

TOZ METAL ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Bekir Sadık ÜNLÜ*, **Naci KURGAN**

Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu MYO, Makina Bölümü, Turgutlu-Manisa

Selim Sarper YILMAZ

Erdemir Demir-Çelik İşletmeleri, Ereğli - Zonguldak

ÖZET

Toz metalürjisi metal tozlarının üretimi ve bu tozların mekanik ve termik etkilerle birleştirilerek parça hâline getirme işlemidir. Günümüzde, toz metalürjisi yöntemiyle parça üretimi çok yaygın olarak kullanılmakta ve giderek bilinen üretim yöntemlerine alternatif olmaktadır. Toz metalürjisi (T/M) yöntemiyle üretilmiş toz metal demir esaslı malzemeler endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemeler üretim sonunda hiçbir talaşlı işlem gerektirmeden son ürünün şeklini alması, kendinden yağlama özelliği olması nedeniyle yatak malzemesi olarak ve ayrıca tıp vb. endüstri uygulamalarında kullanılabilmesi açısından önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada, toz metal çeliklerin mikro yapı ve mekanik özellikleri açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Toz metalürjisi, mikro yapı, mekanik özellik.

Microstructure and Mechanical Properties of Powder Metal Steels

ABSTRACT

Powder metallurgy is a process of manufacturing parts using metal powders by applying mechanical forces and heat simultaneously. Today, manufacturing of part by powder metallurgy methods has widely applied and became gradually alternative to the other conventional production methods. Particularly, iron based parts manufactured by powder metallurgy (P/M) methods are extensively used by the industry. These parts are produced in near net shape with self-lubrication properties, requiring no machining, and used as journal bearing materials and in many different industrial applications including medical industry. In this study, the microstructure and the mechanical properties of steels powders were reviewed.

Keywords : Powder metallurgy, microstructure, mechanical property.

* İletişim yazarı

Geliş/Received : 08.11.2008

Kabul/Accepted : 03.01.2009

GİRİŞ

İleri bir imalat yöntemi olan “Toz Metalürjisi”, teknolojik malzemelerin üretilmesine çok uygun ve küçük parçaların çok sayıda ve ekonomik üretimini sağlayan bir yöntemdir. Toz Metalürjisi, "son şekle yakın üretim" süreçleri olarak sinterleme, sıcak presleme, sıcak izostatik presleme, toz metal enjeksiyonu, nano-parçacık teknikleri, mekanik alaşımlama gibi konularla sürekli büyüyen bir pazara hitap eden ileri teknolojilerden birisidir. Çok karmaşık şekilli ürünlerin daha kolay bir şekilde elde edilmesinde uygulanan bir teknolojidir [1].

Prensip olarak, toz metalürjisi metal tozların uygun basınçlarda preslenmesi ve sonrasında fırınlanmasından oluşan parça üretim yöntemidir. Bu yöntem, parçaların doğrudan şekillenmesini sağlayan bir teknolojidir. Karıştırma, presleme, sinterleme ve sinterleme sonrası işlemlerden oluşur. Bu yöntem, aynı zamanda mekanik ve termik etkilerle birleştirilerek parça hâline getirme işlemidir. Bu yöntemde işlem sırası toz şeklindeki malzemelerin preslenerek ön şekillendirilmesi, yüksek sıcaklıklarda ve koruyucu atmosfer ortamında sinterlemeden oluşur. Sinterleme sırasında preslenmiş tozlar yayılma ile bağlanarak parçanın dayanımının artması sağlanır. Ayrıca, toz metalürjisi metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde de kullanılmaktadır. Kompozit malzeme üretiminde ise ana kütleyi oluşturan matris toz taneleri bir güçlendirici toz ile takviye edilir [1-3].

Toz metalürjisinin en önemli avantajlarından birisi karmaşık şekilli parçaların son şeklinde üretimine elverişli olmasıdır. Üretimden sonra da talaşlı işleme ve ısıtma işleme de olanak sağlamaktadır. Ayrıca, ilave edilen tozlarla ve bazı ısıtma işlemlerle talaşlı işleme ve mekanik özellikler iyileştirilir [4, 5]. Toz metalürjisi sıvı fazda hiç çözünmeyen elementlerden mekanik alaşımlama ile yüksek dayanımlı parça üretimine imkan verdiği gibi, miknatıs, filtre, kesici takım uçları, kontaktörler, kendinden yağlamalı yataklar vb. birçok özel doku ve yapıdaki parçalarında en uygun üretim yöntemidir [2, 3, 6]. Bu çalışmada, toz metal çeliklerin mikro yapı ve mekanik özellikleri belirtilmiştir.

TOZ METALURJİSİ

Toz metalürjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilmesi, toz metalürjisi yöntemini cazip kılmaktadır. Toz metalürjisi farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal

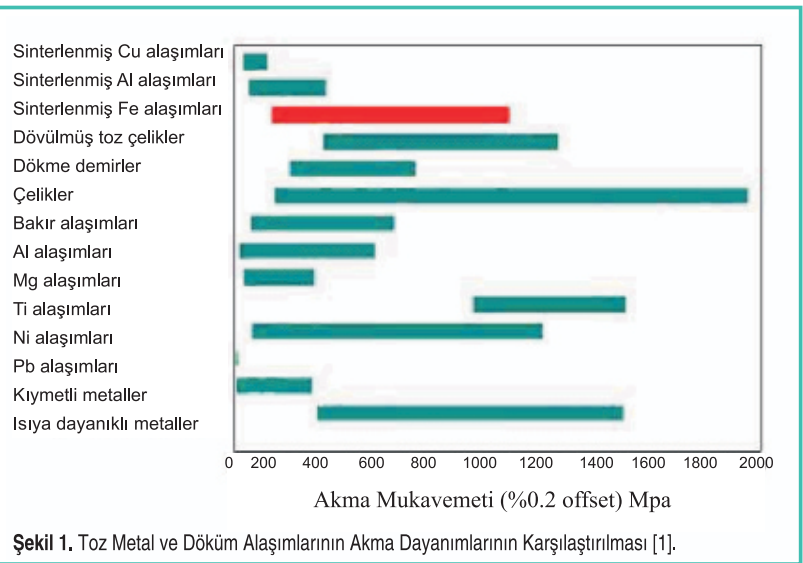
tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıtma bağlanması basamaklarını içerir. Toz metalürjisi diğer üretim yöntemlerine nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip seri üretimde verimli kullanılır. Sahip olunan bu özellikler ile Toz metalürjisi verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüzün sorunlarını ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, toz metalürjisi konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme işlemlerinin yerini almaktadır [1].

Metal Tozlarının Özellikleri

Sinterlenmiş malzemelerin özellikleri birçok faktöre bağlıdır ve özel talepleri karşılamak için optimize edilebilir. Belirli bir uygulama için bir malzeme seçiminde, kimyasal bileşim ve parçaların yoğunluğu dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Kimyasal bileşim ve mekanik özellikler sinterlenmiş makine parçalarının özelliklerini belirlemede yaygınca kullanılan faktörlerdir. Toz metal parçaların mekanik özellikleri gözeneklerin varlığından dolayı düşer. Çekme mukavemeti ve sertlik gözenek miktarı ile doğrusal olarak düşerken, % uzama ve darbe enerjisi % gözenek miktarına daha hassastır. Mekanik özellikler, parçalar için

Tablo 1. Tozun Önemli Özellikleri ve Etki Ettiği Bazı Faktörler [10].

Önemli Özellikler	Etkisi
Tozun boyutu (partikül boyutu)	Görünen (ham) yoğunluk
Boyut dağılımı	Akış davranışı
Toz şekli (partikül şekli)	Ham dayanım
Kimyasal kompozisyon	Sıkıştırılabilirlik
Yüzey özellikleri	Sinterleme
Mikro yapı	Şekillendirilebilirlik, tokluk



Şekil 1. Toz Metal ve Döküm Alaşımlarının Akma Dayanımlarının Karşılaştırılması [1].

zorunlu değerler veya tipik değerler olarak verilirler. Toz metalürjisi ile üretilen parçaların özelliklerini büyük oranda bu parçaların üretiminde kullanılan tozların sahip olduğu özellikler belirlemektedir. Bu nedenle tozların özelliklerinin önemi ve aldıkları rolün iyi anlaşılması ve bazı uygun karakterizasyon metotlarının uygulanması önemlidir. Bu özellikler: toz akıcılığı, görünür yoğunluk, titreşimli yoğunluk ve sıkıştırılabilirliktir [1, 7-10]. Bu özellikler ve etkidığı faktörler Tablo 1' de verilmiştir [10]. Ayrıca, sinterlenmiş toz metal ve döküm alaşımlarının mekanik özelliklerinden akma dayanımlarının karşılaştırılması Şekil 1' de verilmiştir [1].

Metal Tozlarının Karakterizasyonu

Toz partikülleri tek bir taneden oluşur. Taneler düzenli kristal yapıda olabilecekleri gibi amorf yapıda da olabilir. Taneler tek kristalli tek bir tane yapısında olabileceği gibi çok kristalli tane yapısına sahip olabilir. Toz taneleri bazen ikincil taneler oluşturabilir. Bu ikincil tane oluşumuna aglomerasyon denir ve daha çok kontrol edilemeyen toz üretim süreçlerinde istem dışı oluşur. Aglomerasyon, birden çok partikülün katı hâlde tek yapıda bir arada bulunmasıdır. Partiküller bir birlerine zayıf bağlanmış ise aglomer, güçlü bir şekilde bağlanmışlarsa sert-aglomer yani agreget denir [1, 7-10].

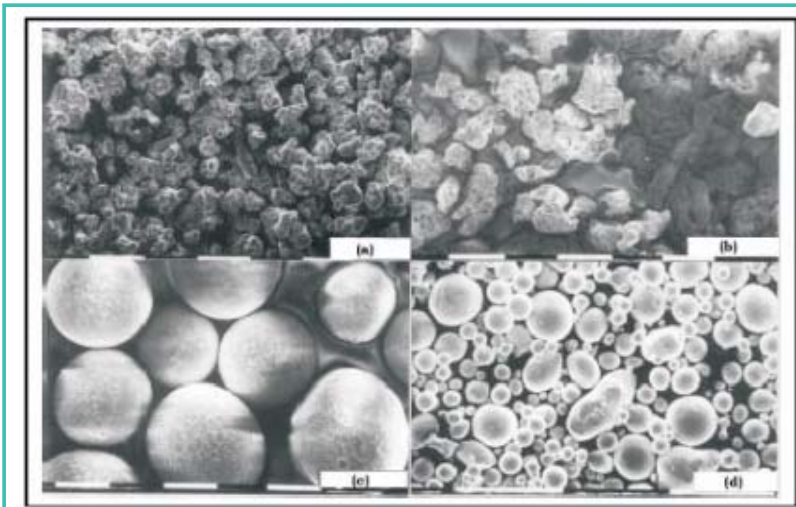
Tozların karakterizasyonunda önemli bir özellikte toz boyutudur. Toz boyutu daima uzunluk birimi olarak belirtilir. Birçok metal ve seramik tozları bir mikrondan birkaç yüz mikrona kadar değişen boyutlarda bulunur. Kırk mikron altı (<40 µm) tozlar elek altı tozlar olarak nitelendirilir ve tozların kuru olarak elenebilen minimum boyutudur. Şayet boyutla bağlantılı fiziksel bir tanımlama yapılacaksa toz şekli tanımlanabilir. Toz şekli önemli bir özellik olup uluslararası standartlarda basit niceleyici karakterizasyonla dentritik, çubuksu, yassı-tabakamsı, lifsi, küresel, açılı, düzensiz şekilli

ve granül olarak nitelendirilmiştir. Tozun boyutla ilgili özellikleri iki faktör ile belirlenir: Birincisi geometrik olarak şekli ve ikincisi ise bu faktörün istatistiksel dağılımı yani toz boyutu dağılımıdır [1, 7-10]. Şekil 2' de demir ve bakır esaslı toz taneleri gösterilmektedir [10].

Mikro Yapı ve Mekanik Özellikler

T/M çeliklerin mikro yapıları alaşımlama tekniğine ve üretim yöntemine bağlıdır. Elde edilen mikro yapı, kimyasal bileşime ve mevcut fazlara göre homojen veya heterojen olabilir. Mikro yapının homojen/heterojen olmasının yorulmaya nasıl etki edeceği konusunda görüş birliği yoktur. Klasik metalürji bilgisine göre homojen yapı istendiğinden önceden-alaşımli çelikler tercih edilir. Ancak pek çok araştırmacıya göre heterojen yapıların her elemanı birbirini destekleyeceğinden (kompozitler gibi) performansı da arttıracaktır [11-13]. Toz metal çeliklerin mikro yapılarına ve gözenek morfolojisine alaşımlama tekniğinin önemli etkisi vardır. Dört farklı şekilde çelik alaşımlama tekniği vardır. Bunlar;

1. **Karıştırma:** Alaşım elementleri baz olarak kullanılan demir tozuna element tozu veya ferro-alaşım tozu olarak katılır. Bu yöntem hem ucuzdur hem de çok kullanılmaktadır.
2. **Kısmen alaşımlama (Difüzyon Alaşımlaması):** Alaşım elementleri baz demir tozuna difüzyon ile kısmen yayılırlar. Bu tip çelik tozlarının preslenirliği iyidir.
3. **Önceden-Alaşımlama:** Alaşımli sıvı çelikten atomizasyon ile alaşımli çelik tozu elde edilir. Kimyasal bileşim ve mikroyapı homojendir. Molibdenli çeliklerden preslenirliği çok iyi olan alaşımli çelik tozları üretilmektedir.
4. **Hibrid (Melez) Alaşımlama:** Önceden alaşımli veya kısmi alaşımli çelik tozlarına element veya ferro-alaşım tozları ilave edilir. Böylece üretilen toz metal çeliğin mukavemeti ve sertleşebilirliği artırılmış olur [14].



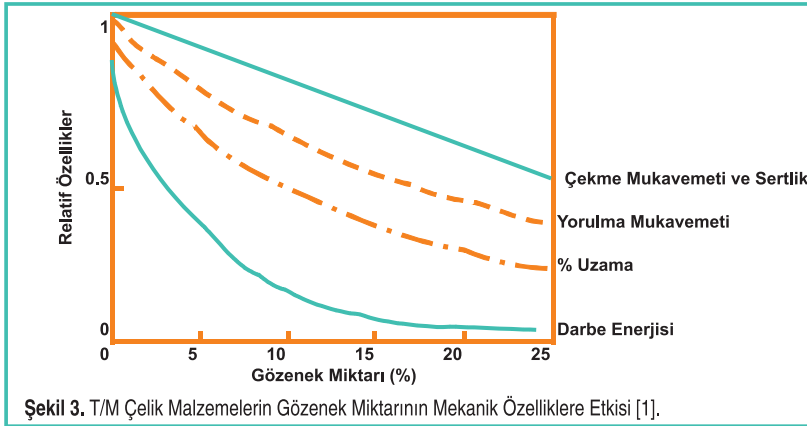
Şekil 2. Demir ve Bakır Esaslı Toz Taneleri a) demir I, b) demir II, c) bronz, d) bakır [10].

Çelik tozlarının preslenebilirliği çok önemlidir. Önceden-alaşımli çelik tozlarının preslenebilirliği saf demire ve difüzyon alaşımli çelik tozlarına göre düşüktür. Tozlarda bulunan oksijen miktarı da çok önemli olup, sinterleme işlemi sırasında atılabilmelidir [7]. Daha yüksek mekanik özellikler elde etmek için toz metal parçalar alaşımlandırılarak üretilmektedir. Alaşımlandırma tekniği, toz karakteristikleri ve presleme şekilleri yağlama, aşınma ve mikro yapı özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir

[15, 16]. Üretilen toz metal parçaların mekanik özellikleri kimyasal bileşimine, kalıcı gözenek miktarına ve dağılımına, gözenek tipine, büyüklüğüne ve şekline bağlıdır [17-19].

Toz metal parçalarda gözenek miktarı düştükçe yorulma dayanımının yanı sıra diğer bütün mekanik özellikler de iyileşir. Ancak düşük parça yoğunluklarında toplam gözeneklilik miktarı ana faktör olarak gözlenirken, yüksek yoğunluklarda gözenek boyutu, şekli ve dağılımı ile birlikte matris malzeme mikro yapısı daha önemli faktörler olarak önem kazanır. Toz metalürjisi yöntemleri ile üretilen kalıcı gözenekli sıradan makine parçalarının toklukları yeteri seviyede olmadıkları gibi mukavemetleri de ancak döküm malzemelerin mukavemet değerleri mertebesinde olabilir. Bundan dolayı makina parçası olarak kullanıldıklarında çelikler kadar dayanıma sahip olmaz [20-25]. Toz metal malzemelerin gözenek miktarının mekanik özelliklere etkisi Şekil 3'te gösterilmiştir [1].

Otomotiv endüstrisinde yer alan bazı parçalarda toz metalürjisi ile üretilen Fe-Cu-C esaslı malzemeler kullanılır [26]. Toz metal malzemelerin mekanik ve mikro yapı özellikleri sinterleme sıcaklığına, presleme basıncına, yapı içerisindeki gözeneklilik yapısına bağlı olarak değişir [27-29]. Sinterleme sonrası bu malzemelere, ısıtma işlemi yapılabilmekte ve ısıtma işlemi sayesinde malzemelerin mikro yapısı, kırılma tokluğu ve sertlik değerleri değişir [26]. Presleme basıncının artmasıyla, gözeneklilik azalır ve çekme dayanımı artar. Çekme deneylerinde, elde edilen mukavemet değerleri, karışım içerisindeki, Cu, C ve mangan oranlarının artışı ile artmaktadır. Ayrıca, karışım içerisindeki bu elementlerin varlığı sertliği de

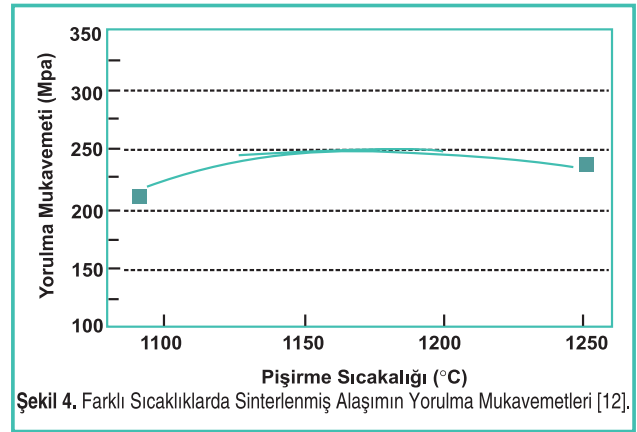


Şekil 3. T/M Çelik Malzemelerin Gözenek Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi [1].

artırmaktadır. Kırılma tokluk değerleri ise sertlik ve çekme dayanımına bağlı olarak azalmaktadır [30].

Mekanik özelliklerden, toz metal çeliklerin yorulma özelliklerini en etkili sınırlayıcının gözenekler olduğu herkes tarafından kabul görmektedir. Yorulma özelliklerini

geliştirmek için amaç yoğunluğu arttırmak olmalıdır. Gözenekler küçük ve homojen bir dağılıma sahip olmalıdır. Alaşım tasarımı oksitlerin sinterleme sırasında indirgenmesine müsaade etmeli ve küçük gözenek oluşturmalıdır. Yüksek sıcaklıkta sinterleme küçük gözenekleri yok etme, kalan gözenekleri küreselleştirme ve çeliği homojenleştirmede gereklidir. Ilık presleme ile 7.4 g/cm³ yoğunluğa tek presleme ve sinterleme ile çıkmak mümkündür. Böylece pahalı ve pratik olmayan çift presleme ve çift sinterlemeden kurtulmuş olunur. Yüzeydeki veya yüzeye açık gözenekler daha çok tehlikelidir. Bu sebeple yüzey plastik deformasyon yöntemleri, yüzey sertleştirme yöntemleri ve kaplama teknikleri daima faydalıdır [21].



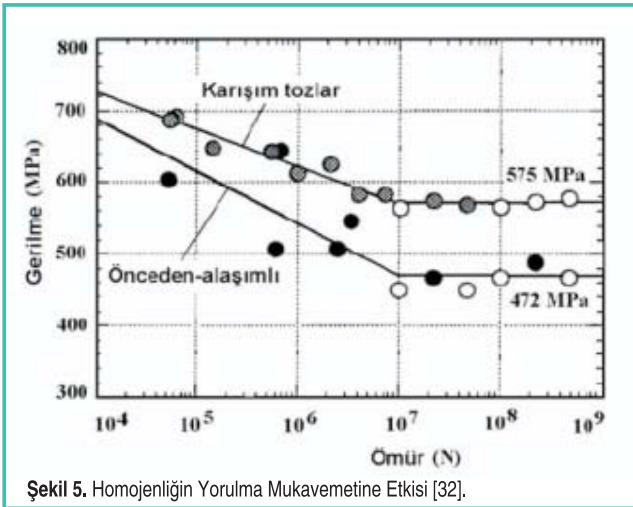
Şekil 4. Farklı Sıcaklıklarda Sinterlenmiş Alaşımın Yorulma Mukavemetleri [12].

Malzemelerin yorulması çok karmaşık bir olay olup pek çok faktörden etkilenir. Bu faktörler; gözenek, mikroyapı, yüzey kalitesi, kalıcı gerilmeler ve dış çentiklerdir [21]. Toz metal çeliklerin yorulma özelliklerine öncelikle gözenek morfolojisi etki eder ve kimyasal bileşim fazla etkilemez. En yüksek yorulma mukavemeti; sertleştirilmiş-menevişlenmiş ve içinde serbest nikel bulunan çeliklerde elde edilmiştir. Böylece, karışım, difüzyon alaşımlama ve melez alaşım teknikleri tercih edilir. Gözenekler gerilme biriktirici olarak hareket edebilirler; ancak gözeneklerin şekil ve büyüklükleri değiştirilerek yorulma mukavemeti geliştirilebilir. Mikro yapının homojen veya heterojen olması da yorulma performansına etki eder [12, 21, 31].

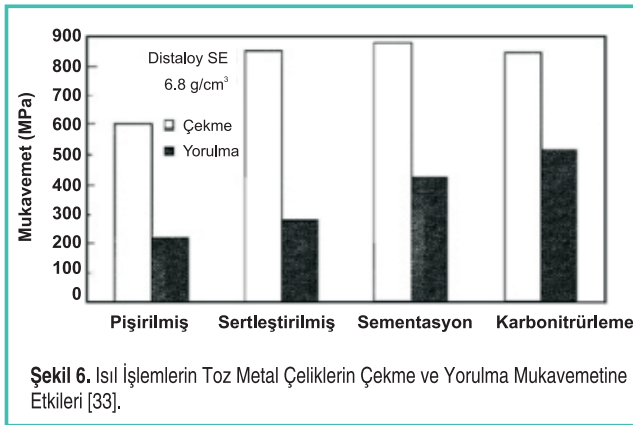
Toz metal çeliklerin mikro yapıları sinterleme şartlarını değiştirerek geliştirilebilir. Lindqvist, çelik tozundan % 0.5 grafit ekleyerek yorulma numuneleri üretilip, 600 MPa basınçta presledikten sonra 1090 °C, 1120 °C ve 1250 °C sıcaklıklarda 30 dakika sinterlemiştir. Sinterlenmiş mikro yapılar martenzit,

beynit ve kalıcı östenitten oluşmuştur. 1250 °C'de yüksek sıcaklık sinterlemesi en fazla martenzit yapıyı oluşturmuştur [12]. Şekil 4'de farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş alaşımın yorulma mukavemetleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 1250 °C'de sinterlenmiş numunelerin yorulma mukavemeti 1120 °C'de sinterlenmişlerden daha düşüktür. Yüksek sıcaklıkta sinterleme homojenliği arttırmasına, küçük gözenekleri yok edip büyük gözenekleri küreselleştirmesine rağmen yorulma mukavemeti daha düşüktür. Yazar bu durumu martenzitin gözeneklere olan hassasiyetinin fazla olması ile izah etmiştir.

Baba ve arkadaşları da, toz enjeksiyon kalıplama ile 4600 çeliği tozundan farklı alaşımlama teknikleri ile malzeme üretmişlerdir [32]. 1150 °C'de sinterlemeden sonra sertleştirilip ve menevişlenen çeliklerin S-N grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Karışım tozlardan üretilen çeliğin yorulma mukavemeti önceden-alaşımli tozdan üretilenden % 22 daha yüksektir. Önceden-alaşımli çeliğin yapısı martenzit iken karışım tozlardan üretilen çeliğin yapısında martenzit, kalıcı-östenit ve nikel zengin alanlar vardır.



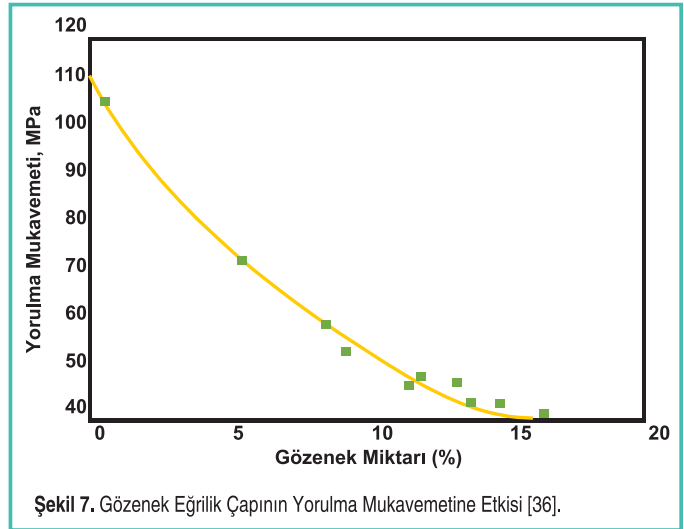
Şekil 5. Homojenliğin Yorulma Mukavemetine Etkisi [32].



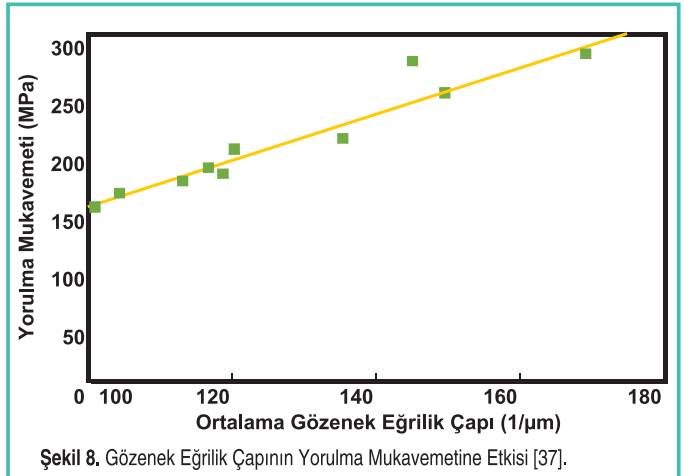
Şekil 6. Isıl İşlemlerin Toz Metal Çeliklerin Çekme ve Yorulma Mukavemetine Etkileri [33].

Sertleştirme, yüzey sertleştirme, yüzeyde deformasyon oluşturma, yüzey bitirme ve kaplama yöntemleri gibi her türlü ikincil işlemler yorulma davranışına oldukça etki ederler [12, 13]. Makina parçası eksenel yüke maruz kalacak ise (biyel kolu gibi) bütün kesitte sertleştirme yapılır. Parça yüzeysel yüklere maruz kalacak ise (dişli çarklar gibi) yüzey sertleştirme uygulanır. En yüksek yorulma mukavemeti daima sertleştirilmiş ve menevişlenmiş yapıda elde edilmektedir. Toz metal çeliklere, çeşitli şekillerde yüzey sertleştirme işlemleri uygulanabilir [33, 34]. Ancak, toz metal çeliklerde, gözenekli olduklarından 7.2 g/cm³ yoğunluk altında sertleşme derinliğini kontrol etmek zordur. Bas, yaptığı çalışmada; Distaloy SE çeliğini 6.8 g/cm³ yoğunlukta çeşitli yüzey sertleştirme işlemleri uygulayarak, Şekil 6'da verilen değerleri elde etmiştir [33]. Çekme mukavemeti önemli ölçüde değişmemesine rağmen yorulma mukavemetini sementasyon % 60 ve karbonitrürlenme % 100 artırmıştır.

Toz metal çelikler için yorulma mukavemetinin yoğunlukla



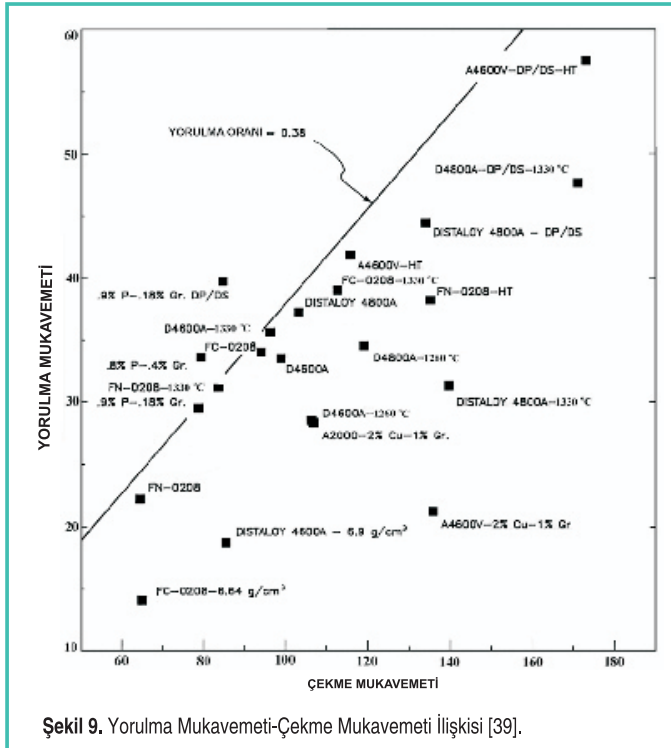
Şekil 7. Gözenek Eğrilik Çapının Yorulma Mukavemetine Etkisi [36].



Şekil 8. Gözenek Eğrilik Çapının Yorulma Mukavemetine Etkisi [37].

doğru orantılı olarak arttığı bütün araştırmacıların ortak görüşüdür [35]. Şekil 7'de görüldüğü gibi, gözenek büyüklüğünün de yorulma mukavemetine etki ettiği ve boyut arttıkça, mukavemetin düştüğü deneysel çalışmalarla gösterilmiştir [36]. Şekil 8'de görüldüğü gibi gözeneklerin küreselleştirilmesi yorulma mukavemetini artırır. Çatlak ilerlemesinde belirtildiği gibi toz metal malzemenin yoğunluğunu artırıcı her yöntem yorulma mukavemetini artırır. Böylece; yüksek presleme basınçları, küçük toz boyutu ve alaşım ilaveleri sıvı-fazlı sinterleme ile gözenekleri doldurma, yüksek sıcaklıkta sinterleme ile küçük gözeneklerin difüzyonla kaybolması, büyük gözeneklerin küreleşmesi ve yüzey tabakalarının plastik deformasyonla yoğunlaştırılması ve faydalı kalıcı gerilme oluşturma yöntemleri de yorulma mukavemetini artırır [37, 38].

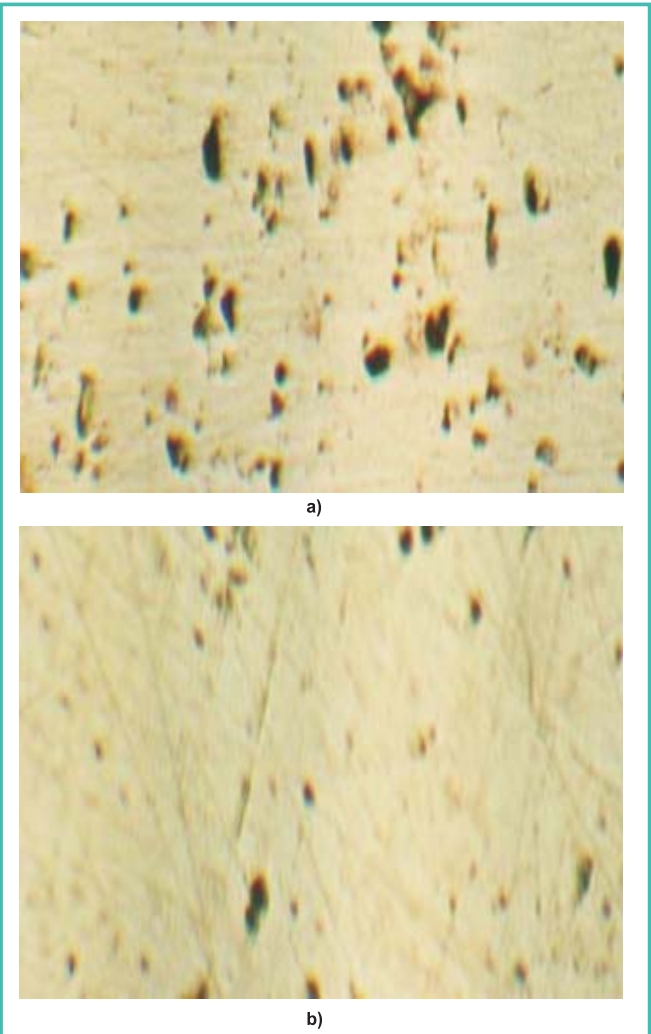
Toz metallerin doğal özelliği, gözenekli olmasıdır. Gözenekler gerilme yığılmasına yol açtığından çatlaklar için öncü olabilirler. Tam yoğun toz metal çeliklerin bile, çok az miktardaki kalıcı gözeneklerden dolayı, özellikleri düşüktür [14]. Şekil 9'da çeşitli toz metal çelikler için, yorulma ve çekme mukavemetleri karşılaştırılmıştır. (FN-0208 (1120 °C sinterleme), FN-0208 (1330 °C sinterleme) ve FN-0208-HT). Değerler oldukça geniş dağılım gösterir. Yorulma oranı, yorulma mukavemeti/çekme mukavemeti, 0.16 ile 0.47 arasında değişir. Döküm-hadde yüksek mukavemetli çelikler



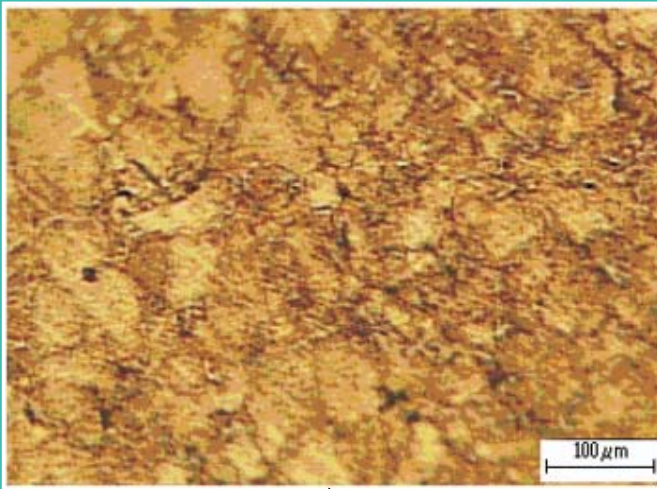
Şekil 9. Yorulma Mukavemeti-Çekme Mukavemeti ilişkisi [39].

için (>1000 MPa) yorulma oranı 0.50 olarak kullanılır [39]. Geniş dağılımın ana sebebi çekme özelliği gözeneklilikten fazla etkilenmez iken yorulma özelliğinin oldukça etkilenmesidir. Toz metal çelikler için yorulma oranının 0.38 olarak alınabileceği belirtilmesine rağmen fikir fazla destekçi bulmamaktadır [40].

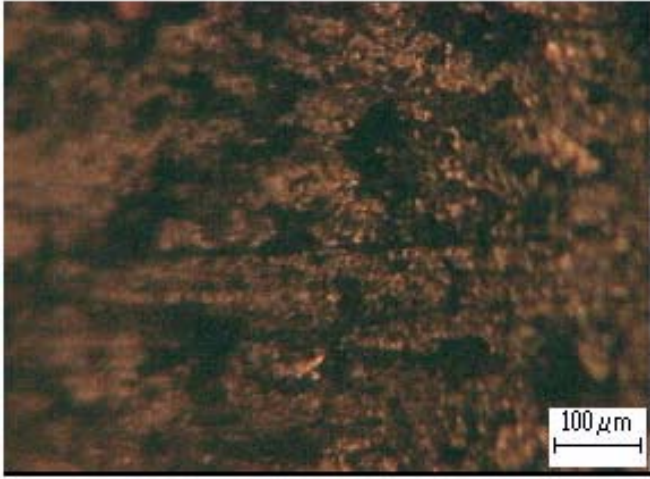
Şekil 10'da farklı basınçlarda sinterlenmiş FeCuMn-C toz metal çelik malzemenin mikro yapısı gösterilmiştir. Yüksek basınçta sinterlenen malzemede daha az gözenekli yapı oluşmuştur. Şekil 11'de ise çeşitli toz metal çelik malzemelerin optik-mikro yapıları gösterilmiştir. Şekil 12'de ise çeşitli toz metal çelik malzemelerin SEM mikro yapıları gösterilmiştir. Bu mikro yapı görüntülerinde toz metal çelik malzemelerin gözenekli ve karakteristik mikro yapıları görülmektedir.



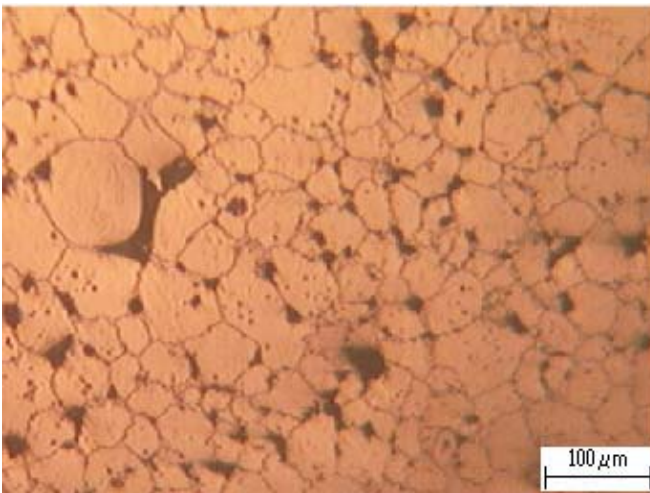
Şekil 10. a) 300 MPa, b) 510 MPa Basınçta Sinterlenmiş Fe-Cu-Mn-C Toz Metal Çelik Malzemenin Mikro Yapısı (x 100) © [30].



a)

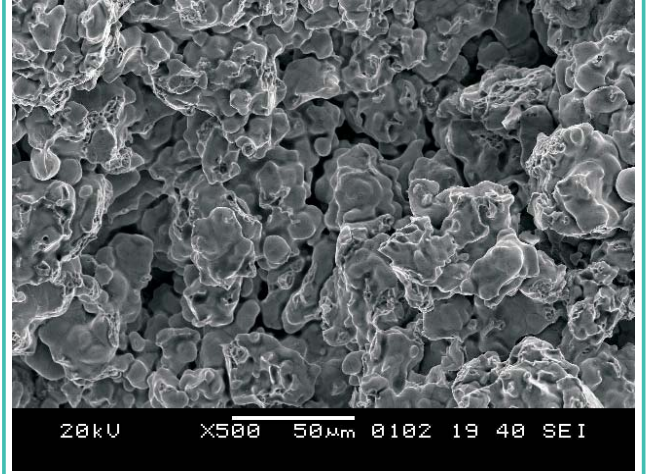


b)

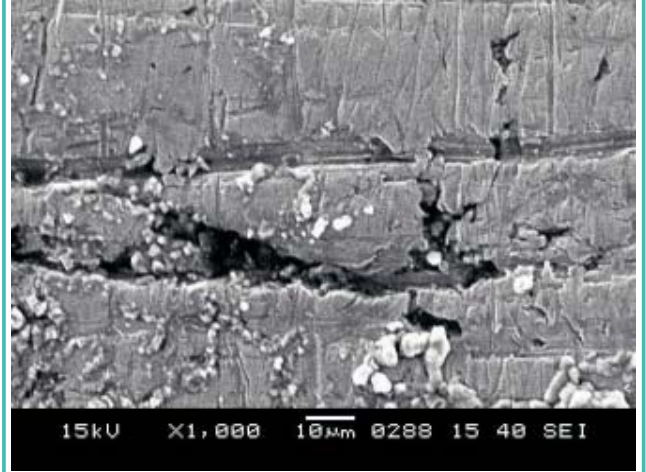


c)

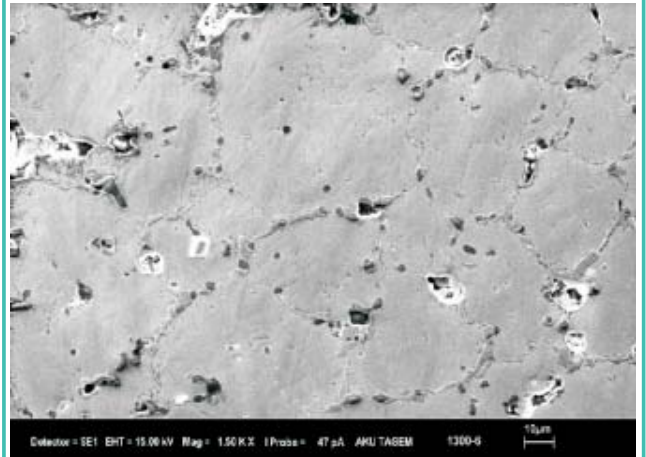
Şekil 11. a) FeCu-C toz metal çelik malzemenin mikro yapısı (x 200),
b) Fe-C toz metal çelik yatağın aşınma yüzeyi mikro yapısı (x 100),
c) SAE 304 toz metal paslanmaz çeliğin mikro yapısı (x 200) © [3, 6, 8].



a)



b)



c)

Şekil 12. a) FeCu-C toz metal çelik malzemenin çekme kırılma yüzeyi SEM mikro yapısı (x 500),
b) Fe-C toz metal çelik yatağın aşınma yüzeyi SEM mikro yapısı (x 1000),
c) SAE 304 toz metal paslanmaz çeliğin SEM mikro yapısı (x 1500) © [3, 6, 8].

SONUÇ

Toz metalürjisi yöntemiyle parça üretimi günümüzde çok yaygın olarak kullanılmakta olup, giderek bilinen klasik üretim yöntemlerine alternatif olmaktadır. Bu öneminden dolayı, toz metalürjisi (T/M) yöntemiyle üretilmiş toz metal parçalardan özellikle çelik malzemeler endüstrisinin birçok alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemeler üretim sonunda hiçbir talaşlı işlem gerektirmeden son ürünün şeklini alması nedeniyle dişli, mıknats, filtre, kesici takım uçları gibi toz metal çelik küçük makine parçaları ve gözenekliliğinden dolayı kendinden yağlama özelliği olması nedeniyle demir esaslı yatak malzemesi olarak kullanılabilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, toz metalürjisi, metal tozların özellikleri, karakterizasyonu, mikro yapı ve mekanik özellikleri belirtilerek, endüstride daha iyi tanıtılması ve daha uygun olan kullanım alanlarında seçiminin yapılabilmesi sağlanmıştır.

KAYNAKÇA

1. **TTMD - Türk Toz Metalürjisi Derneği Online Yayını**, "Toz Metalürjisi", Türk Toz Metalürjisi Derneği, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, www.turktoz.gazi.edu.tr, Ankara, 2003.
2. **Ünlü, B. S., Yılmaz, S. S., Kurgan, N.** "Toz Metalürjisi ve Kullanım Alanları", Makina Tek, Sayı. 99-100, Sayfa. 108-112, ve 138-141, Ocak-Şubat 2006.
3. **Yılmaz, S. S.** "Demir Esaslı T/M Parçaların Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", "Doktora Tezi, C. B. Ü. Fen Bil. Enst., 2004.
4. **Kumru, N., Tekin, A., Şahin, S.** "Toz Metalürjisi Uygulamaları", Metal Dünyası, Sayı. 124, Sayfa. 76-79, Eylül 2003.
5. **Gülsoy, H. Ö., Salman, S.** "Toz Metalürjisi Ürünü FeCu-C ve Fe-Cu Parçaların İşlenebilirlik Özelliklerinin Delme Testi ile Belirlenmesi", Metal Dünyası, Sayı. 125, Sayfa. 91-94.
6. **Ünlü, B. S.** "Kaymalı Yataklarda Tribolojik Özelliklerin ve Borlanmış Demir Esaslı Malzemelerin Yatak Olarak Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, C. B. Ü. Fen Bil. Enst., Manisa, 2004.
7. **Sarıtaş, S.** "Toz Metalürjisi", Makine Mühendisleri El Kitabı, Cilt 1-2. Baskı, s. 64-82, MMO, Ankara, 1994.
8. **Kurgan, N.** "T/M Paslanmaz Çelik İmplantların Üretimi ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma", Doktora Tezi, C. B. Ü. Fen Bil. Enst., Manisa, 2005.
9. **Karataş, Ç.** "Metal Tozu Üretim Teknikleri ve Tozların Özellikleri", MATİK '97 Makine Tasarım Teorisi ve Modern İmalat Yöntemleri Konferansı, G. Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, s. 389-396, 15-16 Eylül 1997, Ankara.
10. **Kurt, A. O.** "Toz Üretim Yöntemleri ve Sinterleme", Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders notları, s. 1-2, 16, 25, Sakarya, 2004.
11. **Andersson, O., Lindqvist, B.** "Benefits of Heterogeneous Structures for the Fatigue Behavior of PM Steels", Metal Powder Report, vol. 45, No. 11, pp. 765-768, 1990.
12. **Lindqvist B.** "Fatigue of P/M-Materials: Present Status and Future Possibilities", Hoganas Internal Information, No. P/M'91-4, pp. 11, 1991.
13. **Sonsino, C.M.** "Influence of Homogeneity on the Fatigue Properties of Sintered Steels", Int. J. Powder Metallurgy, vol. 20, No. 1, pp. 45-50, 1984.
14. **James, W. B.** "Effect of Alloying Methods on Thermal Processing and Properties of Ferrous Materials", Industrial Heating, vol. 59, No. 6, pp. 34-39, 1992.
15. **Ekşi, A., Kurt, A.** "Metal ve Seramik Tozların Bilgisayar Kontrollü Tek Eksenli Kalıpta Preslenmesi", Ankara ODTÜ, II. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı, s. 557-565, 1999.
16. **Kurt, A.** "Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerinin Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, G. Ü., Fen Bil. Enst., Ankara, 1992.
17. **Demir, A., Sarıtaş, S.** "Toz Metal Çeliklerin Mekanik Özellikleri", Isparta A.Ü. Müh. Fak. Mak. Müh. Dergisi, Sayı.7, s. 1-13, 1993.
18. **Varol, R., Sarıtaş, S.** "Bilyalı Dövme İşleminin Demir Esaslı T/M Parçaların Yorulma Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması", Ankara G. Ü. I. Ulusal Toz Metalürjisi Konf., s. 407-418, 1996.
19. **Bradury, S.** "Powder Metallurgy Equipment Manual-3", N. Jersey, Powder Metallurgy Assoc., pp. 191, 1996.
20. **Sarıtaş, S.** "Fatigue of Surface Treated Powder Forged Steels", Heat Treatment 81, The Metal Society, s. 147-157, Birmingham, 1981.
21. **Sarıtaş, S.** "Toz Metal Çeliklerin Yorulma Özellikleri", 3rd International Powder Metallurgy Conference, September 4-8, Turkish Powder Metallurgy Association, Gazi University, pp.1207-1220, Ankara, Turkey, 2002., ve Mühendis ve Makina, Sayı. 517, 2003.
22. **German, R. M.** "Powder Metallurgy Science", Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, USA, pp. 203-204, 334-335, 1984.
23. **Douib, N.** "Fatigue of Inhomogeneous Low Alloy P/M Steels" P/M, Vol. 32, No: 3, pp. 209-214, 1989.
24. **Demir, A.** "Toz Metal Bir Çeliğin Mekanik Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1992.

25. **Çalışkan, C.** “Toz Metalürjisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bitirme Projesi, 2000.
26. **Ölmez, C.O., Top, Y.** “Toz Metalürjisi Kompaktlarında Bakır Miktarının ve Isıl İşleminin Sertliğe Etkisi”, Metal Dünyası, 124, 95-98, 2003.
27. **Narasimhan, K.S.** “Sintering of Powder Mixtures and Growth of Ferrous Powder Metallurgy”, Materials Chemistry and Physics 67, 56-65, 2001.
28. **Yılmaz, R.** “Fe-Cr-Mn-C Kompaktların Üretimi ve Element Miktarının Sertlik ve Kırılma Tokluğuna Etkisi” 4. Uluslararası Toz Metalürjisi Konferansı, Sakarya, 18-22 Mayıs 2005.
29. **Yılmaz, R.** “Fe-Cu-C Kompaktlarda Presleme Basıncı ve Toz Karışım Oranlarının Sertliğe ve Çekme Mukavemetine Etkisi” 4. Uluslararası Toz Metalürjisi Konferansı, Sakarya, 18-22 Mayıs 2005.
30. **Uygur, İ.** “Fe-Cu-C Çeliklerine Mangan İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisi”, G. Ü. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No: 3, s: 325-330, 2007.
31. **Tengzelius, J., Blande, C.A.** “High Temperature Sintering of P/M Steels”, New Perspectives in Powder Metallurgy, High-Temperature Sintering, MPIF, Vol. 9, pp. 217-228, 1990.
32. **Baba, T., et al.** “Effects of Homogeneous and Heterogeneous Microstructures on The Fatigue Properties of 4600 Steels Produced by MIM Process”, J. Japan Society of Powder and P/M, vol. 44, No. 5, pp. 443-447, 1997.
33. **Bas, J.A.** “Post-Sintering Heat Treatments”, P/M'98, Proc. P/M World Congress, Granada, Spain, EPMA, Educational Program: P/M Short Course, pp. 21, 1998.
34. **Beiss, P.** “Steam Treatment of Sintered Parts”, Powder Metallurgy, Inst. Of Materials, Vol. 34, No. 3, pp. 173-177, 1991.
35. **Rodzinak, D., Slesar, S.** “The Fatigue Curve of Sintered Iron and Its Micro Structural and Fractographic Interpretation”, Powder Metallurgy International, Vol. 12, No. 3, pp. 127-130, 1980.
36. **Ledoux, L., Prioul, C.** “The Influence of Pore Morphology on The Monotonic and Cyclic Properties of Sintered Iron”, Modern Developments in P/M, MPIF, Vol. 21, pp. 41-53, 1988.
37. **Christian, K.D., German, R.M.,** “Relation Between Pore Structure and Fatigue Behavior in Sintered Iron-Copper-Carbon”, International Journal of Powder Metallurgy, Vol. 31, No. 1, pp. 51-61, 1995.
38. **Sanderow, H. I.,** “High Temperature Sintering of Ferrous P/M Components”, New Perspectives in Powder Metallurgy, High-Temperature Sintering, MPIF, Vol. 9, pp. 15-34, 1990.
39. **O'Brien, R.C.** “Fatigue Properties of P/M Materials”, SAE Technical Paper No.880165, SAE Int., 1988.
40. **Shigley, J.E.** “Mechanical Engineering Design”, McGraw-Hill, Inc., New York, pp. 227-280, 1986.

Daha Etkin Bir ODA için

Üyelik Aidatlarımızı

ÖDEYELİM