

Fe-Cu-C ÇELİKLERİNE MANGAN İLAVESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

İlyas UYGUR

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Konuralp Yerleşkesi, 81620, Düzce
uygur_i@ibu.edu.tr

(Geliş/Received: 10.02.2006 ; Kabul/Accepted: 22.05.2007)

ÖZET

Bu çalışmada, farklı oranlarda Cu, C, ve ferromangan tozları karıştırılarak Fe-Cu-Mn-C çelik parçalar, toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiştir. Karıştırılan tozlar, farklı presleme basınçlarında, 1120 °C sıcaklıkta ve amonyak atmosferinde 30 dakika süreyle sinterlenmiştir. Üretilen parçalarda, presleme basıncının gözenekliliğe ve çekme mukavemetine; toz element oranlarının ise sertlik, tokluk ve çekme mukavemetine etkisi incelenmiştir. Presleme basıncının artışı, üretilen ürünlerde gözenekliliğin azalmasını ve çekme dayanımının artmasını sağlamıştır. Çekme deneylerinde, elde edilen mukavemet değerleri, karışım içerisindeki, Cu, C ve mangan oranlarının artışı ile artmaktadır. Ayrıca karışım içerisindeki bu elementlerin varlığı sertliği de artırmaktadır. Kırılma tokluk değerleri ise sertlik ve çekme dayanımına bağlı olarak azalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fe-Cu-Mn-C, toz metalürjisi, sertlik, mekanik özellikler, mikroyapı.

INFLUENCE OF MANGANESE ADITION ON MECHANICAL PROPERTIES OF Fe-Cu-C STEELS

ABSTRACT

In this study, Fe-Cu-Mn-C based steels were produced in different amounts of Cu, C and ferromangan addition by powder metallurgy (PM) method. The mixed powders were pressed at various pressures and sintered at 1120 °C in ammonia atmosphere for 30 minutes. The effect of pressure on porosity and tensile strength; the addition of Cu, C and Mn on the hardness, fracture toughness, and tensile strength were investigated. An increase in compaction pressure caused decrease on porosity amounts, hence resulted in increased tensile strength. Tensile strength also increased with increased amounts of Cu, C and Mn additions. Furthermore, the hardness values of Fe-Cu-Mn-C PM steel specimens increased with the existence of these elements. Fracture toughness values were decreased depending on hardness and tensile strength of the specimens.

Keywords: Fe-Cu-Mn-C, powder metallurgy, mechanical properties, microstructure.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

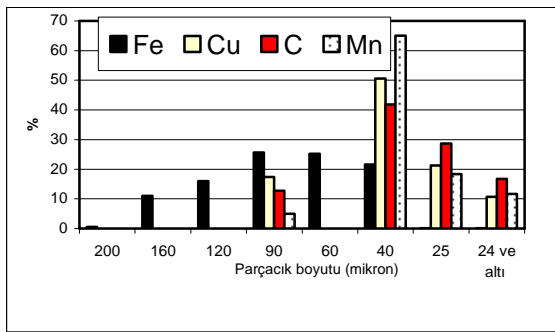
Toz metalürjisi (TM); sık kullanılan malzeme üretim ve plastik şekillendirme teknolojilerinden birisidir. Bu yöntem ile karmaşık şekilli, farklı boyut ve kalınlıklardaki parçalar talaşlı üretim yöntemi en aza indirilerek yapılabilmektedir. İlk yatırım maliyetinin düşük olması, yüksek verimlilik, karmaşık şekilli parçaların kolay ve hızlı bir şekilde üretilmesi, hemen hemen her türlü malzemeden üretilmesi, üretim sonrası boyut tamlığı ve yüksek dayanım/hafiflik oranının ayarlanabilmesi, gibi nedenlerden dolayı TM ile üretilen parçalar bir çok farklı sahada uygulama bulmuşlardır. TM ile üretilen

ürünler, yüksek kalitede malzemeler olup, en çok kullanıldığı alanlar içerisinde otomotiv endüstrisi, ev aletleri, tarım aletleri ve büro malzemeleri yer almaktadır [1, 2]. Otomotiv endüstrisinde yer alan bazı parçalarda toz metalürjisi ile üretilen Fe-Cu-C esaslı malzemeler kullanılmaktadır [3]. Bu malzemelerin toz metalürjisi ile üretimi, genellikle sıvı sinterlenme mekanizması ile gerçekleştirilmekte olup, sinterleme sıcaklığında bir sıvı fazın oluşabilmesi ve bu elementlerin veya fazın birbiri içerisindeki çözünürlüklerinin de iyi olması gerekmektedir [3]. Yüksek dayanım istenilen demir esaslı malzemelerde, karbon çoğunlukla kullanılan temel alaşım elementi olup sertliği artırmaktadır [4].

İnce grafit, demir tozları ile karıştırıldığında sinterleme işlemi sırasında hızlı bir şekilde demir içerisinde çözünmektedir [5, 6]. Sinterleme işleminde kullanılan tozların boyutları, üretim atmosferi ve sıcaklık, parça boyutunda değişikliklere neden olmaktadır [7-8]. TM ile üretilen parçaların sinterleme sırasında boyutsal değişikliklerinin kontrolü kullanılacakları endüstriyel alanlar için oldukça önemlidir. Üretilen malzemelerin güvenli bir şekilde kullanılmaları için, mekanik davranışlarının iyi anlaşılması zorunludur. Çünkü tasarım ve üretim açısından bu özellikler büyük önem taşımaktadır. Daha önceki çalışmalarda, bu malzemelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin sinterleme sıcaklıklarına, presleme basıncına, yapı içerisindeki gözenek miktarına ve dağılımına bağlı olduğu belirlenmiştir [9,10,11]. Sinterleme sonrası bu malzemelere, ısıl işlem yapılabilen ve yapılan ısıl işlem sayesinde malzemelerin mikroyapısı, kırılma tokluğu ve sertlik değerleri değişmektedir [2]. Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile farklı % ağırlık oranlarında Fe, Cu, C ve ferromangan tozlarının karıştırılarak Fe-Cu-Mn-C esaslı çelikler üretilmiştir. Üretilen çeliklerin parçacık boyut dağılımları, sertlikleri, kırılma toklukları ve çekme dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca, toz oranları, ve presleme basıncının, malzemelerin mekanik özelliklerine ve mikroyapıya olan etkisi araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Bu çalışmada Höganäs firması tarafından su atomizasyon yöntemiyle üretilen ASC 100.29 ticari saflıktaki demir tozu kullanılmıştır. Bu tozun ortalama parçacık boyutu 65 µm olup, hepsi 200 µm'dan küçüktür. MBC firması tarafından su atomizasyon yöntemiyle üretilen % 99.99 saflıkta en büyüğü 90 µm çapında olan bakır tozu ile UF4 ticari isimli grafit tozu da numune üretiminde kullanılmıştır. Bakır tozlarının ortalama parçacık boyutu 45 µm, grafit tozlarının ise 35 µm dir. Ayrıca, ferromangan (%73 Mn, %6.8 C, %1.5 Si) tozlarının ortalama parçacık boyutları ise 40 µm' dir. Şekil 1'de bu tozların parçacık boyutlarına göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 1. Kullanılan toz parçacıklarının boyutsal dağılımları (Particle size distributions of powders used in this study)

Üretilen Fe-Cu-Mn-C esaslı çeliklerin yüzde ağırlık toz karışım miktarları ve yoğunlukları Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgede görüleceği gibi, Fe-Cu-Mn-C çeliğinde bakır, ferromangan, ve karbon miktarları değiştirilmiştir. Presleme basıncı yoğunlukları önemli oranda değiştirilmiştir. Bu karışım tozları 0.0001 gr hassasiyetine sahip 200 gr kapasiteli bir terazide tartılmış, tozların homojen dağılımının sağlanması toz karıştırma makinesiyle karıştırılmıştır. Fe-Cu-C-Mn toz karışımları 300 ve 510 MPa'lık basınçlar altında 65x10x10 mm olan numuneler üretilmiştir. Numunelerin kalıptan kolayca çıkartılabilmeleri için, kalıp iç yüzeylerine fırça yardımı ile çinko stearat sürülmüştür. Üretilen numuneler, parçalanmış amonyak içeren bir sinter fırın içerisinde 1120 °C sıcaklıkta 30 dakika süre ile sinterlenmiş ve işlem sonrasında fırında soğutulmaya bırakılmışlardır.

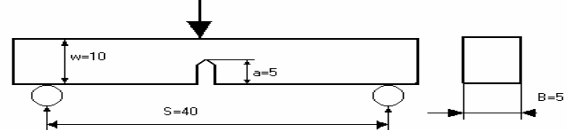
Sertlik değerlerinin belirlenmesinde Brinell sertlik metodu kullanılmıştır. Her numunede beş farklı noktadan sertlik ölçümü alınarak ortalama sertlik değerleri tespit edilmiştir. Çekme deneyleri için ise standart numuneler hazırlanarak deneyler DARTECT marka çekme tezgahı ile yapılmıştır. Deneylerde çekme hızı 0.02 mm/sn olarak ayarlanmıştır. Kırılma tokluğu (K_{Ic}) deneyi için kullanılan numuneler, ASTM E-399 standartlarında belirtilen ebat ve şekillerde hazırlanmıştır. Şekil 2'de kırılma tokluğu numunesinin şekli ve boyutları verilmiştir. Kırılma tokluğu değerleri, ASTM E-399'da verilen ve aşağıda gösterilen (1) numaralı formül kullanılarak hesaplanmıştır[12].

$$K_{Ic} = \frac{P.S}{B.(W)^2} f\left(\frac{a}{W}\right) \quad (1)$$

K_{Ic} : Kırılma tokluğu (MPa \sqrt{m})
 B : Numunenin kalınlığı (m)
 W : Numunenin genişliği (m)
 S : Ara mesafesi (m)
 P : Uygulanan maksimum yük (MN)

$f\left(\frac{a}{W}\right)$: Numune geometri faktörü

Mikroskobik incelemeler, numunelerden parçalar kesilerek bakalite alınmış ve farklı SiC aşındırıcılarla zımparalandıktan sonra parlatma çuhaları üzerinde alümina kullanılarak numune yüzeyleri parlatılmıştır. Parlatılan numuneler % 3 nital çözeltisi ile dağlanmış. Mikroyapı incelemelerinde XJP SOIF marka optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 2. ASTM E – 399'a göre üç nokta kırılma tokluğu numunesi ebatları (Fracture toughness specimen according to the ASTM E-399)

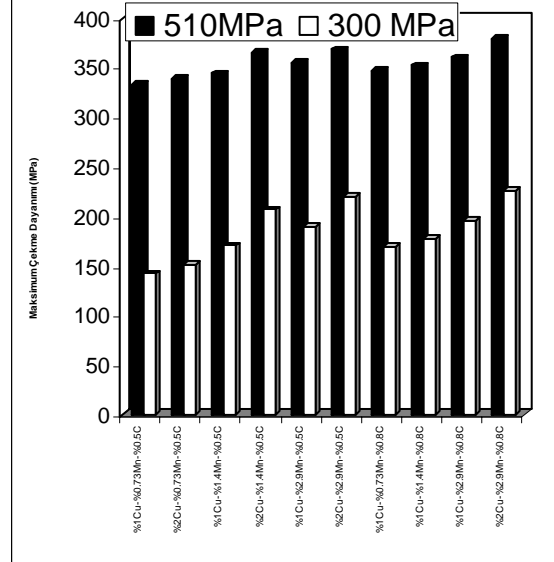
Çizelge 1. Fe-Cu-Mn-C tozlarının karışım oranları ve farklı presleme basıncındaki yoğunlukları (Composition of powder mixtures and the effect of compact pressure on the density)

Numune adı	Fe (% Ağırlık)	Cu (% Ağırlık)	Ferromangan (% Ağırlık)	C (% Ağırlık)	Yoğunluk 510 MPa (g/cm ³)	Yoğunluk 300MPa (g/cm ³)
S1	97,5	1	1	0,5	7,95	7,48
S2	96,5	2	1	0,5	7,97	7,54
S3	96,5	1	2	0,5	7,94	7,52
S4	95,5	2	2	0,5	7,97	7,56
S5	94,5	1	4	0,5	7,98	7,6
S6	93,5	2	4	0,5	7,98	7,7
S7	97,2	1	1	0,8	7,96	7,5
S8	96,2	1	2	0,8	7,96	7,4
S9	93,2	1	4	0,8	7,99	7,7
S10	93,2	2	4	0,8	8,01	7,90

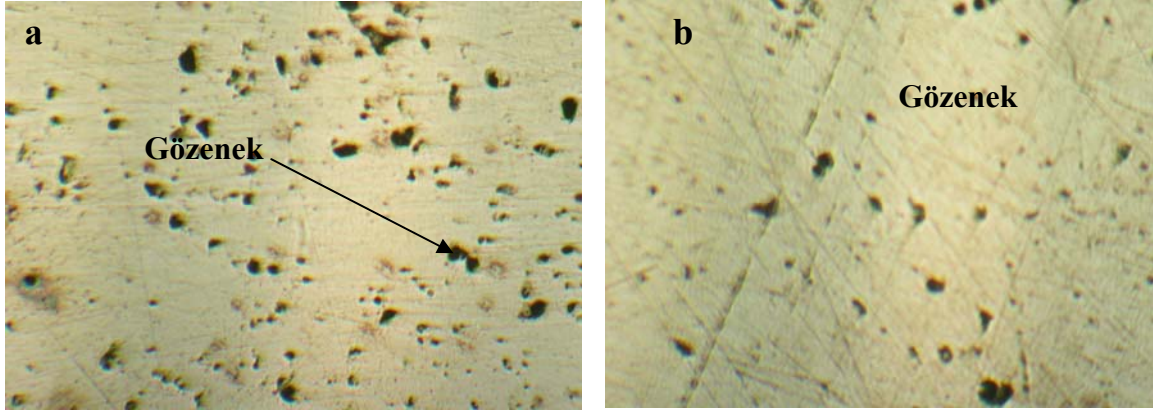
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS)

Şekil 3'te malzeme içerisindeki % bakır, karbon ve mangan oranlarının malzemenin çekme dayanımına olan etkisi gösterilmektedir. Fe-Cu-Mn-C çeliklerinde Cu, Mn ve C toz miktarları arttıkça çekme mukavemetinde artış gözlenmiştir. Üretilen numuneler içerisinde, en yüksek dayanım 0.02Cu-0.029Mn-0.008C (8,1g/cm³) çelikte 380 MPa olarak belirlenmiştir. Bu numune en yüksek mangan, bakır ve karbon miktarına sahip numunedir. Bu elementlerin miktarındaki azalmaya paralel olarak çekme dayanım değerlerindeki düşüşler aynı şekil üzerinden görülebilmektedir. En az çekme dayanımı 0.01Cu-0.73Mn-0.005C (7,95g/cm³) numunede elde edilmiş olup, 333 MPa'dır. Bu çalışmada; kimyasal kompozisyona bağlı, çekme dayanım değerlerinde meydana gelen, en yüksek ve en düşük değerler arasındaki fark % 12 dir. Ayrıca yine aynı grafikten anlaşılacağı üzere; 510 MPa'lık presleme basıncı, 300 MPa'la düştüğünde çekme dayanımında önemli azalmalar meydana gelmektedir. Düşük presleme basıncı ile elde edilen numunelerde kompozisyona bağlı olarak, önemli oranlarda değer kayıpları söz konusu olmakla birlikte; çekme dayanımındaki, en yüksek değer ile minimum değer arasındaki farklılaşma %32 dir. Şekil 4'te farklı presleme basıncı uygulanan numunelerin mikroyapıları görülmektedir. Presleme basıncındaki düşüş, malzeme yoğunluğunda önemli azalmalara sebep olmuş, gözenek miktarını artırmış, gözeneklerin büyüklükleri ve dağılımlarına bağlı olarak mekanik özelliklerde düşüşler gözlenmiştir (Şekil 3). Yüksek presleme basıncı ise, malzeme içerisindeki gözenek miktarını düşürmüştür. Daha önceki çalışmalarda belirtildiği gibi, presleme basıncına ve sinterlemeye bağlı olarak, üretilen malzemede yoğunluk artışı ve gözenek miktarının azalması, bir çok mekanik özelliklere olumlu etki yapmaktadır [5,10,14].

Yoğunluk, kullanılan tozun sıkıştırılabilirlik özelliğine bağlıdır. Presleme basıncının artışı ile numune içerisindeki gözenek miktarının azalması sağlanır ve yoğunluğu artırılır. Fe esaslı tozların içerisine Cu tozu katılarak, sinterlemenin sıvı faz mekanizması ile oluşması sağlanmaktadır. Cu miktarındaki artış malzemenin genişlemesine ve boyutsal değişime neden olmakta, bu karışımın içerisine C ilave edilerek boyutsal değişim minimize edilmektedir [13,14]



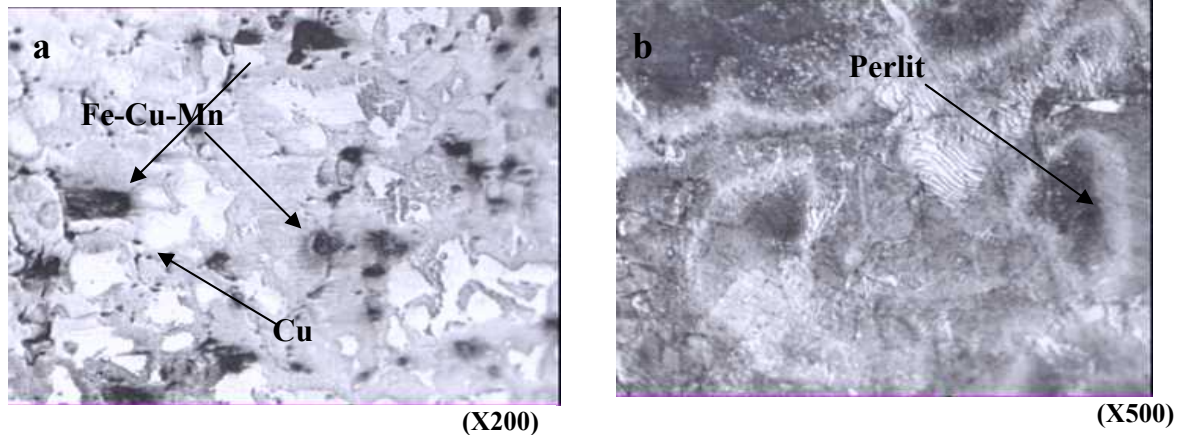
Şekil 3. Presleme basıncı ve toz miktarlarının malzemelerin çekme dayanımına olan etkisi (The effect of pressure and volume fraction of the particles on the tensile response of the materials)



Şekil 4. a) 300 MPa basınç ile sinterlenmiş malzemenin mikroskopik görüntüsü (Microstructure of the material at 300MPa) b) 510 MPa basınç ile sinterlenmiş malzemenin mikroskopik görüntüsü (Microstructure of the material at 510MPa)

1083 °C'de eriyen bakır, 1095 °C civarında Fe-Cu-C sistemlerde sıvı faz sinterlemesi mekanizmasının gerçekleşmesi sonucunda yoğunlaşma sağlanmaktadır [8]. Bahsedilen ergime civarındaki sıcaklıklarda bakırın Fe-C alaşımı tarafından emilmesi ile taneler arası bağ kuvvetlenmekte, böylece malzemenin hem sertliğini hem de mukavemetinin artması sağlanmaktadır. Demir esaslı tozların içerisine karbon ve bakırın belirli orana kadar katılması, toz metalurjisi ile üretilen malzemenin hem sertliğini hem de mukavemetini artırmaktadır [3]. Bu çalışmada, düşük karbon oranlarında mikroyapının çoğunlukla ferrit ve bir miktar perlitten oluşması, elde edilen sertlik ve dayanım değerlerinin doğal olarak düşük olmasına neden olmaktadır. Malzemenin sertlik ve dayanım değeri, içerisindeki karbon, bakır ve mangan oranına paralel olarak artmaktadır, benzer sonuçlar daha önceki çalışmalarda da elde edilmiştir [2,10,14]. Karbon oranı % 0.8'e çıkarıldığında karbonun tamamına yakını demir tozlarının içerisinde yayılmakta, eriyen bakır tarafından kuvvetli bir bağ oluşturulmaktadır.

Bu nedenle sertlik ve mukavemeti de artmaktadır. Ayrıca, karbon miktarı yeterli olduğunda sinterleme esnasında grafitin östenit taneleri içerisinde yayılması ve soğuma sırasında bu tanelerin perlitte dönüşmesi sonucu perlitik bir mikroyapı oluşmaktadır (Şekil 5.a-b). Bu yapı malzemenin hem sertliğini hem de mukavemetini artırmaktadır. Ayrıca, ergimiş durumda bulunan fazla miktarlardaki bakırın, alaşım içerisine yayılmaması sonucu mikroyapıda yer yer bakır yığılmaları görülebilmektedir (Şekil 5.a). Bu çalışmada sertlik; bakır, mangan ve karbon miktarı ile artmaktadır. Sertlik değerlerindeki artışın nedeni demir içerisindeki karbon miktarının fazla olmasından dolayı, mikroyapıda oluşan perlitik faz oranının artmasından kaynaklanmaktadır [8]. Ayrıca, demir içerisine ilave edilen manganın da meydana getireceği katı çözelti ve manganın kendisinin sahip olduğu sertlik değerleri ürünün genel olarak sertlik ve çekme dayanım değerlerinde artışa neden olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5. a) İçerisinde %1 Cu %0.73 Mn %0.5 bulunan çeliğin mikroyapı görüntüsü (Microstructure of steel with 1% Cu-0.73% Mn-0.5% C) b) % 94.5 Fe - % 1 Cu- % 2.9 Mn % 0.5 C numunesinin mikroyapı fotoğrafı (Microstructure of steel with 1% Cu-2.9% Mn-0.5)

Çizelge 2. Fe-Cu-Mn-C çeliklerin mekanik özellikleri (510 MPa) (Mechanical properties of the Fe-Cu-Mn-C steels (510 MPa))

Kimyasal Bileşim (%)	H _B (kgf/mm ²)	K _{ic} Kırılma tokluğu (MPa√m)
%1 Cu-%0.73 Mn-%0.5 C	165	10,45
%2 Cu-%0.73 Mn-%0.5 C	168	10,02
%1 Cu-% 1.4 Mn-%0.5 C	172	9,1
%2 Cu-%1.4 Mn-%0.5 C	190	7,2
%1 Cu-%2.9 Mn-%0.5 C	182	5,14
%2 Cu-%2.9 Mn-%0.5 C	200	5,98
%1 Cu-%0.73Mn-%0.8 C	174	8,2
%1 Cu-%1.4 Mn-%0.8 C	178	8,71
%1 Cu-%2.9 Mn-%0.8 C	187	7,4
%2 Cu-%2.9 Mn-%0.8 C	206	5,4

Çizelge 2’de ise deneysel çalışmada kullanılan numunelere ait sertlik ve kırılma tokluk değerleri verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi, mangan ve karbon oranındaki artış, sertlik değerlerinin de artışına neden olmaktadır. Çekme dayanımında olduğu gibi, en yüksek sertlik değeri %2Cu-%2.9Mn-%0.8C çelikte 206 BSD olup, en düşük değer ise %1Cu-%0.73Mn-%0.5C çelikte 165 BSD olarak belirlenmiştir. Gerek karbonun gerekse mangan’ın alaşım içerisinde sertliğe katkıda bulunduğu bilinmektedir [8,14]. Bu çalışmada mangan ve karbon miktarına bağlı olarak meydana gelen sertlik değer artışları, çekme dayanımına paralel olarak doğru orantılı bir şekilde değişmektedir. Sertlik değerleri ile çekme dayanım özellikleri arasındaki ilişki düşük karbonlu çeliklerde [16] ve Titanyum [17] malzemelerde de tespit edilmiştir. Yine aynı çizelgede malzemelerin kırılma tokluk değerleri verilmiştir. Sertlik değerleri ile tokluk değerleri arasındaki ters orantı açıkça görülmektedir. Doğal olarak yüksek çekme ve sertlik değerlerine sahip numunelerin kırılma tokluk değerleri de düşük olmaktadır. Bu çalışmada, en düşük kırılma tokluğu %2Cu-%2.9Mn-%0.8C çelikte, en yüksek değer ise %1Cu-%0.73Mn-%0.5C çelikte elde edilmiştir. Sertlik değerlerine bağlı ters ilişki tüm numunelerde gözlenirken, %1Cu-%2.9Mn-%0.5C çelikte düşük değer elde edilmiştir. Bu da muhtemelen, gözeneklerin çokluğundan, büyüklüğünden ve homojen olmayan dağılımından kaynaklanmaktadır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Fe-Cu-Mn-C esaslı çelikler toz metalurjisi yöntemi kullanılarak üretilmiş, element miktarlarının, çekme dayanımına, sertlik, kırılma tokluğu ve mikroyapıya olan etkileri araştırılarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

i. Fe-Cu-Mn-C çelikleri toz metalurjisi kullanılarak üretilebilmektedir. Kullanılan tozların türü ve oranları çok önemlidir. Uygulanan sinterleme sıcaklığı yeterli olmakla birlikte, presleme basıncı 510 MPa’dan düşük olmaması gerekmektedir.

ii. Karışım içerisindeki karbon ve mangan oranı sertlik ve çekme dayanımına etki etmekte, bu değerler, Cu, C ve mangan oranlarındaki artışa paralel olarak mekanik özelliklere etki etmektedir.

iii. Çekme dayanımındaki yükselişe, mikroyapıda bulunan fazla miktardaki perlitin neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, mangan’ın mikroyapıda oluşturacağı katı çözeltilerin etkisiyle sertlik ve çekme dayanım değerleri daha da artmaktadır.

iv. Kırılma tokluk değerleri; sertlik ve çekme değerleriyle ters orantılı olarak değişmekte ve elde edilen değerler literatür bilgileriyle uyumaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazar, Sakarya Üniversitesi Öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Ramazan YILMAZ’a deneysel çalışmalarda yardımcıları, laboratuvar imkanları, malzeme temini ve konu ile ilgili değerli görüşlerinden dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bocchini, G.F. ve Lindskog, P.F., “Applications and Developments of Sintered Ferrous Materials” **Powder Metallurgy-An Overview**, The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy, Editör: Jenkins I. and Wood, J.V., pp.287-295, 1991.
2. Ölmez, C.O. ve Top, Y., “Toz Metalurjisi Kompaklarında Bakır Miktarının ve Isıl İşleminin Sertliğe Etkisi”, **Metal Dünyası**, 124, 95-98, 2003.
3. Narasimhan, K.S. “Sintering of Powder Mixtures and Growth of Ferrous Powder Metallurgy”, **Materials Chemistry and Physics** 67, 56-65, 2001.
4. Metals Handbook, Vol. 1, **Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys**, 10th Edition, American Society of Metals, Materials Park, OH, 1990.

5. Solak, A., **Ferrous Powder Metallurgy**, Cambridge International Science Publications, 1995.
6. German, R.M., **Powder Metallurgy of Iron and Steel**, MPIF, Princeton, NJ, 1996.
7. Berlinger, M., Wasiczko, B. ve Nayar, H., “A Study Dimensional Changes in Fe-Cu-C Parts in Different Furnace Zones and Different Sintering Atmospheres”, **Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials**, 3, 285-300, 1992.
8. Upadhyaya, G.S., **Sintered Metallic and Ceramic Materials-Sintered Low-Alloy Ferrous Materials**, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England, 2000.
9. Demir, A. ve Sarıtaş, S., “Toz Metal Çeliklerin Mekanik Özellikleri”, Akdeniz Üniversitesi”, **Isparta Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Dergisi**, Sayı 7, 1-14, 1993.
10. Yılmaz, R., “Fe-Cr-Mn-C kompaktların üretimi ve element miktarının sertlik ve kırılma tokluğuna etkisi” **4. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı**, Sakarya, 18-22 Mayıs 2005
11. Yılmaz, R. “Fe-Cu-C kompaktlarda presleme basıncı ve toz karışım oranlarının sertliğe ve çekme mukavemetine etkisi” **4. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı**, Sakarya, 18-22 Mayıs 2005
12. “Standart Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials” **ASTM E 399-83**, 1983.
13. Wanibe, Y., Yokoyama, H. Ve Itoh, T., “Expansion during liquid phase sintering of iron-copper compacts” **Powder Metallurgy**, 33(1), 65-69, 1990
14. Gülsoy, H.Ö. ve Salman, S., “Fe, Cu Kompaktlarına Katılan Farklı Miktardaki Grafit İlavelerinin Sabit Sinter Sıcaklığı ve Sabit Sürelerde, Mekanik Özelliklerine Etkisi”, **1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı**, Gazi Üniversitesi, Ankara, 559-566, 16-17 Eylül 1996.
15. Jamil, S.J ve Chadwich, G.A., “ Investigation and analysis of liquid phase sintering of Fe-Cu and Fe-Cu-C compacts” **Powder Metallurgy**, 28(2), 65-70, 1985
16. Uygur, I. ve Gulenc, B., “The effect of shielding gas composition for MIG welding process on mechanical behaviour of low carbon steel” **Metalurgija**, 43(1), 35-40, 2004.
17. Uygur, I. ve Dogan, I., “ The effect of TIG welding on microstructure and mechanical properties of a butt-joined-unalloyed titanium” **Metalurgija**, 44(2), 119-123, 2005.