

W-Ni-Mo İlaveli Toz Metal Çeliğinin Çekme Dayanımına Sıcak Presleme Ve Sinterlemenin Etkisi

Mehmet Akif ERDEN¹, Ramazan ÖZMEN^{2,*}, Mustafa GÜNAY³

¹Biyomedikal Mühendisliği, Karabük Üniversitesi, Türkiye

²Mekatronik Mühendisliği, Karabük Üniversitesi, Türkiye

³Makina Mühendisliği, Karabük Üniversitesi, Türkiye

*ramazanozmen@karabuk.edu.tr

Özet – Toz metalürjisi (TM) teknikleri kullanılarak net şekle yakın parçalar üretilmekte olup, TM yönteminin üretim maliyetinin düşük olması ve yüksek performansı sayesinde birçok farklı alanda kullanımı artmaktadır. Toz metalürjisi ile üretilen parçaların mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan ikincil işlemlerden birisi de yeniden sinterleme işlemidir. Bu çalışmada, öncelikle demir içerisine % ağırlık olarak 0.55 grafit ilavesinin yanı sıra %3Mo, %5-10Ni ve %0.5W ilavesi ile belirlenen kompozisyonda üç eksenli bir karıştırıcı içerisinde 120 dk bilyasız olarak karıştırma işlemi uygulanmış ve alaşımlı çelik toz karışım elde edilmiştir. Homojen karışımı gerçekleştirilen tozlara, çekme numunesi üretimi için tasarlanan grafit kalıplarda tek yönlü olarak değişik presleme basınçları (25 ve 33MPa) ve 900 °C sinterleme sıcaklığı uygulanarak numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelere 1400°C’de argon atmosferinde 60 dk ve ardından aynı sinterleme şartlarında ikinci bir ısıl işlem uygulanmıştır. Tüm bu prosesler sonrasında elde edilen numunelere ASTM E8/E8M standardına göre çekme testi uygulanarak toz metal çeliğin mekanik davranışları incelenmiştir. Sıcak presleme basıncının artmasıyla veya ilave yapılan sinterleme işlemi sonucunda mekanik özelliklerin iyileştiği görülmüştür. Sıcak presleme sonrasında yapılan sinterleme sonucunda çekme dayanımının iki kat arttığı, ikinci sinterleme sonrasında çekme dayanımının %24 oranında tekrar arttığı belirlenmiştir. Sıcak presleme tekniği ile üretilen toz metal çeliklerin daha yüksek basınçlı presleme uygulanarak, sinterleme süreci kısaltılabilir ve böylece daha düşük maliyetli ve daha hızlı parça üretimleri gerçekleştirilebilir.

Anahtar Kelimeler – Toz Metalürjisi, Sıcak Presleme, W-Mo-Ni Çeliği, Çekme Dayanımı, Yeniden Sinterleme

I. GİRİŞ

Birçok bilimsel çalışmada, toz metalürjisi (TM) üretim yöntemi istenilen kompozisyonda tozların karıştırılması, preslenmesi, sinterlenmesi ve ihtiyaç halinde delik delme, kanal açma, diş açma, yüzey serleştirme işlemi gibi ikincil işlemlerin uygulandığı malzeme üretim tekniği şeklinde tanımlanmaktadır [1]-[4]. Dökümde olduğu gibi TM teknikleri kullanılarak net şekle yakın parçalar üretilmektedir. Ayrıca, döküm yöntemi üretilmeyen birçok malzeme ve/veya parçalar TM yöntemi ile üretilebilir. Örneğin, karışık fazlı bileşimler, yüksek ergime sıcaklığına sahip seramikler, refrakter malzemeler, intermetalikler, birbiri içerisinde çözünmeyen tozlar, sermetler ve

alaşımlı çelikler bunlardan bazılarıdır. TM yönteminin üretim maliyetinin düşük olması ve performansının yüksek olması sayesinde birçok farklı alanda kullanımı artmaktadır [2], [5], [6].

Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde çelikler vazgeçilmez bir yere sahiptir. Özellikle ikinci dünya savaşının ardından taşıtlar, enerji boru hatları ve santralleri 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. Çelikler sade karbonlu olabileceği gibi, çeşitli özelliklerin geliştirilebilmesi için bazı alaşım elementleri

içerebilirler. Çeliğin içerisinde belirli oranlarda bulunan elementlerin kimyasal bileşimleri ve çeliğin içyapısı mekanik özelliklerini belirler. Çeliğin ilave edilen alaşım elementleri ya mikroyapıyı değiştirerek dayanımı artırır veya ilave edilen alaşım elementleri kuvvetli karbür ya da nitrür yapıcı alaşım elementi ise çökelti sertleşmesi ve tane boyutu küçültme gibi mekanizmalarla çeliğin dayanımını artırır [7-12].

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle farklı presleme basınçlarında sıcak presleme işlemi uygulanarak Ni-Mo ve Mo-Ni-W çeliği üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrası 1400 °C'de argon atmosferinde 1 saat birinci ve 1400 °C'de argon atmosferinde 1 saat ikinci bir sinterleme işlemi uygulanmış, presleme ve sinterleme prosesinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, molibden (Mo), nikel (Ni) ve tungsten (W) içeren çelik numuneler TM yöntemi ile istenilen bileşimlerde üretilmiştir. Farklı kompozisyonlarda karıştırılan tozlar sıcak presleme tekniği ile sıkıştırılmış ve sinterleme işlemi yapılarak parça üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin mekanik özelliklerindeki değişimler çekme deneyleri yardımıyla araştırılmıştır. Tablo 1'de toz metal çelik üretiminde kullanılan tozların özellikleri verilmiştir [13].

Tablo 1. Tozlar ve Özellikleri.

	Elementel Tozlar	Toz Boyutu (µm)	Safılık Değeri (%)
1	Demir	<150	99,9
2	Grafit	10-20	96,5
3	Nikel	<150	99,9
4	Molibden	<150	99,9
5	Tungsten	<75	93

Mo-Ni ve Mo-Ni-W alaşımli toz metal çelik üretimleri için Tablo 1'de belirtilen tozlar, Tablo 2'de verilen kimyasal kompozisyonlarda karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi öncesinde tozlar 1/10000 hassasiyetli RADWAG AS-60-220 C/2 marka terazide Tablo 2'de verilen kompozisyonlarda tartılmıştır. Tartımı yapılan tozlar, üç boyutlu karıştırıcı (TURBULA T2F) ile

120 dk süreyle bilyesiz olarak karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra, karıştırılan tozlar ASTM E8/E8M'ye göre standart çekme testi numunesi biçiminde preslenmiştir.

Tablo 2. TM numunelerin kimyasal kompozisyonları (%wt.).

Specimen	Grafit	Mo	Ni	W	Fe
A1	0,55	3	10	-	Geri kalanı
A2	0,55	3	10	0,5	Geri kalanı

Sıcak presleme işlemleri, 25 ve 33 MPa presleme basıncında grafit kalıpta maksimum 1000 °C sıcaklıkta çalışabilen MSE HP_1200 Sıcak Presleme Cihazında gerçekleştirilmiştir. Sıcak presleme sonrası sinterleme işlemi ise Protherm PTF 16/75/610 marka atmosfer kontrollü fırında argon sirkülasyonunda seramik tüp içerisinde yapılmıştır. Sinterleme süreci, fırın sıcaklığı dakikada 5 °C artırılarak 1400 °C'ye ulaştıktan sonra bu sıcaklıkta 1 saat bekleme ve yine dakikada 5 °C hızla soğutma işlemi yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Üretilen numunelerin mekanik özellik değişimleri yoğunluk ölçümü ve çekme testi incelemesi uygulanarak yapılmıştır. Çekme testleri, SHIMADZU AG-IS marka 50 kN kapasiteli çekme test cihazında 1 mm/dak hızda yapılmıştır. Numunelerin yoğunluk ölçümleri, RADWAG AS-60-220 C/2 marka hassas terazinin yoğunluk ölçüm kiti ile Archimets prensibine göre yapılmıştır.

III. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

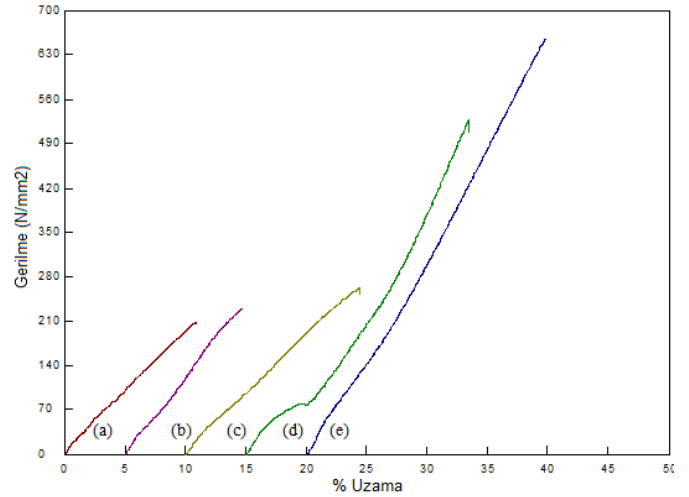
Sıcak presleme ve farklı sinterleme prosesleri uygulanmış toz metal çelik numuneler 1 mm/dk çekme hızı uygulanmıştır. Bu numunelerden elde edilen çekme grafikleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Ayrıca, Tablo 3'de TM çelik numunelerinin çekme dayanımı ve yüzde uzama değerleri verilmiştir. Burada, her bir alaşımın çekme dayanımı ve yüzde uzamasının değerlendirilmesi için beş numuneden elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır.

Tablo 3. Numunelerin çekme ve % uzama değerleri.

Numune-İşlem	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
A-25 MPa sıcak presleme	210	10.8
B-33 MPa sıcak presleme	248	15.1
C-33 MPa sıcak presleme	264	14.5
D-33 MPa sıcak presleme+ 1400 °C sinterleme	528	18.4
E-33 MPa sıcak presleme+ 2 defa 1400 °C sinterleme	656	19.8

Tablo 3 ve Şekil 1'deki grafiklerden görüldüğü gibi genel olarak Mo-Ni çeliğine tungsten ilavesi toz metal çeliğin çekme dayanımları ve % uzama değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu artışlar, Ni ilavesi ile yapıdaki beynit, martenzit gibi sert fazların yoğunluğunun artması, Mo ve W elementinin ilavesi ile WC(N), MoC(N) ve WMoC(N) gibi çökeltilerin matris ve tane sınırlarında sinterleme sırasında ve sonrasında oluşması ile çökelti sertleşmesi, kümeleşme sertleşmesi, dispersiyon sertleşmesi ve tane boyutu küçültme mukavemet artırıcı mekanizmalarından kaynaklanmaktadır. Nitekim, Özdemir vd. [8], Erden ve Taşçı (14), Gündüz vd. (15) ve Özdemirler vd. (16) yaptıkları çalışmalarda V ve Ti gibi mikroalaşım elementi ilave ederek TM çelik üretimi gerçekleştirmiştir. Elde ettikleri sonuçlar, mikroalaşım elementi ilavesi ile üretilen malzemelerin akma, çekme ve sertlik dayanımlarında artış, tane boyutunda azalma olduğunu göstermiştir. Bunun sebebini sinterleme sırasında ve sonrasında mikroalaşım elementlerinin oluşturduğu NbC(N), VC(N) ve TiC(N) gibi çökeltilerin östenit tanelerinin büyümesini engellemesine bağlamışlardır. Ayrıca oluşan bu çökeltilerin çökelti sertleşmesi, dispersiyon sertleşmesi ve tane boyutu küçültme mekanizmaları ile dayanım artışına neden olduğunu ifade etmişlerdir.

Sıcak presleme sonrasında yapılan sinterleme sonucunda çekme dayanımının iki kat arttığı, ikinci sinterleme sonrasında çekme dayanımının %24 oranında tekrar arttığı belirlenmiştir (Tablo 3). Sıcak presleme sonrası yapılan ikincil işlem ile çekme dayanımının artması, toz metal çelik numunenin yoğunluk değerindeki artış ve gözenek miktarındaki azalmadan kaynaklanmaktadır. Buradan, ikincil işlem olarak uygulanan yeniden sinterleme ile toz metal çeliklerin dayanımının kayda değer bir şekilde arttığı belirlenmiştir.



Şekil 1. Numunelerin çekme eğrileri; a) A, b) B, c) C, d) D ve e) E.

Bununla birlikte, sinterleme öncesi teorik yoğunluk, deneysel yoğunluk ve gözeneklilik miktarı hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Numunelerin yoğunluk ve gözenek miktarı.

Numune-İşlem	Teorik Yoğunluk (gr/cm ³)	Deneysel Yoğunluk (gr/cm ³)	Gözenek Miktarı (%)
A-25 MPa sıcak presleme	8.0154	6.4511	19.51
B-33 MPa sıcak presleme	8.0154	6.6233	17.36
C-33 MPa sıcak presleme	8.0278	6.6213	17.52
D-33 MPa sıcak presleme+ 1400 °C sinterleme	8.0278	7.0522	12.15
E-33 MPa sıcak presleme+ 2 defa 1400 °C sinterleme	8.0278	7.1162	11.35

Toz metal çeliklerde alaşım miktarının artması genel olarak gözenek miktarını arttırmaktadır. Presleme tekniği yönünden incelendiğinde ise presleme sıcaklığındaki artışın yoğunluğu arttırdığı bilinmektedir. Sinterleme sırasında toz taneleri birbirine kaynamış ve doğal olarak sinterleme sonrasında numunelerin yoğunluğu artmıştır. Sıcak presleme sonrasında yapılan sinterleme sonucunda gözenek miktarının %30 azaldığı, ikinci sinterleme sonrasında gözenek miktarının % 6.5 oranında tekrar azaldığı belirlenmiştir (Tablo 4). Genel olarak, bu değişimler Mo-Ni ve Mo-Ni-W ilaveli

toz metal çeliğin yoğunluğu ve dayanımını olumlu yönde etkilemiştir.

Sinterleme esnasında kimyasal kompozisyonda bulunan alaşım elementlerinin MoC(N), WC(N), MoWC(N) ve MoWC(N) gibi çökelti oluşturarak östenit tanelerinin büyümesini engellediği düşünülmektedir. Nitekim, Özdemir vd. (8) ve Ahssı vd. (10) tarafından yapılan çalışmalarda, Nb ve V gibi mikroalaşım elementi ilavesi ile üretilen malzemelerin çekme ve sertlik dayanımlarında artış gözlenmiştir. Araştırmacılar, malzeme dayanımındaki bu artışların, sinterleme sırasında ve sonrasında oluşan çökelti sertleşmesi ve tane boyutu küçültme mekanizmalarından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Mo-Ni-W alaşım elementlerini içeren toz metal çeliklerin sıcak presleme tekniği ve farklı sinterleme prosesleri neticesinde oluşan mekanik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Sıcak presleme basıncının artması ve ilave yapılan sinterleme işlemleri mekanik özellikleri iyileştirmiştir. Mekanik özelliklerdeki bu iyileşme, esas olarak gözeneklilik miktarının kayda değer bir oranda azalmasına bağlı oluşan yoğunluk miktarındaki artıştan kaynaklanmaktadır.

2. W ilavesi ile WC(N), MoWC(N) gibi çökelti oluşumu gerçekleşmesi sonucu çökelti sertleşmesi, tane boyutu küçültme gibi mukavemet artırıcı mekanizmalar sayesinde toz metal çeliğin çekme dayanımını artmıştır. Çekme testi sonuçları ve mikroyapı görüntüleri bu sonucu desteklemektedir.

3. Sıcak presleme sonrasında yapılan sinterleme sonucunda çekme dayanımının iki kat arttığı, ikinci sinterleme sonrasında çekme dayanımının %24 oranında tekrar arttığı belirlenmiştir.

4. Sıcak presleme tekniği ile üretilen toz metal çeliklerin daha yüksek basınçlı presleme uygulanarak, sinterleme süreci kısaltılabilir ve böylece daha düşük maliyetli ve daha hızlı parça üretimleri gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1].R. M German, *Powder Metallurgy Science*, 2nd edition, USA: Metal Powder Industries Federation, 1994.
- [2].S. Sarıtaş, M. Türker ve N. Durlu, *Toz Metalurjisi Ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri*, Türkiye: Türk Toz Metalurjisi Yayınları, 2007.

- [3].M. A. Erden and F. Aydın, Wear and mechanical properties of carburized AISI 8620 steel produced by powder metallurgy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(3), 430-439, 2021.
- [4].M. A. Erden, M. E. Korkmaz, N. Yaşar, B. Ayyacı, R. K. N. Sworna and M. Mia, Investigation of Microstructure, Mechanical and Machinability Properties of Mo Added Steel Produced by Powder Metallurgy Method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114, 2811-2827, 2021.
- [5].H. Şimşir, Y. Akgül and M. A. Erden, Hydrothermal carbon effect on iron matrix composites produced by powder metallurgy, *Materials Chemistry and Physics*, 242, 122557, 2020.
- [6].M. Türkmen, M. A. Erden, H. Karabulut and S. Gündüz. The Effects of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Nb V Microalloyed Powder Metallurgy Steels, *Acta Physica Polonica A*, 135(4), 834-36, 2019.
- [7].B. A. Gething, D. F. Heaney, D. A. Koss and T. J. Mueller, The effect of nickel on the mechanical behavior of molybdenum P/M steels, *Materials Science and Engineering A*, 390, 19-26, 2005.
- [8].D. Özdemirler, S. Gündüz, M. A. Erden, H. Karabulut, M. Türkmen, The effect of sintering temperature on the microstructure and mechanical properties of NbC added PM steels, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 92-97, 2016.
- [9].B. Güney, Microstructure Analysis of Welding Fume of Low and Medium Carbon Steels, *Revista de Metalurgia* 57 (1), 1-10, 2021.
- [10]. M.A.M Ahssi, M. A. Erden, M. Acarer, H. Çuğ, The effect of nickel on the microstructure, mechanical properties and corrosion properties of niobium-vanadium microalloyed powder metallurgy steels, *Materials*, 13, 4021, 2020.
- [11]. M. Elitaş, Effects of welding parameters on tensile properties and fracture modes of resistance spot welded DP1200 steel, *Materials Testing*, 63 (2), 2021.
- [12]. M. A. Erden, S. Süleyman, H. Karabulut, M. Türkmen, Wear behaviour of sintered steels obtained using powder metallurgy method, *Mechanics*, 23(4), 2017.
- [13]. M. A. Erden, Toz metalurjisi ile üretilen Ni-Mo ve Ni-Mo-W çeliğine presleme ve sinterleme parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2021.
- [14]. M. A. Erden, M. T. Taşçi, Toz Metalurjisi ile Üretilen Nb V Mikroalaşım Çeliğine Ni İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 19(4), 611-616, 2016.
- [15]. S. Süleyman, M. A. Erden, M. Türkmen, H. Karabulut, (). The influence of vanadium and titanium on the mechanical properties of microalloyed PM steel, *Powder Metallurgy And Metal Ceramics*, 55(5), 277-287, 2016.
- [16]. Özdemirler, D., Gündüz, S., Erden, M.A., Influence of NbC Addition on the Sintering Behaviour of Medium Carbon PM Steels, *Metals*, 7(121), 1-11, (2017).