

BAKIR ORANININ DEMİR-ESASLI YAPISAL TOZ METAL MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE DELİNEBİLİRLİĞİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Nihat YILMAZ ve Remzi VAROL*

*Makine Eğitimi Bölümü Teknik Eğitim Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi

**Makina Mühendisliği, Müh.-Mim. Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi

nvilmaz@tef.sdu.edu.tr, rvarol@mmf.sdu.edu.tr

(Geliş/Received: 09.04.2010; Kabul/Accepted: 14.06.2010)

ÖZET

Bu çalışmada standart bir demir-esaslı Toz Metal (TM) bakır çeliğinin (FC-0208) diğer TM proses parametreleri sabit tutularak, içerisindeki bakır oranı % 1-4 arasında 4 farklı kademedeki artırılarak üretilmiş ve bu numuneler üzerinde delik delme talaşlı imalat testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerde her bir malzeme grubunun işlenmesi esnasında oluşan itme-ilerleme kuvveti, takım aşınması ve deliklerin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş, ayrıca talaş morfolojisini incelemek için optik fotoğrafları çekilmiştir. Çalışmanın amacı; artan bakır oranının, TM tekniğiyle üretilen bu malzemelerin talaşlı işleme sonucu oluşan takım aşınması ve onunla ilişkili talaş oluşumuna etkisini deneysel olarak araştırmaktır. Sonuçlar, artan bakır oranının takım aşınmasını azalttığı, talaş oluşumunu iyileştirdiğini göstermiştir. Elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü verileri de bunu destekler niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, delme, bakır oranı, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi, itme kuvveti

INVESTIGATION OF EFFECT OF COPPER RATIO ON DRILLABILITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF FERROUS-BASED STRUCTURAL PM MATERIALS

ABSTRACT

In this study, a standart ferrous powder metallurgy (PM) copper steels were produced as copper ratio gradually was increased between the range of 1-4 % while other PM process parameters were kept constant. Machinability tests were carried out with drilling process on these samples. In machinability tests have been measured thrust forces, tool wears and surface roughness of the hole surface and taken optical photos from generated chips during machining of each materials group. Thus, effect of increasing copper ratio on tool wear and relation with chip formation which results from machining PM materials was experimentally investigated. The results showed that tool wear decreased and chip formation improved with increasing copper ratio. This results are also supported by the data obtained from cutting force and surface roughness

Keywords: Powder metallurgy, drilling, copper ratio, tool wear, surface roughness, chip morphology, thrust force

1. GİRİŞ (INTRODUCTON)

Toz metalurjisi (T/M) üretim tekniğinin en önemli avantajlarından birisi çok az ikincil işlem gerektirmesi iken, T/M pazar incelemeleri tüm parçaların yaklaşık yarısının işleme operasyonlarından birine ihtiyaç duyduğunu göstermektedir [1, 2, 3]. Birçok T/M parça, presleme yönüne dik delikler, dar ve uzun

oluklar, vida dişleri v.b. geometrik unsurları oluşturmak, ayrıca hassas boyut ve yüzey kalitesi elde etmek için; ilave talaşlı imalat işlemlerine ihtiyaç duyar. Son zamanlarda T/M parçaların yaygın kullanımıyla, birbirinden farklı ve karmaşık şekiller T/M yöntemiyle üretilmekte, bu ise ikincil işleme ihtiyacını arttırmaktadır. T/M parçaların, dövme ve döküm parçalarla karşılaştırıldığında daha zayıf

Tablo 1. T/M Malzemelerin talaşlı işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmalar [4] (The study subjects on P/M machinability)

Ana Konu	Alt Konu	İlgili Literatür	
T/M Malzemelerin İşlenmesi ve İşlenebilirliğinin Karakterizasyonu	a	Klasik işleme teorilerinin TM malzemelere uygulanması	[5; 6]
	b	Yüzey pürüzlülüğü açısından	[7]
	c	Esnek imalat sistemiyle TM malzemelerin işlenmesi	[8]
	d	Takım aşınması ve kesme kuvveti açısından	[9; 10]
	e	Mekanik özelliklerle işlenebilirlik arasındaki ilişki	[11]
	f	Isı transferi açısından	[12]
	g	İşlenebilirliğin bir proses tepkisi olarak değerlendirilmesi	[13]
T/M Malzemelerin İşlenebilirliğine Etkileyen Faktörler	a	Yoğunluğun etkisi ve porozitenin azaltılması (emdirme)	[14]
	b	Sinterleme sıcaklığından soğuma hızının etkisi	[15]
	c	İnklüzyonların etkisi	[16]
	d	Alaşım elementlerinin (karbonun) etkisi	[17]
	e	Kesme parametrelerinin etkisi	[18; 19]
T/M Malzemelerin İşlenebilirliğini İyileştirme Çalışmaları	a	İlavelerin etkisi	[20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31]
	b	Ön sinterleme, sinterleme, ısıtma işlemi;	[32; 33]
	c	Ham işleme, ilk presleme;	[34; 35; 36; 37; 38]
	d	İşlenebilirlik iyileştirme çalışmalarının genel incelenmesi	[39]
	e	İşleme için kesme verileri tavsiyeleri	[40; 41]

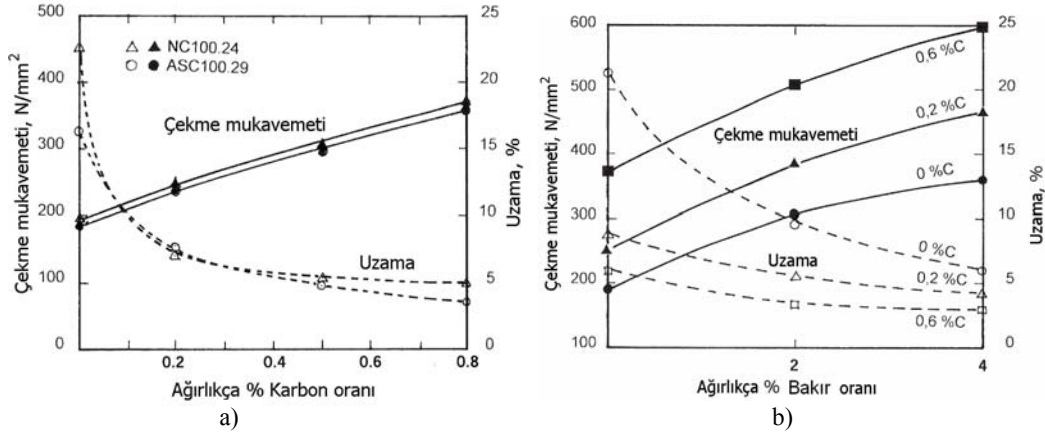
işlenebilirliği; içerdiği farklı işleme zorluklarından dolayı, son yıllarda oldukça yoğun ilgi konusu olmuştur. Bu zorluklar başlıca porozite, heterojen mikro yapı ve yüksek alaşım içeriğinden kaynaklanmaktadır. T/M üretim tekniğinin ekonomik avantajını devam ettirebilmesi için; mekanik, işlevsel ve geometrik özelliklerini geliştiren ve bunlara bağlı olarak uygulama alanını genişleten ikincil talaş kaldırma işlemlerinde oluşan zorlukların ortadan kaldırılması, işlem maliyetlerinin azaltılması gerekmektedir. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için T/M parçaların işlenebilirliği ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar Tablo 1'de özet olarak verilmiştir.

İncelenen literatürde çalışmaların ağırlıklı olarak, TM malzemelerin işlenebilirliğinin iyileştirilmesi kapsamında olduğu, bu kapsamda da özellikle işlemeyi kolaylaştırıcı ilaveler ile ham işleme ve ilk presleme şartlarında işleme üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Yapılan çalışmalardan genel bazı ortak sonuçlar çıkarılsa da, hala çelişkili sonuçların mevcut olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yapılan çalışmalarda farklı test prosedürlerinin ve şartlarının uygulanması yani standart bir işlenebilirlik test yönteminin bulunmamasıdır. Standart bir yöntemin geliştirilememesinin altında yatan temel neden ise, TM prosesinin oldukça fazla parametreye bağlı olmasının yanı sıra TM malzemelerin kendine has malzeme özellikleri nedeniyle işleme esnasında gösterdiği tepkilerin yani işleme karakteristiğinin tam

anlaşılabilmesi ve sağlam modellere bağlanamamasıdır.

Bakır çelikleri, demir tozuna belirli oranlarda elementel bakır ve grafit tozu (karbon) ilavesiyle elde edilen TM alaşımlarını kapsamaktadır. Bu malzemelerde sinterleme süresince demir toz matrisi içine grafit hızlıca difüze olduğundan, % 0.8 veya daha fazla kombine karbon oranına erişilebilir. TM demir-karbon ve bakır çelikleri, Fe-C-Cu üçlü alaşım sistemi olarak bilinir. Bu çalışmadaki bakır çeliği FC-0208 ile ifade edilmekte ve tipik olarak % 1.5-4 aralığında bakır % 6-9 aralığında C içermektedir. Bu alaşımlar çeşitli dişliler, bağlantı rodları gibi orta mukavemetten yüksek mukavemete değişen aralıkta otomotiv ve makine parçalarının imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Isıl işlemle mukavemet ve aşınma direnci artırılabilir [42; 43].

TM demir-karbon ve bakır çelikleri, orta mukavemet yapısal uygulamalarda yaygın kullanım alanı bulmaktadır. % 2 bakır içeriği tipiktir. İkincil işlem gerektiğinde, kombine karbon içeriği % 0.5'den daha az olmalıdır. Bu kategorideki malzemeler mukavemet ve aşınma direncini artırmak için ısıl işlem görebilirler. Daha yüksek bakır içeriğindeki (% 5 aralığında) malzemeler, maksimum aşınma direnci gerektiğinde ve ısıl işlem pratik olmadığında tavsiye edilir. Düşük yoğunluklu parçalar kullanımda kendinden yağlama için yağ emdirilebilir. Demir ve bakır tozlarının karışımı iki şekilde faydalıdır:



Şekil 1. Sinterlenmiş iki demir-esaslı malzemenin mekanik özelliklerine a) karbonun etkisi, b) karbon ve bakırın etkisi [42]. (Mechanical properties of sintered two ferrous-based materials a) effect of carbon b) Effect of copper)

- Bakır 1082°C'da erir (sinterleme sıcaklığının altında) ve kompakt tozun gözenek sistemine hızlıca sızar ki oradan da demir partiküllerin içine nispeten kolay yayılır.
- Bakır γ -demirinde (ostenit) yaklaşık % 9'a kadar çözülebilir, fakat α -demirinde (ferrit) sadece ağırlıkça % 0.4'e kadar çözülür. Sonuç olarak demir-bakır alaşımları sinterlemeden sonra düşük-sıcaklık tavlama ile, çökeltme sertleşmesine maruz kalabilir ve sinterleme fırınının soğutma bölgesinden geçtiğinde aslında belirli genişlemeye zaten uğurlar.

Bakır genellikle ağırlıkça % 1.5-4 aralığında demir tozlarına ilave edilir. Demir-bakır alaşımlarına grafit ilavesi mukavemetin artmasında oldukça etkilidir. Şekil 1 sinterlenmiş demir-bakır malzemelerin çekme mukavemeti ve uzaması üzerine karbon ilavesinin etkisini göstermektedir [42]

Bakır, ham yoğunluk ve bakır miktarına bağlı olarak sıkıştırma temas yerlerinde, sıvı faz nüfuziyetiyle parça boyutlarını artırır. Diğer taraftan Fe-Cu-C sistemlerinde karbon, sertleştirme etkisine sahiptir ve parçanın boyut artma derecesini azaltır. Büyük karbon ilaveleri, bakırın neden olduğu boyuttaki artışı neredeyse tamamen dengeler [44]. Bu nedenle bu alaşımlarda belirli demir-bakır kombinasyonlarında sinterleme sonrası boyutsal değişim ihmal edilecek seviyededir. Bakır alaşımlı çeliklerin diğer sinterlenmiş çeliklerle karşılaştırıldığında daha iyi işlenebilirliği, pratikte oldukça önemli bir faktördür [3]. Bu konuda müstakil olarak bakırın mekanik özellikler ve talaşlı işlenebilirliğine etkisini birlikte inceleyen müstakil bir çalışma yoktur. Bu çalışma, diğer parametreler sabit kabul edilerek, yalnızca bakır oranındaki % 1-4 aralığındaki % 1'lik adımlarla artışın yapısal TM malzemenin hem mekanik hem de delme işlemi özelliklerine etkisini birlikte incelemek amacıyla yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. TM Numunelerin Üretimi (Production of PM Compacts)

Çalışmada üretilen T/M numuneleri için standart ASTM bakır çeliği (FC-0208) referans alınmış ve bu standart malzemenin bakır oranı değiştirilerek 4 farklı bakır oranında Fe-C-Cu üçlü alaşımlar elde edilmiştir (Tablo 2). Deneysel çalışmalarda kullanılan Höganäs ticari markalı, demir, grafit ve yağlayıcı çinko-stearat (Zn-stearat) tozları, görünür yoğunluk, istenen yoğunluk ve numune boyutlarına göre her birinin miktarları belirlenerek elementel olarak ilave edilmiştir. Elementel bakır tozları Makin Metal Powders firması üretimidir.

Tablo 2. Farklı bakır oranlarında hazırlanan FC-0208 alaşımların % ağırlık olarak kimyasal bileşimi (Chemical composition of FC-0208 Alloys prepared at different Cu ratio as percent by weight)

Karışım	% C	% Cu	% Zn-stearat	% Fe
Cu1	0,6	1	0,8	Kalan
Cu2	0,6	2	0,8	Kalan
Cu3	0,6	3	0,8	Kalan
Cu4	0,6	4	0,8	Kalan
BAZ	0,7	2	0,8	Kalan

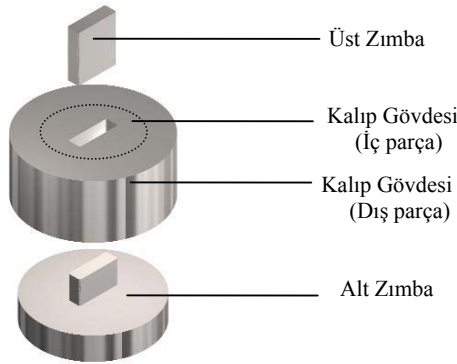
Karışımların tümünde karbon ilavesi olarak UF4 grafit tozu kullanılmıştır. Bu toz hem karbon oranını ayarlayarak sertleşmeyi sağlamak hem de yağlayıcı etki yapmaktadır. Demir tozları 2,99 görünür yoğunluğa, 7,18 g/cm³ ham yoğunluğa sahip ASC 100.29 su atomize yöntemiyle üretilmiş tozlardır. Yağlayıcı olarak çinko stearat (Zn-stearat) kullanılmıştır. Kullanılan tozların elek analizi sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan tozların elek analizleri (sieve analysis of the powders used)

Elementel toz cinsi	Fe	C	Cu	Zn-Stearat
Elek analizi	-45 μ -180 μ	2,6-25 μ	45-100 μ	53 μ

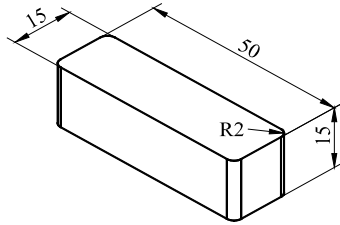
Toz karışımlarının oranları, elementel tozların Precise marka 0.001 hassasiyetdeki hassas terazi de tartılmasıyla hazırlanmıştır. Daha sonra oranları ayarlanan tozlar çift konili karıştırıcı yardımıyla 22,4 dev/dak dönme hızında 20 dakika karıştırılmıştır. Karıştırıcının doluluk oranı, hacminin yaklaşık % 60 ı dolu olacak şekilde ayarlanmıştır.

Belirlenen oranlarda karıştırılan tozlardan numune elde edilmesi için hazırlanan kalıp ile tozların kompaktlanması gerçekleştirilmiştir. Bütün numuneler Şekil 2’de verilen kalıp sistemiyle hidrolik preste tek etkili olarak sıkıştırılarak elde edilmiştir.



Şekil 2. Toz Sıkıştırma kalıp konstrüksiyonu (Die construction for powder consolidation)

Numunelerin geometrisi ve boyutları, işlenebilirlik ve standart eğme test numuneleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan numunelerin geometrisi ve boyutları Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 3. Numune geometrisi (Sample geometry)

Kalıp Gövdesinin iç kısmı AISI1040, dış kısmı AISI1050 malzemeden sıcak geçme olarak iç içe geçen iki silindirik parçacı olarak imal edilmiştir. Üst zimba ve alt zimba soğuk iş takım çeliği malzemeden tek parça olarak üretilmiş ve ısıl işlem uygulanmıştır. Hazırlanan kalıp ile 300 ton kapasiteli tek etkili hidrolik preste numuneler preslenmiştir. Preslemede numunelerin hepsi 7.1 g/cm^3 (bağıl yoğunluk % 91) sabit yoğunluk elde etmek için 700 MPa basınç altında sıkıştırılmıştır.

2.2. Ham Kompaktların Sinterleme İşlemi (Sintering of Green Compact)

Sinterleme işlemi elektrik ısıtmalı, otomatik atmosfer kontrollü MAHLER marka endüstriyel sürekli bant

fırında, doğalgaz (Metan) kullanılarak endotermik atmosferde yapılmıştır. Sinterleme esnasında metan gazı parçalanarak (C ve H_2 olarak) redükleyici bir atmosfer oluşturulmakta ve sıkıştırılmış toz kompakt bünyesindeki oksidi alınıp, CO_2 ve H_2O şeklinde dışarı atılmaktadır. Sinterleme işlemi $1120 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 20-30 dakika sürede gerçekleştirilmiştir. Parçanın fırında kalma süresi ise (ön ısıtma, sinterleme ve soğutma toplamı) 1,5 saat mertebesinde.

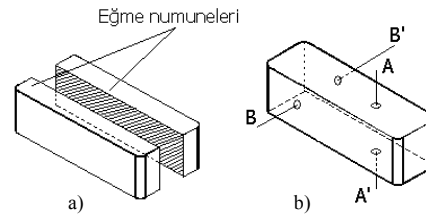
2.3. Yoğunluk Ölçümleri (Density Measurement)

Toz numunelerin sinterlenmiş yoğunluk ölçümleri TS 2305 standardına uygun olarak Arşimet prensibine göre yapılmıştır. Ölçümler sırasında numune metal bir askı ile sıvı içerisine daldırılmış ve $\pm 0.01 \text{ gr}$ hassasiyetdeki terazi ile ölçüm yapılmıştır. Yoğunluk ölçümleri esnasında sıvı olarak saf su (yoğunluğu 1 g/cm^3) kullanılmıştır.

2.4. TM Numunelerin Mekanik Özellikleri (Mechanical Properties of PM Samples)

Takım aşınması ve talaş oluşumunun malzemenin mekanik özellikleriyle birlikte değerlendirebilmek için, kompaktların üretilip sinterlenmesinden sonra malzeme karakterizasyonu da yapılmıştır. Bu kapsamda hazırlanan numunelerin çapraz kırılma testi, mikrosertlik, mikro yapı ve kırık yüzey incelemesi yapılmıştır.

Çapraz kırılma deneyleri MPIF 41 standardına göre yapılmıştır. Çapraz kırılma deneyi numuneleri Şekil 4.a’da görüldüğü gibi bir kompaktın tel erozyon tezgahında boyuna kesilmesiyle elde edilmiştir. Böylece bir kompaktan 2 adet eğme numunesi elde edilmiştir. Eğme düzeneğinin yük (P) değişimi 0.001 hassasiyetinde, sehim değişimi ise 0.01 hassasiyetindeki Mitutoyo marka ölçü aletleriyle belirlenmiştir. Numunelerin mikro sertlik ölçümleri mikro sertlik cihazında, Vickers uçlarla 100 gram yük altında 15 saniye süre kullanılarak yapılmıştır. Mikro sertlik numune üzerinde Şekil 4.b’de gösterildiği gibi birbirine dik iki yüzey (A ve B) üzerinde ve karşılıklı yüzeylerden (A ve A’, B ve B’) hem enine hem de boyuna alınmıştır. Mikrosertlik ölçümlerinde batıcı ucun gözenek boşluklarına gelmemesine de özellikle dikkat edilmiştir.



Şekil 4. a) Eğme deney numuneleri b) Mikrosertlik ölçümü (Bending and microhardness samples)

2.5. Delinebilirlik Deneyleri (Drillability Tests)

Talaşlı işlenebilirlik tanım ve uygulama olarak standart değildir. Konvansiyonel malzemelerde durum böyle iken TM malzemelerin porozite, mikro yapı homojensizliği gibi kendisine has farklılıklar nedeniyle farklı karakteristik göstermektedir. Genel olarak işlenebilirlik incelemelerinde, işleme türüne (tornalama, delme vb.) bakılmaksızın malzeme açısından mikro yapı, mekanik özellikler ve alaşım kimyasına bakılır. Kesme işleminin karakterizasyonunda ise takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve talaş şekli en yaygın kullanılan parametrelerdir.

TM malzemelerin işlenebilirliğiyle ilgili yapılan çalışmalarda da standart bir prosedür olmamakla beraber, çoğunlukla delme ve tornalama çalışmaları ve bazen de kılavuz çekme/vida açma çalışmalarına rastlanmaktadır [29, 40, 45]. Gerek test prosedürü gerekse numune geometrisi ve boyutları belirlenirken genel literatürden faydalanılmakla birlikte, TM prosesinin sınırlılıkları da göz önüne alınmıştır. Delme işlemi için kesme parametreleri ve takım özellikleri Tablo 4.'de verilmiştir

İşleme parametrelerinin seçiminde literatürde tavsiye edilen değerlerle ön testler yapılmış, buna göre kesin değerler belirlenmiştir. İşlenebilirlik delme testlerinde her numune üzerinde Şekil 5'de gösterildiği gibi 20 delik delinmiştir. Deliklerin parça üzerine yerleştirilmesinde mümkün olduğu kadar deliklerin birbiriyle uzaklığının eşit olmasına dikkat edilmiştir. Delme sırasında numunede oluşacak ısının mümkün olduğu kadar eşit şartlarda dağılmasını sağlayacaktır. Deliklerin derinliği, normal delik olarak düşünülmüş ve numune boyutları da göz önüne alınıp 13 mm belirlenmiştir.

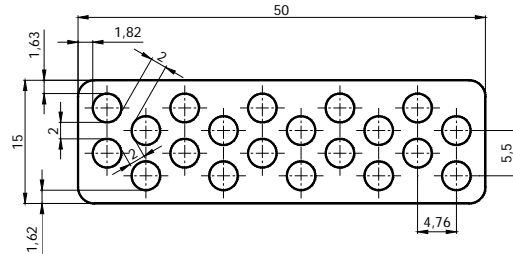
Delik çapı bir numunede daha fazla delik elde etmek ve deney süresini kısa tutmak için literatür ışığında 3,5 mm olarak belirlenmiştir. Delik giriş ve çıkışlarında takımda oluşacak hasarlar göz önüne alınarak kör delik olarak tasarlanmıştır.

İşlenebilirlik için yapılan ön deney sonuçlarına göre, her bir malzeme grubu için toplam 100 delik belirlenmiştir. Toplam 4 TM malzeme grubunun her birisinde 100 deliğe ulaşmak için 20-60-80 ve 100 delik olmak üzere 4 kademe farklı sayıda delik delinmiştir. Bir numunede 20 delik bulunduğundan her malzeme grubunda toplam 13 numune delme testleri için kullanılmıştır. Her kademe matkap ucu değiştirilmiş ve böylece bir malzeme grubu için 4 farklı aşınma durumunda (20, 60, 80, 100 delik) matkap elde edilmiştir. Sonuçta bir malzeme grubu için toplam 260 delik delinmiştir. Bu dört kademe delikler her grup için ayrı ayrı yapılmıştır

Bu çalışma kapsamındaki delinebilirlik testlerinde, delme işlemi esnasında parça üzerinde oluşan kesme kuvvetleri, matkap uçlarının takım aşınması ve delik yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü parametreleri ölçülmüş ve kesme esnasında oluşan talaşlar incelenmiştir.

Tablo 4. Delme işlemi için kesici ve kesme parametreleri (cutting tool and cutting parameters for drilling)

Kesicinin cinsi	Silindirik saplı kısa helisel matkap ucu
Standart	DIN 338/R-Tip 605
Kesici Takım Malz.	% 5 Kobalt Alaşımli Yüksek Hız Çeliği (MTE)
Kesici geometrisi	ϕ 3,5 mm, 135° uç açısı, 35° helis açısı
Devir Sayısı	2500 dev/dak (kesme hızı: 27,5m/dak)
İlerleme hızı	100 mm/dak (0,04 mm/devir)

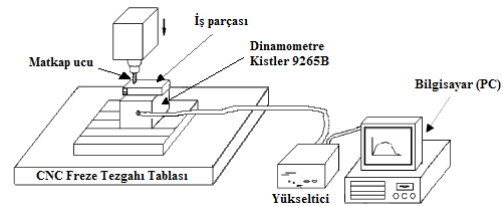


Şekil 5. Numune üzerinde deliklerin yerleşimi (layout of holes on the sample)

2.5.1. Takım aşınması, Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi (Tool wear, cutting force and surface roughness measurement)

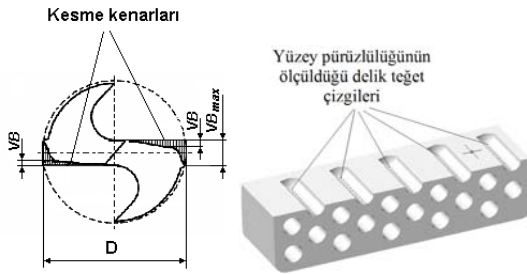
Delme işleminde üç kuvvet bileşeninden radyal ve kesme kuvveti nispeten küçük değerlerde olduğundan yalnızca delmede en önemli kuvvet bileşeni olan itme veya ilerleme kuvveti olarak isimlendirilebilecek (thrust force) ve tork değerleri dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada yalnızca üç kesme kuvveti bileşeni ölçülmüş ancak yalnızca itme bileşeni değerlendirmeye alınmıştır. Delme torku değeri de oldukça önemli olmasına karşın ölçülmemiştir.

Kesme kuvveti ölçümleri dikey işleme merkezinde, Kistler 9265B freze tipi dinamometre ve KISTLER 5019B Tip ampifikatör sistemiyle yapılmıştır. Şekil 6'da gösterilen sistem ile saniyede 500 kesme kuvveti verisi alınarak Kistler DynoWare yazılım sayesinde grafik olarak görüntülenmiş ve veriler Excel dosyası olarak kaydedilmiştir



Şekil 6. Kesme kuvveti ölçümü için dinamometre sistemi (Experimental setup of dynamometer systems)

Takım aşınmaları özel aşınma mikroskobu ile ölçülmüştür. Delme işleminde her malzeme grubunda 20, 60, 80 ve 100 delik için ayrı ayrı matkap ucu kullanılmıştır. Yani ilk 20 delikten sonra matkap değiştirilmiş yerine yeni matkap ucu takılarak 60 delik delinmiş, ardından yeni matkap takılıp 80 ve diğer bir matkap ucu ile de 100 delik delinmiştir. Böylece her malzeme grubu için 4 farklı delik sayısında ve dolayısıyla farklı aşınmaya maruz kalmış matkap elde edilmiştir. Aşınma ölçümleri matkabın iki kesme kenarının kesme yanakları üzerinde ve zırlı ile kesme kenarının birleştiği yerde oluşan yan yüzey aşınmasının en yüksek değerinin ölçülmesiyle yapılmıştır (Şekil 7). İşlenebilirlik incelemelerinde yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi oldukça önemli bir parametredir. Ancak ölçümün delik yüzeylerinde yapılacak olması işlemi biraz zorlaştırmaktadır.



Şekil 7. a) Matkap ucunda aşınma yüzeyleri ve ölçülmesi b) Deliklerin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi (a) wear surface on drill tip and its measurement b) measurement of surface roughness of the holes

Ölçümlerin kolay yapılabilmesi için Şekil 8.b'de gösterildiği gibi bir kenardan deliğin yarısına kadar boşaltılmıştır. Böylece delik yüzeyinin pürüzlülük ölçümüne esas örneklem uzunluğu teğet çizgiler boyunca, özellikle deliğin bitiş tarafına doğru alınmıştır. Ölçümlerde MahrSurf GD-25 marka kontak tip pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

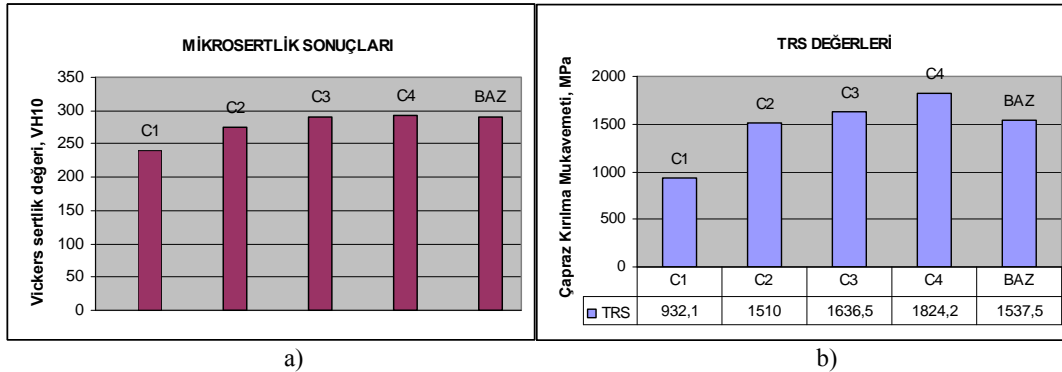
3.1 Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)

Belirtilen yöntemlerle üretilen 4 farklı bakır oranındaki numunelerin yoğunluğu 7.1 gr/cm^3 (bağlı yoğunluk %91) olarak ölçülmüştür. Numunelerin Şekil 3.b'de gösterildiği gibi alınan mikrosertlik ölçüm değerlerinin aritmetik ortalaması ile çapraz kırılma deney (TRS) sonuçları Tablo 5'de ve Şekil 8'de verilmiştir.

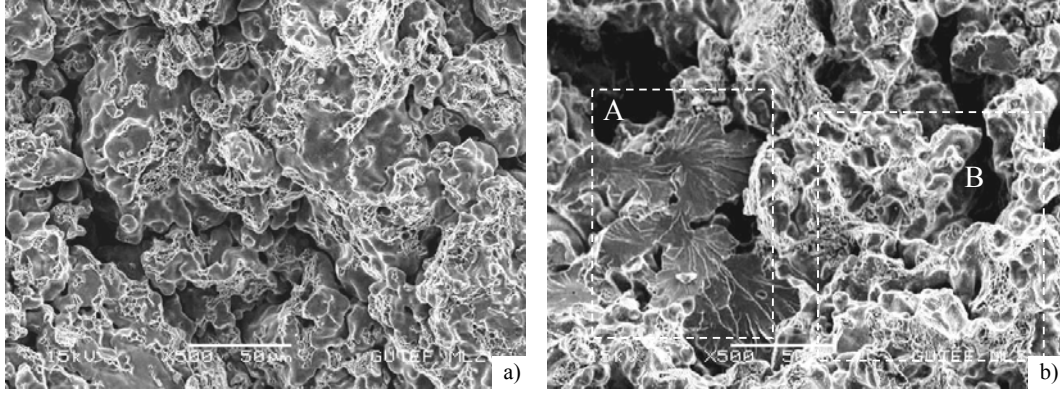
Tablo5. Mikrosertlik sonuçları (HV_{10}) (Microhardness results HV_{10})

Karışım Kodu	Uygulanan Basınc, MPa	% Bağlı Yoğunluk	Yoğunluk g/cm^3	Ort. Msertlik	TRS MPa
C1	700	91	7,1	240	932,1
C2	700	91	7,1	275	1510
C3	700	91	7,1	290	1636,5
C4	700	91	7,1	292,5	1824,2
BAZ	700	91	7,1	290	1537,5

Mikro sertlik sonuçları değerlendirildiğinde, genel olarak bakır oranının %1-4 arasında %1'lik artışla mikrosertlik ve TRS değerlerinin arttığı söylenebilir. Literatürde demir-esaslı TM malzemelerde bakır ilavesinin, mekanik özellikleri, katı çözelti mukavemetlenmesi mekanizmasıyla artırdığı belirtilmektedir [42, 44]. Referans malzeme ile aynı bakır oranına sahip C2 numunelerinin mikrosertlik değerlerindeki fark Tablo 2'de verilen karbon oranındaki %0,1'lik farktan olduğu, ancak bu farkın TRS değerlerinde çok bariz olmadığı görülmüştür. Bu sonuçlar SEM kırık yüzey analizleriyle ilişkilendirildiğinde ve TRS numunelerinin kırık yüzey SEM analizleri incelendiğinde (Şekil 9.a ve b) bakır ilavesinin artmasıyla partiküller arası bağ oluşumu ve bu bağların mukavemetinin arttığı görülmektedir. Özellikle bakır oranının %3 ve %4 olduğu numunelerde yer yer gevrek tane içi kırılmaların olduğu görülmektedir (Şekil 9.b).



Şekil 8. Bakır oranına bağlı a) mikrosertlik değerleri b) TRS değerleri (Microhardness and Transfer Rupture values related with copper ratio)



Şekil 9. a) % 1 Cu içeren C1 (Fe+0,6C+%1Cu) numunesinin, b) %4 Cu içeren C4 (Fe+0,6C+%4Cu) numunesinin kırık yüzey SEM görüntüsü (SEM images of rupture surface of samples a) % 1 Cu including and b) % 4 Cu)

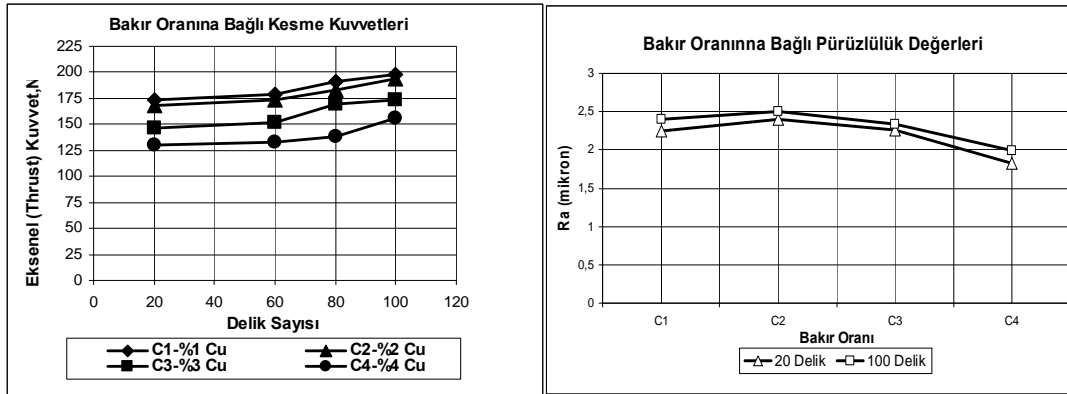
Fe+0,6C+1Cu içeriğindeki C1 numunesinin kırık yüzey SEM görüntülerinden de anlaşıldığı üzere yapıdaki kimyasal elementler boyun bölgelerinin sayısını, büyüklüğünü ve partiküller arası bağın mukavemetini ve buna bağlı olarak ta demir-esaslı TM malzemenin fraktografik hasar karakteristiğini belirlemektedir. Bu yüzden kırık yüzey incelemeleri, poroziteyle doğrudan ilişkili sinterleme sonucu oluşan partiküller arasındaki boyun bölgesinin yapısı hakkında nispeten tam bilgi sağlar [3]. SEM görüntülerinde Şekil 9.a'nın tümünde ve Şekil 9.b'nin B ile gösterilen bölgelerinde çerçeve içine alınan bölgeler sünek kırılmayı ifade etmektedir. Bu bölgeler literatüre göre küçük (sünek kupa-konik kırılma) çukur ve tümseklerden oluşmaktadır ve partiküller arası boyun kısımlarından kırılma bölgeleridir [44]. Şekil 9.b incelendiğinde partiküller arası kırılma bölgelerinin yanı sıra yer yer partikül içi gevrek kırılma (yarılma) bölgelerinin de (A bölgesi) diğer numunelerden farklı olarak mevcut olduğu görülmektedir [46]. Bu gevrek kırılma bölgeleri malzemenin yüksek TRS değerleriyle ilgili olmakla birlikte, aynı zamanda kırık yüzeylerinde daha çok sünek kopma bölgelerinin bulunduğu, bunun

nedeninin ise % 4'e ulaşan bakır ilavesi olduğu literatür ışığında söylenebilir [47].

Bakır oranındaki artışa bağlı TM malzemelerdeki sertlik ve çapraz kırılma mukavemetinin artmasının nedeni; bakırın ferritte maksimum çözülebilirliği % 1.5-2 Cu oranına kadardır, bu orandan fazla bakır ilavesi tipik olarak tane sınırları ve küçük gözeneklerde çöker. Bunun sonucunda partiküller arasındaki boyun bölgesinde gerilme konsantrasyonunu azaltan ve çatlak başlangıcını geciktiren küresel gözenek oluşumu ile sertlik ve mukavemet değerleri artmıştır [48].

3.2 Delinebilirlik Sonuçları (Drillability Results)

Delme esnasında dinamik kesme kuvvetlerinin dinamometre ile ölçümünden elde edilen kesme kuvveti verilerinden, eksenel kuvvetinin ortalama değerleri grafik Şekil 10.a)'daki delik yüzeylerinin ortalama pürüzlülük değerleri şekil 10.b' deki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 10. Bakır oranına bağlı olarak a) ortalama kesme kuvvetleri b) ortalama pürüzlülük değerleri (as depending on copper ratio) a) average cutting forces, b) average surface roughness values)

Şekil 10.a incelendiğinde aksenal kuvvetin bakır oranındaki artmaya bağlı olarak azaldığı görülmektedir. %1-%2 bakır oranı arasında kesme kuvvetlerinde yaklaşık %3'lük bir azalma gözlenirken, diğer bakır oranlarındaki kademeler arasındaki azalma yaklaşık % 10-12 mertebesinde olmuştur. %1 bakır içeren numuneler ile % 4 bakır içeren numuneler arasında ise kesme kuvvetlerinde toplam % 25 mertebesinde bir düşüş tespit edilmiştir. Bunun sebebinin gözenek çevrelerinde ve tane sınırlarında yoğunlaşan bakır miktarının deformasyonu kolaylaştırıcı bir etki sağlamasıyla olduğu düşünülmektedir [3]. Şekil 10.b'de pürüzlülük değerleri özellikle bakırın ferrite maksimum çözülebilirlik % 2 bakır oranından sonra düşmüştür. Bu durum özellikle %2 oranının üstünde bakır ilavesinin pürüzlülük üzerinde olumlu bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Artan bakır oranının kesme kuvvetlerinde ve yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olduğu literatürde de belirtilmektedir [3].

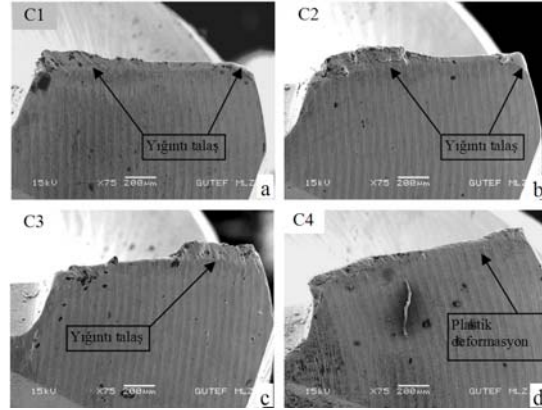
Matkap ucunun kesme kenarlarının serbest yüzeyinde ölçülen takım aşınmaları oldukça dağınıktır (Tablo 6). Bakır oranının artmasıyla matkapta oluşan serbest yüzey aşınma oranları arasında sistematik bir ilişki kurulamamıştır. Bakır oranı %1'den %2'ye arttığında aşınma azalma eğilimi gösterirken, bakır oranı %2'den %3'e arttığında aşınma değeri artmıştır. Bakır oranı %3'den %4'e arttığında ise aşınma tekrar azalma eğilimi göstermiştir. Ancak takım aşınma yüzeylerinin daha detaylı incelenmesi sonucu yüksek bakır oranındaki malzemelerde aşınma tipinin yığıntı talaş oluşumundan plastik deformasyon tipi aşınmaya doğru değiştiği söylenebilir. Özellikle Şekil 11.c ve d'de deformasyon sonucu kesme kenarlarında oluşan yuvarlaklaşma eğilimi görülmektedir. Kesici uçların tamamında yığıntı talaş oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 11).

Literatürde bakır oranındaki artmanın kesme kuvveti ve takım aşınmasına etkisinin, kombine karbon oranıyla bağlantılı olduğu vurgulanmaktadır [3]. Özellikle kombine karbon oranının % 0,5'in üzerine çıkması durumunda bakır oranına olan hassasiyetin arttığı belirtilmektedir. Bunun sebebinin de bakır oranının artmasıyla mikroyapıdaki ferritin daha sert bir yapıya kavuşmasıyla açıklanmıştır [29]

Talaş formunun incelenmesi sonucunda her bir numune için çıkan talaşların yaklaşık yarı yarıya kısa ve uzun olmak üzere iki tipte olduğu görülmüştür. C1 ve C2 numunelerde kısa talaşlar şerit şeklinde ve hafif yay şeklinde olurken, C3 ve C4 nolu numunelerde kısa talaşlar konik- helisel olarak biraz farklı formda olduğu belirlenmiştir. Uzun talaşların değerlendirilmesi aşağıda yapılmıştır. Bakır ilavesine bağlı olarak malzemelerin sünekliğinin (plastik şekil değiştirebilme) artmasıyla spiral şekilli ve sürekli talaş oluşumunun arttığı görülmektedir. Çünkü sürekli talaş genellikle nisbeten daha sünek malzemelerde

Tablo 6. Delik sayısına bağlı matkap ucundaki aşınma değerleri (wear rate on drill tip depending on drill number)

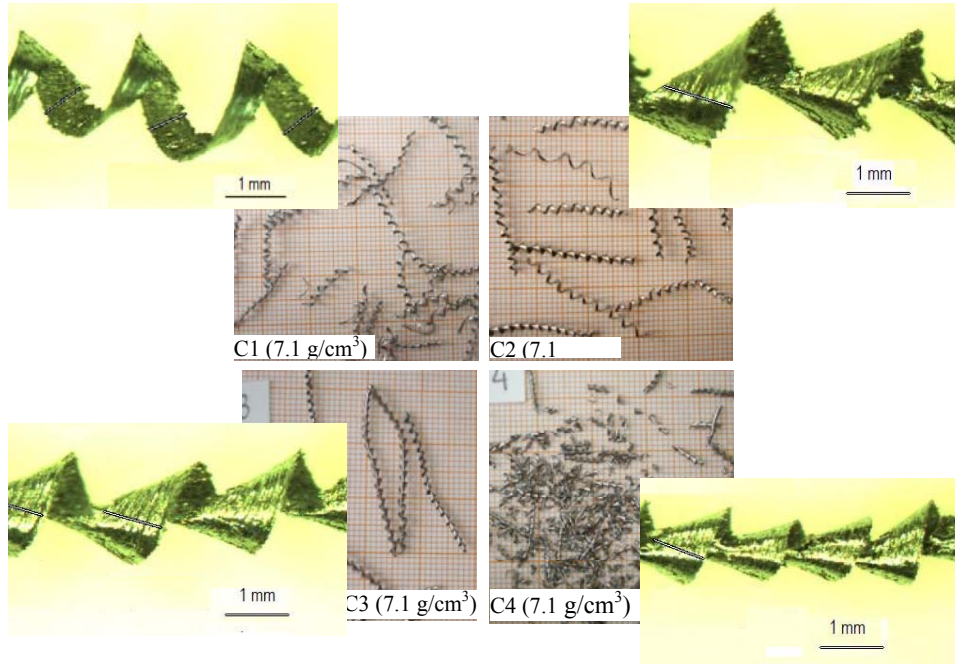
Malzeme	Delik Sayısına Bağlı Aşınma Miktarı, mm			
	20 Delik	60 Delik	80 Delik	100 Delik
C1	0,03	0,06	0,06	0,16
C2	0,05	0,06	0,10	0,14
C3	0,06	0,11	0,15	0,15
C4	0,05	0,10	0,08	0,13
BAZ	0,04	0,08	0,10	0,15



Şekil 11. Maksimum delikten sonra matkapın kesme kenarının SEM görüntüsü (SEM image of drill cutting edge after maximum hole number)

oluşmakta ve çatlak (fracture) olmadan plastik deformasyonla şekillenmektedir. Süreksiz talaş ise daha kırılğan malzemelerde oluşmaktadır [49]. Talaşların düşük bakır oranındaki malzemelerde yırtılma yüzeylerinin daha fazla olduğu, bakır oranı arttıkça yırtılma yüzeylerinin azaldığı ve daha düzgün ve düzenli talaş şekli görülmektedir. Bu ise talaşın oluşumu sırasındaki, özellikle C3 ve C4 numunelerindeki yüksek bakır oranının etkisiyle, plastik deformasyonun daha kolay olduğunu göstermektedir (Şekil 12).

Genel olarak TM numunelerde delme esnasında çıkan talaşları tanımlamak için ISO 3685-1977 (E) standardı esas alınmıştır. Ancak talaş formlarını tanımlayabilmek için, bu standarttaki temel tiplerinden en az ikisini birden kullanmak gerekmektedir. Örneğin Şekil 12'de verilen uzun tip talaşların standarta göre sınıflandırılması yapıldığında, C1 grubunda rondela-tip-helisel (washer-type helical chip) talaş ile konik-helisel (conical helical chip) tipi talaş arasında bir talaş formu görülürken, C2 grubundan itibaren talaş tipi konik helisel talaşa geçmekte, ancak talaş şeridinin dış kenarlarında yırtılma yüzeylerinin daha bozuk (gevrek yırtılma) olduğu görülmekte, C3 ve C4 grubunda ise talaş formunun konik-helisel tip talaş formunda ve talaş şeridinin dışa bakan kenarlarında daha düzgün bir form olduğu, C4 numunelerinde ise talaşın konik



Şekil 12. Dört grup malzeme için oluşan talaş formları (chip forms of four group materials)

kısımının daha uzun olduğu görülebilir. Buna göre talaş şeklindeki bu değişimin bakır oranına bağlı olduğu, bakır oranının artmasıyla spiral kıvrımlarının daha sıklaştığı %4 bakır oranında ise daha kısa aralıklarla kopma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca talaş formunun artan bakır oranıyla daha düzgün olduğu da söylenebilir. Böylece en iyi talaş C4 numunelerin delinmesinde oluşmuş olup daha sonra sırasıyla C3, C2 e C1 şeklinde sıralanabilir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSIONS)

Demir-esaslı standart bir TM malzemenin (FC-0208) içerisindeki bakır oranının değiştirilmesiyle, malzemenin bazı mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler ve bunlara bağlı olarak talaşlı işlenebilirliğinin incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Bakır oranındaki %1-4 arasındaki değişme mekanik özellikleri genelde olumlu yönde etkilemiştir. Bakır oranındaki bu artışla, en düşük ve en yüksek bakır oranındaki numunelerin mikrosertliğinde % 21'lik bir artma, TRS değerinde ise % 95 oranında bir artış görülmüştür.
- Bakır oranındaki artışla, talaşlı işlenebilirlik kriterlerinden yüzey pürüzlülüğü azalırken, kesme kuvvetlerinde artma, takım aşınmasında ise azalma eğilimi belirlenirken talaşın oluşumunun da olumlu yönde etkilendiği sonucuna varılmıştır. C4 grubunun en iyi işlenebilirliğe sahip olduğu söylenebilir.

iii. Bakır ilavesinin genel olarak demir-esaslı TM malzemelerin delinebilirliğini iyileştirdiği söylenebilir. Ancak bu iyileşme, yalnız bakır ya da kombine karbon oranı gibi kompozisyon ile ilgili parametrelere bağlı olduğu gibi, sinterlemeden soğutma hızı, sinterleme süresi gibi işlem parametreleriyle de ilişkisi vardır ve belli değerlerle sınırlıdır. Ayrıca delinebilirlikteki bu iyileşmenin sebebinin bakır oranının artmasına bağlı olarak deformasyon kabiliyetini iyileştirmesi, malzemenin süneklüğünde ve kayma gerinme oranındaki artma ve ısı iletim özelliğinin iyileşmesiyle ilişkili olduğu söylenebilir.

iv. Bakırın TM malzemelerdeki etkisi, eşdeğer tam yoğun malzemelerden farklıdır. bunun sebebinin, TM malzemelerde bakırın matris içerisinde homojen dağılmaması ve fazla bakırın genelde tane sınırlarında ve porozite bölgelerinde yoğunlaşarak kesme esnasında takım-talaş ara yüzeyinde adeta yağlayıcı etki yaparak işlemi kolaylaştırması olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Höganäs AB, "Material and Powder Properties Volume 1", **Höganäs Handbook for Sintered Components**, Sweden. 2004a.
- Benner, A., Beis, P., "Wear Aspects During Green Machining of Warm Compacted PM Steels", **Mat.-wiss. U. Werkstofftech**, 35, no.10/11, 663-669, 2004.
- Şalak, A., Selecká, M., Danninger, H., "Machinability of Powder Metallurgy Steels",

- Cambridge International Science Publishing**, 536., Cambridge UK, 2005.
4. Yılmaz, N., **Demir-Esashı TM malzemelerin Talaşlı İşlenebilirliği**, Doktora Tezi, S.D.U. Fen Bil. Enstitüsü, Isparta, 2006.
 5. Agapiou, J.S., DeVries, M.F., Machinability of Powder Metallurgy Materials, **The International Journal of Powder Metallurgy**, vol. 24, no 1, 47-57, American Powder Metallurgy Institute, 1988.
 6. Armarego, E.J.A., Shi, G., Verezub, S., Modelling the Basic Cutting Action and Machining Performance of Sintered Metallic Materials, *Machining Science and Technology*, 5 (3), 353-373, Marcel Dekker Inc., 2001.
 7. Smith, G.T., Surface Integrity aspect of Machinability Testing of Fe-C-Cu Powder Metallurgy Components, **Powder Metallurgy**, Vol. 33, No. 2, 157-164, 1990a.
 8. Smith, G.T., The Machining of P/M Components in a Flexible manufacturing Environment. **Proceedings of World Conference on Powder Metallurgy**, Vol.1, Wembley Conference Centre, London, 2-6 July, 1990b.
 9. Mazilu, D., Craciunoiu, N., Cialacu, F.G., "On the Cutting Forces and Tool Wear for some Powder Metallurgy Materials", **Proceedings of the SECTAM-XX.**, April 16-18, Callaway Gardens, Pine Mountain, GA, 2000.
 10. Romero, A., Vivancos, J., Sierra, C., Prado, J.M., "Rapid Characterisation of Machinability on PM Steel Parts", **PM World Congress Proceedings, Post Sintering**. EPMA, October 18-22, Granada-Spain, 1998.
 11. Roy, L.G., de Rege, A.F., Pease, L.F., 1988, "Relationship Between Machinability and Strength in a Prealloyed Manganese Sulfide Sintered Material", **Proceedings of Int. PM Conference**, Vol. 21, Ch. 7, Steps to Improve Machinability, APMI.
 12. Beis, P., Jager, H-J., Kutsch, U., "Heat Balance During Drilling of a Sintered Stainless Steel", **PM World Congress Proc., Post Sintering**, EPMA, October 18-22, Granada-Spain, 1998.
 13. Causton, R.J., Schade, C., Machinability: A Material Property or Process Response, P/M2 TEC 2003 World Congress, Las Vegas, 2003.
 14. Kutsch, U., Beis, P., Jager, J-J., "Effect of Density on Mechanical Properties, Thermal Conductivity and Machinability of Sintered Stainless Steels", **European Conference on Advances in Structural PM Component Production-Finishing**, Munich-Germany, October 15-17, EPMA, 1997.
 15. Fulmer, J.J., Blanton, M.J., "The Effect of Microstructure on the Machinability of an MPIF FC-0208 Copper Steel", **PM Conference&Exhibition**, 4, APMI, 1992.
 16. Nigarura, S., L'esperance, G., Roy, L.G., de Rege, A., Pease, L, F., "The Influence of Powder Processing on The Nature of Inclusions and Its Relation to The Machinability of MnS Prealloyed P/M Parts", **Proceedings of The PM Conference & Exhibition**, v.4, Secondary Operations, Quality and Standarts, APMI, 1992.
 17. Gülsoy, H. Ö., Uçar, M., Özcan, E., "Fe-Cu-C Kompaktlarına Katılan İlave C Miktarının İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisi", **Uluslararası katılımlı 2.Ulusal Toz Met. Konf. Bildiriler Kitabı**, s. 475-481, 15-17 Eylül 1999, ODTÜ, ANKARA, 1999.
 18. Hultman, L., Thoors, H., Sten, B., Influence of machining Parameters on the Machinability of Sintered Steels, **P/M2 TEC'96 World Congress**, Washington, 1996
 19. Gagné, M., Danaher, A., Influence of Drilling Parameters on the Machinability of P/M Materials, **P/M2 TEC 1998 World Congress**, Las Vegas, 1998.
 20. Engström, U., "Machinability of Sintered Steels", **Pov. Met.**, 26 (3), 137-143, 1983.
 21. Chopra, K.S., "Manganese Sulfide in Machining Grade Ferrous P/M Alloys", **Proceedings of Int. PM Conference**, Vol. 21, Ch. 7, Steps to Improve Machinability, APMI, 1988.
 22. Poirer, J.P., Gagne, M., "A New Approach to Improve Machinability of High Strength PM Parts", **Metal Powder Report**, Vol. 45, No.3, 184-186, 1990.
 23. Ambs, H.D., "Machinability Studies on Sintered Stainless Steels", **Proceedings of the 1991 Conference &Exhibition** Vol.3, Advances in PM, APMI, 1991.
 24. Madan, D.S., "Effect of Manganese Sulfide (MnS) on Properties of High Performance P/M Alloys and Applications", **Proceedings of The PM Conference & Exhibition**, v.4, Secondary Operations, Quality and Standarts, APMI, 1992.
 25. Chen, Y.T., Baudisch, R., Ceci, L. and Kiefer, R., "Free-Machining P/M Alloy Optimization using Statistical Analytical Techniques-The Effect of MnS Content and Particle Size", **Proceedings of The PM Conference & Exhibition**, v.4, Secondary Operations, Quality and Standarts, APMI, 1992.
 26. Madan, D.S., "Effect of Manganese Sulfide (MnS) on Properties of High Performance P/M Alloys and Applications", **Proceedings of The PM Conference & Exhibition**, v.4, Secondary Operations, Quality and Standarts, APMI, 1992.
 27. Causton, R:J., Machinability of P/M Steels, **Proceedings of Int. Conf. On P/M and Particulate Materials**, Seattle, Washington, US, 1995.
 28. Romero, A., Vivancos, J., Sierra, C., Prado, J.M., "Rapid Characterisation of Machinability on PM Steel Parts", **PM World Congress Proceedings, Post Sintering**, EPMA, October 18-22, Granada-Spain, 1998.

29. Blais, C., L'Espérance, G., Bourgeois., Characterisation of Machinability of Sintered Steels During Drilling Operations, **Pow. Metal.**, Vol.44, No1, 67-75, 2001 .
30. Causton, R.J., Role of Additives in PM Machining, **P/M2 TEC 2002 World Congress on PM and Particulate Materials**, June 16-21, Orlando, Florida, 2002.
31. Srivastava, A.K., "An Experimental Investigation on the Machinability of Powder Metal Steels", **Int. J. Precision Technology**, Vol. 1, No. 1, 11-20, 2007.
32. Johansson, R., " Different Methods To Improve of High Strength Sintered Steels", **Proceedings of Int. PM Conference**, Vol. 21, Ch. 7, Steps to Improve Machinability, APMI, 1988.
33. Chagon, F., Gagne, M., "Machining Sinter Hardenable PM Materials", **PM World Congress Proceedings**, Post Sintering, EPMA, October 18-22, Granada-Spain, 1998.
34. Cimino, T.M., Luk, S.H., Machinability Evaluation of Selected High Gren Strength P/M Materials, **P/M2 TEC World Congress on PM and Particulate Materials**, May 14-17, Seattle, Washington USA, 1995.
35. Causton, R.J., Machinability of P/M Steels, **Proceedings of Int. Conf. On P/M and Particulate Materials**, Seattle, Washington, USA, 1995.
36. Gagne, M., Chagnon, F., Enhancing the Machinability of Powder Forged Components. **PM World Congress Proceedings, Post Sintering**, EPMA, October 18-22, Granada-Spain, 1998.
37. Chagnon, F., Tremblay, L., St-Laurent, S., Gagné, M., Improving Gren Strength to Enable Gren Machining, **SAE, Technical Paper**, 01-0337, 1999.
38. Benner, A., Beis, P., Wear Aspects During Gren Machining of Warm Compacted PM Steels, **Mat.-wiss. U. Werkstofftech**, 35, no.10/11, 663-669, 2004.
39. Vaccari, J., "Improving Machinability of PM Parts", **Machine Shop Guide Web Archive**, March, 2000.
40. Berg, S., Machinability of Sintered Steels: Guidelines for Turning, Drilling and Tapping. **International Conferences on Advances in Powder Metallurgy &Particulate Metarials**, Proceedings, Vol. 2, MPIF/APMI, Chicago, USA, 1997.
41. Berg, S., Thorndenberg, H., "Cutting Data Recommendations for Turning of Various PM Materials using Different Tool Grade and Geometry Selections", **PM World Congress Proceedings, Post Sintering**, EPMA, October 18-22, Granada-Spain, 1998.
42. Höganäs AB, Machining Guidelines Volume 5. **Höganäs Handbook for Sintered Components**, Sweden, 2004b.
43. **MPIF Standart 35**, Materials Standarts for P/M Structural Parts. Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ., USA, 2000.
44. **ASM Metals Handbook**, Powder Metal Technologies and Applications Volume 7. ASM International, 1146. USA, 1998.
45. Mazilu, D., Craciunoiu, N., Cialacu, F.G., "On the Cutting Forces and Tool Wear for some Powder Metallurgy Materials", **Proceedings of the SECTAM-XX.**, April 16-18, Callaway Gardens, Pine Mountain, GA, 2000.
46. Chawla, N., Deng, X., Microstructure and Mechanical Behavior of Sintered Steels. **Materials Science & Engineering A**, 390, 98-112, 2005.
47. German, R.M., **Powder Metalurgy Science**, MPIF, 278. USA, 1984.
48. Brândușan, L., Researches Regarding the Influence of Cu Content on Static and Dynamic Properties of Sintered Steels. **Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies**, ISSN 1583-1078, Issue 4, January-June, 30-37, 2004.
49. Oxley, P.L.B., **The Mechanics of Machining: An Analytical Approach to Assessing Machinability**, Ellis Horwood Limited, England, 1989.

