleme sıcaklığına 5°C/dk hızla ısıtılması ile başlamıştır. 350°C'de bütün numuneler çinko steareati buharlaştırmak için 30 dk bekletilmiştir. Sıcaklık 1200°C sinterleme sıcaklığına ulaştıktan sonra numuneler bu sıcaklıkta 1 saat tutulup ardından oda sıcaklığına 5°C/dk hızla soğutulmuştur. Şekil 2, atmosfer kontrollü fırını ve sinterleme akış şemasını göstermektedir.

Sinterlenen çekme numuneleri ise 1 mm/dk 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 presleme basıncındaki değişmeden dolayı mekanik özelliklerdeki farklılaşma tespit edilmiştir. Şekil 3'de çekme numunesinin çekme testi öncesi ve çekme testi sonrası görüntüsü verilmektedir.

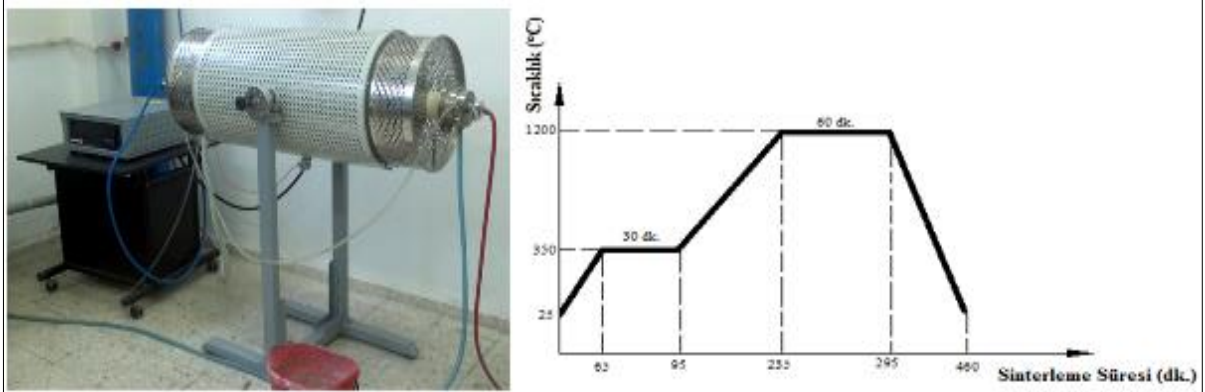
Mikroyapı incelemeleri X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Her numunenin değişik bölgelerinden farklı büyüklüklerde görüntüler alınarak bu görüntülerin bütün mikroyapıyı temsil edebilir nitelikte olmasına dikkat edilmiştir. Dağlama işlemi numunelerin

PRESLEME BASINCININ TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN ALAŞIMSIZ ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

%2 nital solüsyonu içerisinde daldırılarak 4-8 sn bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Dağlama işlemi tamamlandıktan sonra dağlanan yüzeyler metanol ile temizlenip kurutulduktan sonra optik mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir. Numunelerin yoğunluk ölçümleri, Archimets prensibiyle saf su kullanılarak belirlenmiştir. Toz metal çeliklerin perlit oranları Gladman ve Woodhead [12]'in tanımladığı metalografik nokta sayım metodu kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan (a) hassas terazi, (b) hidrolik pres ve (c) Turbula cihazının görüntüsü



Şekil 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan Atmosfer kontrollü fırın ve sinterleme akış şeması



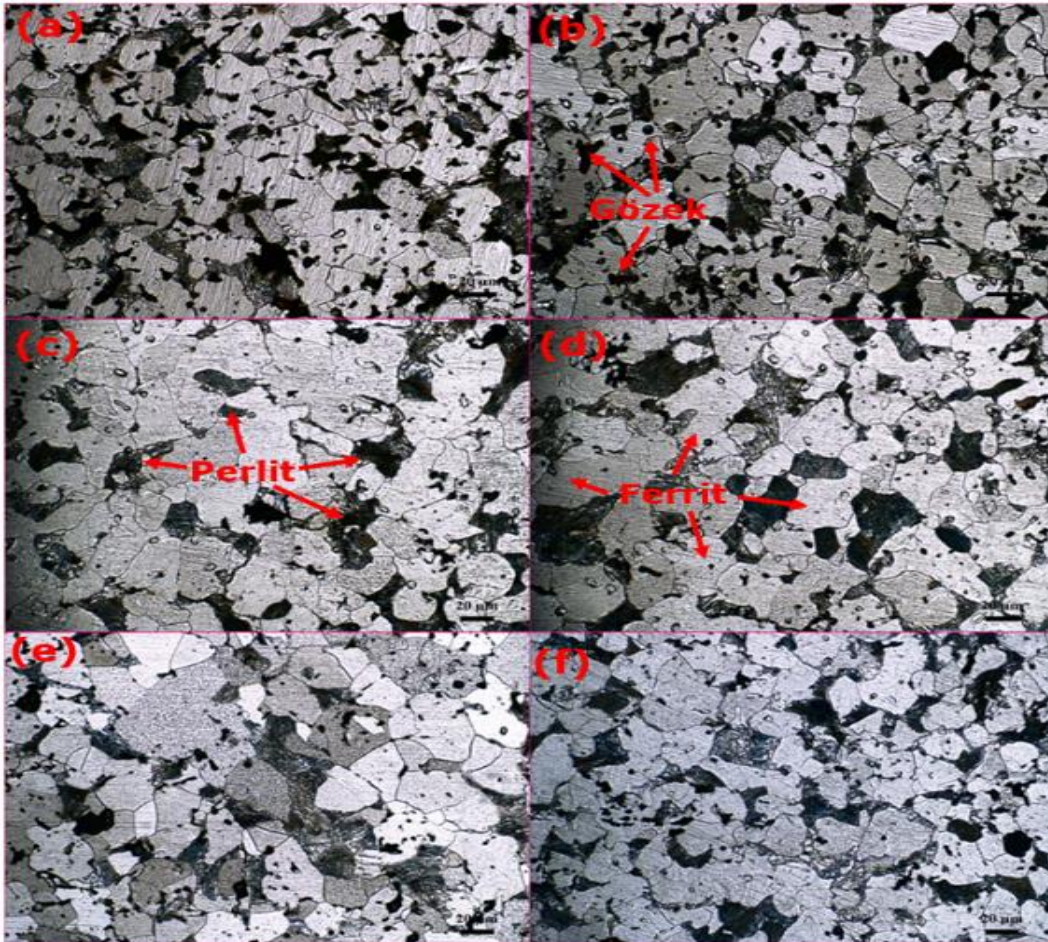
Şekil 3. 1200°C'de sinterlenmiş alaşimsız TM çelik numunenin genel görüntüsü. (a) çekme testi öncesi numune görüntüsü, (b) çekme testi sonrası numune görüntüsü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mikroyapı

Numunelerin mikroyapı resimleri Şekil 4’de görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi bütün presleme basınçlarında yapı ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmektedir. Şekil 4’de görülen mikroyapı resimleri incelendiğinde tane sınırlarında kısmen kapanmamış gözeneklerin olduğu tespit edilmiştir. Presleme basıncının artması ile gözeneklilik miktarının azaldığı görülmüştür. Birçok kaynakta gözenekliliğin dayanımı olumsuz etkilediği belirtilmekle birlikte gözeneklerin çok küçük ve küresel şekilli olmasının dayanımı düşürmediği bildirilmiştir [13].

Tablo 2’de 600–850 MPa aralığındaki presleme basınçlarında preslenmiş numunelerin sinterleme sonrası yoğunluk ve % gözenek miktarı verilmiştir. Numunelerin sinterleme sonrası yoğunluklarının presleme basıncının artması ile genel olarak arttığı görülmüş olup elde edilen sonuçlar doğrultusunda 750 MPa presleme basıncından sonra tozların yoğunluğunda önemli bir değişim meydana gelmediği görülmüştür. Bu nedenle presleme basıncı 750 MPa olarak seçilmiştir. Dolayısıyla elde edilen yoğunluk değerleri incelendiğinde, yoğunluk başlangıçta artarken, gözenekler kapandıkça yoğunlaşmaya karşı direncin arttığı gözlenmiştir [13-14]. Yoğunluğun presleme basıncının artması ile genel olarak arttığı ile ilgili literatürde benzer çalışmalar mevcuttur. Örneğin Gökmeşe ve Bostan [13], AA 2014 alaşımında presleme ve sinterlemenin gözenek morfolojisi ve mikroyapısal özelliklere etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, AA 2014 alaşımına ait tozlar toz metalürjisi gaz atomizasyon yöntemiyle üretilmiştir. Ortalama toz boyutu 90,66 µm olan tozlar, tek yönlü preste 250-875 MPa presleme basınç aralığında yapılan denemeler sonucunda, bulunan optimum presleme basıncı olan 650 MPa’da preslenerek, deney numuneleri üretilmiştir.



Şekil 4. Farklı presleme basıncı uygulanmış alaşımsız TM çelik numunenin genel görüntüsü. (a) 600 MPa, (b) 650 MPa, (c) 700 MPa, (d) 750 MPa, (e) 800 MPa, (f) 850 MPa presleme basıncı uygulanmış numunenin mikroyapı görüntüsü (500X)

PRESLEME BASINCININ TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN ALAŞIMSIZ ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Toz metalürjisi ile üretilen parçaların mekanik özellikleri gözenek oranı ile ilişkilidir. Gözenekler gerilimin yoğunlaştığı merkezler olarak davranırken, çatlak ilerlemesine de katkı sağlamaktadır [14]. Sinterleme sonrası doğal olarak yoğunlaşma bir miktar artmıştır [15]. Tablo 2’de de görüldüğü gibi presleme basıncının artırılarak üretilen parçanın yoğunluğunu belli orana kadar yükseltilebilir. Yoğunluk artışı ile parça içerisindeki gözenek miktarını düşüş gözlenmiş olup yoğunluğun artması mekanik özellikleri iyileştirmektedir [16]. Tablo 3’te 750 MPa preslenmiş numunenin % ferrit ve % perlit oranları ile ortalama tane boyutu verilmiştir.

Tablo 2. TM çelik numunelerin yoğunluk ve % gözeneklilik oranları

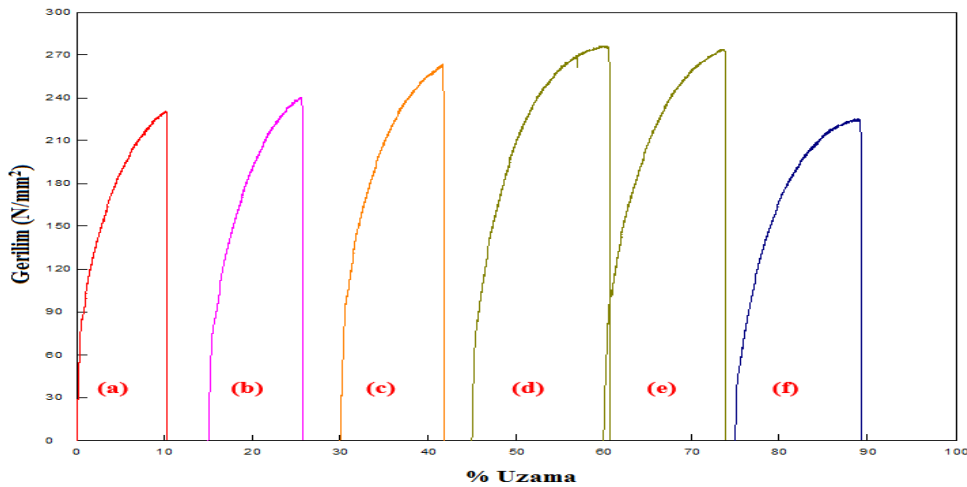
Bileşim	Sinterleme Sonrası Yoğunluk (g/cm ³)	Sinterleme Sonrası Yoğunluk (%)	Gözenek Oranı (%)
Numune 1 600 MPa	6,981	88,56	11,44
Numune 2 650 MPa	7,211	92,05	7,95
Numune 3 700 MPa	7,356	93,11	6,89
Numune 4 750 MPa	7,295	93,90	6,10
Numune 5 800 MPa	7,111	90,76	9,24
Numune 6 850 MPa	7,068	90,22	9,78

Tablo 3. TM çelik numunelerin % ferrit ve % perlit oranları ile ortalama tane boyutu

Bileşim	Ferrit Oranı (%)	Perlit Oranı (%)	Ortalama Tane Boyutu (µm)
Numune 3 750 MPa	79,4	21,6	29,7

3.2. Mekanik Özellikler

Şekil 5, sinterlenen numunelerin gerilme-uzama diyagramlarını gösterirken Tablo 4 ise akma, çekme ve % uzama değerlerini göstermektedir. Şekil 5 ve Tablo 4’te de görüldüğü gibi presleme basıncının 600 MPa’dan 750 MPa’a kadar artması ile alaşimsız çelik numunelerin akma ve çekme dayanımı ve % uzama değerlerinde bir artış gözlenmiştir. Ayrıca presleme basıncının 800 MPa ve 850 MPa uygulanması ile mekanik özelliklerde kötüleşme meydana gelmiştir. Benzer çalışmalar presleme basıncının artması ile paralel şekilde dayanımında artışını desteklemektedir [13-18]. Örneğin Roncerea ve ark. [17] yaptığı çalışmada sıcak izostatik presleme yöntemiyle SX-Ni süperalaşımı üretilmiştir. Presleme basıncının 1300°C’de 75 MPa presleme basıncı altındaki basınçlarda gözeneklerin tamamen azalmadığını, 75-200 MPa arasındaki presleme basınçlarında %99,9 oranında yoğunluğa ulaştığını tespit etmişlerdir. Presleme basıncının artması ile yoğunluk ve dayanımında artış gözlemlenmiştir [14]. Aynı şekilde Uygur [18] çalışmasında 1120°C sinterleme sıcaklığında 30 dk sinterleme uygulayarak Fe-Cu-Mn-C çeliği üretmiştir. Üretim sırasında presleme basıncının 310 MPa’dan 550 MPa’a çıkmasıyla üretilen çeliklerin çekme dayanımında ve yoğunluğunda belirgin bir şekilde artış gözlenmiştir.



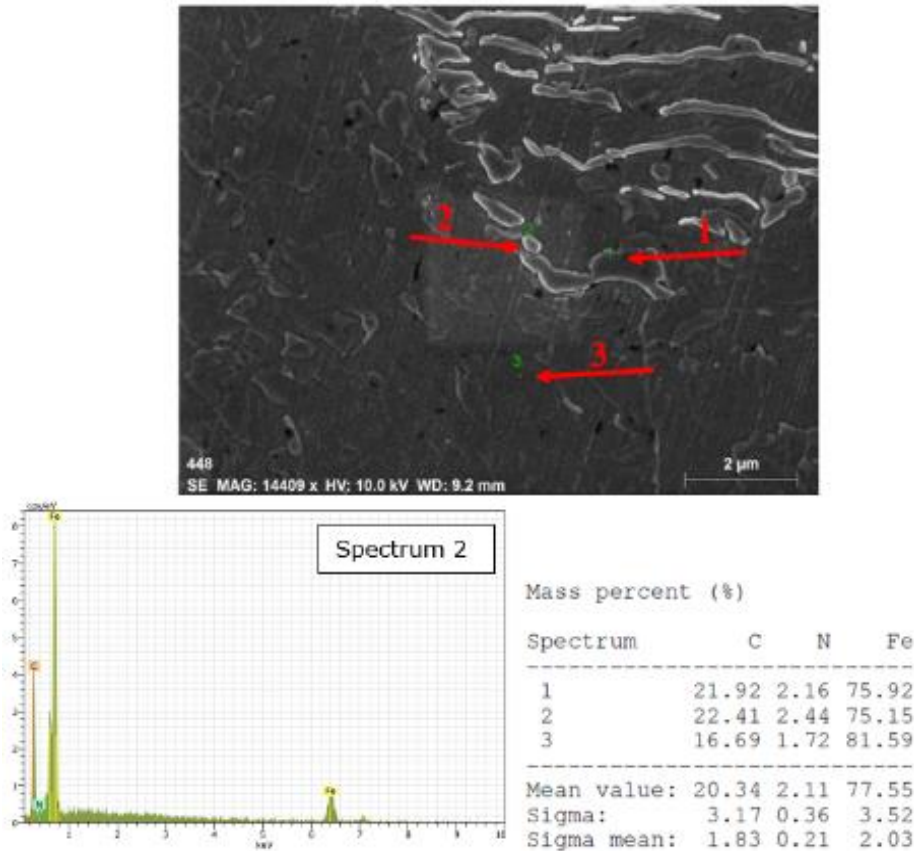
Şekil 5. Değişik presleme basıncına maruz kalan alaşimsız TM çeliklerin gerilme-uzama diyagramları. a) 600 MPa, b) 650 MPa, c) 700 MPa, d) 750 MPa, e) 800 MPa, f) 850 MPa

Tablo 4. Presleme basıncına göre TM çelik numunelerin akma, çekme ve % uzama değerleri

Bileşim	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanım (MPa)	% Uzama
Numune 1 600 MPa	94	231	10
Numune 2 650 MPa	113	240	11
Numune 3 700 MPa	127	263	13
Numune 4 750 MPa	148	277	15
Numune 5 800 MPa	145	275	14
Numune 6 850 MPa	90	225	13

3.3. SEM EDS Analizi

Şekil 6'de verilen 750 MPa basınçta preslenmiş numunenin SEM görüntüsü incelendiğinde optik mikroskopta alınan mikroyapı görüntüsünde olduğu gibi yapının ferrit ve perlit yapıda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca nokta EDS analiz sonuçları bu çökeltilerin 1 ve 2 numaralı spektrumlarda matristen alınan 3 numaralı spektruma göre daha fazla karbon içermesi ve daha az oranda demir içermesinden dolayı 1 ve 2 numaralı spektrumun bulunduğu yerlerde Fe_3C çökeltilerinin meydana geldiğini göstermektedir. Benzer çalışmalar bu çökeltilerin Fe_3C çökeltisi olduğunu desteklemektedir [19-20]. Örneğin Erden ve Gökçe [19] yaptıkları çalışmada $1350^{\circ}C$ 'de argon ve %90 azot-%10 hidrojen ortamında Nb-V mikroalaşım çeliği üretmişlerdir. Alaşım miktarı artması ile dayanımda bir artış gözlemlenmiştir. Aldıkları SEM EDS analizlerinde NbC(N), VC(N) ve Fe_3C çökeltilerini tespit etmişlerdir. Nb-V miktarının artması ile elde edilen dayanımdaki artışın matris içerisinde oluşan bu çökeltilerden kaynaklandığı ileri sürmüşlerdir.



Şekil 6. 750 MPa basınçta preslenmiş alaşımsız TM çelik numunenin SEM resimleri. a) 14409 büyütmede alınan Nokta EDS'ler, b) Spectrum 2, c) Nokta EDS sonuçları

PRESLEME BASINCININ TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN ALAŞIMSIZ ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**4. SONUÇLAR**

Toz metalürjisi yöntemiyle farklı presleme basıncı uygulanarak alaşımsız çelik üretimi gerçekleştirilmiş olup presleme basıncının mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri incelenmiş ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Bütün presleme basınçları için 750 MPa presleme basıncında preslenmiş numunelerin en yüksek akma dayanımına ve çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Alaşımsız TM çelik numuneler için ideal presleme basıncı 750 MPa olarak tespit edilmiştir.

Presleme miktarının 750 MPa'dan 850 MPa'a çıkması sonucunda akma ve çekme dayanımları ile % uzama değerinde düşüş gözlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi BAP projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. KBÜ-BAP-15/2-KP-058 nolu projeye vermiş olduğu destekten dolayı Karabük Üniversitesi Rektörlüğü BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] JUN, D., LIU, Y.H., YU, S.R., LI, W.F. "Dry Sliding Friction and Wear Properties of Al₂O₃ and Carbon Short Fibres Reinforced Al-12Si Alloy Hybrid Composites", *Wear*, 257, 930-940, 2004.
- [2] ERDEN, M.A., "Toz Metalürjisi İle Üretilen Çeliklerde Nikel İlavasının Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisinin Araştırılması" Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 4(4), 241-245, 2016.
- [3] KARABULUT, H., ÇITAK, R., ÇİNİCİ, H. "Mekanik Alaşımlama Süresinin Al + %10 Al₂O₃ Kompozitlerde Eğme Dayanımına Etkisi", *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3), 635-643, 2013.
- [4] GÜNDÜZ, S., ERDEN, M. A., KARABULUT, H., TURKMEN, M., "The Effect of Vanadium and Titanium on Mechanical Properties of Microalloyed PM Steel" *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 55(5-6), 277-287, 2016.
- [5] ERDEN, M.A., "Karıştırma Süresinin Toz Metalürjisi ile Üretilen Alaşımsız Çeliklerin Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(9), 62-65, 2016.
- [6] SARITAŞ, S, TÜRKER, M, DURLU, N., *Toz Metalürjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri*, Türk Toz Metalürjisi Derneği Yayınları, Ankara, Türkiye, 2007.
- [7] OKUMUŞ, S., KARABULUT H., "Effect of Quench and Strain Aging on The Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Steels", *Materials Testing*, 57, 289-295, 2015.
- [8] ERDEN, M.A., *Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretilen Mikroalaşım Çeliklerinin Mikroyapı Mekanik Özellik İlişkisinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, 2015.
- [9] ERDEN, M.A., GÜNDÜZ, S., KARABULUT, H., TÜRKMEN, M., "Microstructural Characterization and Mechanical Properties of Microalloyed Powder Metallurgy Steels, *Materials Science and Engineering A*, 616, 201-206, 2014.
- [10] ERDEN, M.A., GÜNDÜZ, S., KARABULUT, H., TÜRKMEN, M., "Effect of V Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Powder Metallurgy Steels", *Materials Testing*, 58(5), 433-437, 2016.
- [11] ERDEN, M.A., "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*, 5(9), 44-47, 2016.
- [12] GLADMAN, T., WOODHEAD, J. H., "The Accuracy of Point Counting in Metallographic Investigations", *Journal of the Iron Steel*, 194, 184-193, 1960.
- [13] GÖKMESE, H., BOSTAN, B., "AA 2014 Alaşımında Presleme ve Sinterlemenin Gözenek Morfolojisi ve Mikroyapısal Özelliklere Etkileri" *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 1(1), 1-8, 2013.
- [14] EKŞİ A., KURT A.O., "Bilgisayar Kontrollü Tek Eksenli Kalıpta Preslenen Bakır ve Bronz Tozlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", *Bilim Günleri 5-6-7 Mayıs Makine Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı*, Makine Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı, 544-552, Denizli, Türkiye 1999.

M.A. ERDEN

- [15] ASKELAND D. R., *The Science and Engineering of Materials* (1st ed.), Chapman and Hall, UK, 1996.
- [16] YILMAZ, R. “Fe-Cu-C Kompaktlarda Presleme Basıncı ve Toz Karışım Oranlarının Sertliğe ve Çekme Mukavemetine Etkisi” 4. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı, 1228-1236, Sakarya, Türkiye, 2005.
- [17] RONCERY L. M., GALILEA I.L., RUTTERT B., HUTH S., THEISEN W., “Influence of Temperature, Pressure and Cooling Rate During Hot Isostatic Pressing on The Microstructure of an SX Ni-Base Superalloy” *Materials and Design*, 97, 544-552, 2016.
- [18] UYGUR İ., “Fe-Cu-C Çeliklerine Mangan İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisi”, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22(3), 325-330, 2007.
- [19] 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.
- [20] ERDEN, M.A., TAŞÇI, M. T., “Toz Metalurjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Ni İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 19(4), 611-616, 2016.