



T.C

KONYA NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PIRİNÇ VE DÖKME DEMİR TALAŞLARI İLE KOMPOZİT MALZEME
ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

İbrahim ASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Mart-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

İbrahim ASLAN tarafından hazırlanan “Pirinç ve Dökme Demir Talaşları ile Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi” adlı tez çalışması 21/03/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

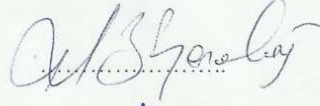
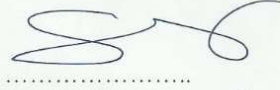
Danışman

Yrd. Doç. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

Üye

Doç. Dr. Necati ATABERK

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Ahmet COŞKUN

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

İmza

İbrahim ASLAN

Tarih: 21.03.2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PIRİNÇ VE DÖKME DEMİR TALAŞLARI İLE KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

İbrahim ASLAN

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

2017, 96 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Doç. Dr. Necati ATABERK

Yrd. Doç. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

Son zamanlarda, endüstride geri dönüşümün önemi hammadde ve enerji ihtiyacından dolayı gittikçe artmaktadır. Metaller işlenirken, üründen önemli miktarda metal talaş oluşmaktadır. Bu metal talaşlar, genellikle ergitilerek geri dönüşümü yapılır ama bu geleneksel geri dönüşüm yönteminde, korozyondan dolayı metal kayıpları, enerji ve işgücü maliyetleri ve çevreye salınan zararlı gaz miktarının fazla olması gibi dezavantajlar bulunmaktadır.

Bu çalışmada, talaşlı üretim prosesi sonucunda bol miktarda oluşan atık metal talaşlarının geri kazanımında toz metalürjisi işlemine benzeyen, klasik ergitme prosesine alternatif bir metot izlenmiştir. Atık metal talaşların öncelikle öğütülmesi ve elenmesinin ardından, yüzeylerinde bulunan kir ve oksitten arındırılması amacıyla ultrasonik temizleme işlemi yapılmıştır. Sonraki aşamada dökme demir ve pirinç bileşenleri ağırlıkça üç farklı oranda hazırlanmıştır. Hazırlanan bu üç ayrı kompozisyonu oluşturan metal partiküllerin yüzeyleri borik asit ile kaplanmıştır. Kompozisyon içerisindeki bileşenlerin homojen bir biçimde dağılması için 15 dk. karıştırılmıştır. Sonraki aşamalarda ise homojen yapıya kavuşturulan metal partikül karışımları silindirik kalıp içerisinde oda sıcaklığında 730 MPa basınç altında sıkıştırılıp sonrasında atmosfer kontrollü fırın içerisinde 942 °C sıcaklıkta sinterlenerek kompozit malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, sertlik, basma testi ve bu özelliklere doğrudan etki eden gözeneklilik oranı tespit edilmiştir. Ayrıca optik ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımı ile mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. Bunun sonucunda karışım oranlarının, mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geri Dönüşüm, Küresel Grafitli Dökme Demir, Mekanik Özellikler, Metal Talaşlar, Metal Matris Kompozit Malzeme, Pirinç, Presleme, Sinterleme.

ABSTRACT

MS THESIS

AN INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS PRODUCED WITH BRASS AND CAST IRON CHIPS

İbrahim ASLAN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL
ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

2017, 96 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Assoc. Prof. Dr. Necati ATABERK

Asst. Prof. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

Recently, the importance of recycling in industry is growing rapidly due to the raw materials and energy requirements. Waste metal chips are got substantially while metals recycling method has disadvantages such as the corrosion of metal loss, energy and labor costs and the amount of gas released into the environment.

In this study, waste metal chips which are produced by machining process were recycled with the alternative method similar to powder metallurgy. Firstly waste metal chips are grinded, eliminated and after ultrasonic cleaning process was performed them to clean from dirt and oxide. Later cast iron and brass metal components were prepared in three different percentage by weight. Surfaces of metal particles which formed the three different composition were covered with boric acid. Later three different metal composition were mixture 15 min. mechanically. Then, three different metal particle mixtures pressed under 730 MPa pressure at room temperature and sintered at 942 °C temperature in atmosphere controlled oven, thus composite materials were produced.

Porosity, hardness and compression test of composite materials were performed to determine the mechanical properties. In addition microstructure of composite materials were investigated with SEM and optical microscope. Consequently, The effects of mixture rates to mechanical properties and microstructure were investigated.

Keywords: Brass, Mechanical Properties, Metal Chips, Metal Matrix Composite Materials, Recycling, Pressing, Sintering, Spheroid cast iron

ÖNSÖZ

Günümüzde, imalat teknolojilerinin ilerlemesiyle üretimi yapılan ürünlerin mikro yapı ve mekanik özelliklerinin istenilen değerde olması için kompozit malzeme üretiminin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bununla birlikte talaşlı imalatın artmasıyla üretimi yapılan ürünlerden çıkan atık talaş miktarı da artmaktadır. Oluşan bu talaşların kullanımı ve geri dönüşümünün en verimli şekilde olması da oldukça önemlidir.

Genel itibarıyla iki kısımdan oluşan bu çalışmada; birinci kısımda, atık metal talaşları kullanılarak, toz metalürjisi yöntemine benzeyen bir üretim metoduyla geri dönüşümünün yapılmasıyla metal matris kompozit malzeme oluşturulmuştur. Bu sayede geleneksel metot olan döküm metodunda ortaya çıkan düşük verim, yüksek enerji tüketimi, çevre kirliliği, yüksek maliyet, zaman ve işgücü kayıpları gibi olumsuz durumlar bu yöntemde oluşmamıştır. İkinci kısımda ise: oluşturulan kompozit malzemelerin mekanik ve mikro yapı özellikleri incelenerek yeni bir metalik kompozit malzeme üretimi araştırılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmasının konu tespitinden son aşamasına kadar her safhasında desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim değerli Tez Danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hakan Burak Karadağ'a ve her zaman yanımda bana destek olan aileme teşekkür ederim.

İbrahim ASLAN
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM	6
3.1. Kompozit Malzemeler	6
3.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	7
3.1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	8
3.1.2.1. Metal Matris Kompozitler	9
3.2. Toz Metalürjisi	11
3.2.1. Metalik Partiküllerin Üretim Yöntemleri	12
3.2.2. Tozların Özellikleri	14
3.2.3. TM Metodu ile Parça İmalatı	18
3.2.3.1. Karıştırma	19
3.2.3.2. Sıkıştırma	21
3.2.3.3. Sinterleme	27
3.2.3.4. İkincil İşlemler	31
3.3. Sert lehimleme	31
3.4. Talaş Oluşumu ve Çeşitleri	36
3.5. Deneysel Çalışmalar	39
3.5.1. Metalik Kompozit Malzemenin Üretimi	40
3.5.1.1. Kompozisyonda bulunan malzemeler ve özellikleri	40
3.5.1.2. Malzemelerin temini ve öğütülmesi	43
3.5.1.3. Elek analizi	44
3.5.1.4. Ultrasonik temizleme	45
3.5.1.5. Karışımın hazırlanması	46
3.5.1.6. Karışımın kalıplanması ve sıkıştırılması	49
3.5.1.7. Numunenin sinterlenmesi	53
3.5.2. Mekanik Testler	56
3.5.2.1. Gözeneklilik testi	56
3.5.2.2. Sertlik Testi	58
3.5.2.3. Basma Testi	59

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	63
4.1. Mekanik Test Sonuçları.....	63
4.1.1. Gözeneklilik Test Sonuçları	63
4.1.2. Sertlik Test Sonuçları	66
4.1.3. Basma Test Sonuçları.....	67
4.2. Mikro yapı İncelemeleri.....	75
4.3. Maliyet Analizi.....	83
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
5.1. Sonuçlar.....	87
5.2. Öneriler	90
KAYNAKLAR	92
EKLER	95
ÖZGEÇMİŞ.....	96

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- f : Öğütme frekansı (Hertz)
N₀ : Dönme hızı (dev/dk.)
d_k : Silindirik haznenin çapı (m)
ρ : Malzeme yoğunluğu (g/cm³)
m₁ : Numune ağırlığı (g)
d_{cisim} : Cismin yoğunluğu (g/cm³)
V_{cisim} : Cismin hacmi (cm³)
m_a : Havada tartılan parça ile bağlantı telinin toplam kütlesi (g),
m_b : Suda tartılan parça ile bağlantı telinin toplam kütlesi (g).
ρ_{su} : Suyun yoğunluğu (g/cm³)
P : Brinell testinde uygulanan yük (N)
D : Brinell bilya çapı (mm)
d : Brinell bilya iz çapı (mm)
d_{ort} : Ortalama çap (mm)
σ_{müh} : Mühendislik gerilmesi (MPa)
σ_{ger} : Gerçek gerilme (MPa)
F : Basma kuvveti (Newton)
h' : Anlık yükseklik (mm)
h_o : Başlangıçtaki yükseklik (mm)
d_o : Başlangıç numune çapı (mm)
A_o : Numune kesit alanı (mm²)
ε_{ger} : Gerçek birim şekil değiştirme
ε_{müh} : Mühendislik birim şekil değiştirme
σ_a : Akma Gerilmesi (MPa)
E : Young modülü (GPa)

Kısaltmalar

ASTM : American Society for Testing and Materials

BSD : Brinell Sertlik Değeri

HMK : Hacim Merkezli Kübik

MMK : Metal Matris Kompozit

SEM : Scanning Electron Microscope

TM : Toz Metalurjisi

YMK : Yüzey Merkezli Kübik

1. GİRİŞ

Son yıllarda üretim sektöründeki hızlı büyümeye bağlı olarak artan makineleşme ihtiyacının sonucunda talaşlı imalattan çıkan atık talaş miktarlarında büyük bir artış olmaktadır. Bu sebeple metal talaş atıkların geri kazanımı, hammadde ve enerji maliyeti sıkıntısı yaşanan günümüzde büyük önem arz etmektedir. Bu atık metal talaşların verimli bir biçimde geri dönüşümü, hem ülke ekonomisi hem de çevresel nedenlerden dolayı büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde ve dünyada en çok kullanılan geri dönüşüm yöntemlerinden biri olan döküm yöntemi, metal talaşların yeniden ergitilmesi ve şekillendirme işlemleri şeklindedir. Ancak yüksek ergitme kayıpları, yüksek enerji maliyeti, yüksek korozyon içeriği, çevreyi olumsuz etkileyen gaz salınımı gibi olumsuzluklardan dolayı metal talaşlarının ergitilerek geri kazanımı etkili bir yöntem değildir (Gronostajski, 1999). Bu nedenle, metal talaşların daha etkili bir şekilde geri kazanımı için çalışmalar artarak devam etmektedir. Son yıllarda geleneksel döküm yöntemine alternatif olarak ortaya çıkan yöntemlerden biri de toz metalürjisi metoduna benzeyen, metal partiküllerin sıkıştırılması ve sinterlenmesi prosesleriyle geri kazanımıdır. Bu yöntemde, metal matris kompozit (MMK) malzemelerin istenilen mikro yapı ve mekanik özelliklere sahip, atık talaşların kullanımı sebebiyle de oldukça ekonomik bir şekilde kompozit malzeme üretimi amaçlanmıştır. Bu yöntemin klasik döküm metoduna göre sahip olduğu bir diğer avantaj ise aynı potada ergitilmesi-alaşımlanması mümkün olmayan farklı türde metalik malzemelerin makro düzeyde bir araya getirilmesi ve gerektiğinde gözenekli MMK malzeme üretiminin mümkün olmasıdır. Bu yöntemle üretilen kompozit malzemelerin içerdiği gözenekli yapı sayesinde darbe emici malzeme ve içerisine dahil edilebilen katı yağlayıcılar sayesinde üstün tribolojik özelliklere sahip malzeme üretimi mümkün olabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, atık metal talaşların ağırlıkça üç farklı oranda karıştırılması ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen MMK malzemelerin mekanik özellikleri ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına uygun olarak incelenmiştir. Ayrıca kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, kendi aralarında ve endüstride yaygın kullanıma sahip olan döküm pirinç malzemesi ile karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Philip ve ark. (1991), yaptıkları çalışmada, toz metalürjisi yöntemini kullanarak, talaşlı imalat sonucu ortaya çıkan atık pirinç talaşlarının iyileştirilmesi üzerine araştırma yapılmıştır. Öncelikle üretim aşamasında kullanılacak talaşlar, kirlerinden temizlenmiş ve toz haline getirilmiştir. Sonrasında ise her bir kompozisyona yağlayıcılar eklenerek karıştırma işlemi yapılmıştır. Karışımı tamamlanan kompozit bileşenler sabit kalıpta çift etkili preste sıkıştırılmış ve yüksek sıcaklıkta sinterlenmiştir. Üretim sonunda ortaya çıkan silindirik numunelerin mikro yapı özellikleri optik mikroskop ve SEM yardımıyla incelenerek bulunmuştur.

Gronostajski ve ark.(2001), yaptıkları çalışmada, alüminyum ve alüminyum alaşımlı talaşların geri dönüşümünde kullanılan metot, yüksek sıcaklıkta iyi dayanım özellikleri karakterize eden kompozit malzemelerin üretiminde uygulanmıştır. Üretim prosesinde, talaşlar toz haline getirilmiş ve sonrasında Fe-Cr tozu ve yağlayıcı olarak yapıya katılan çinko stearat talaş tozlarıyla karıştırılmıştır. Kompozit karışıma sırasıyla soğuk presleme, ön sinterleme ve sıcak ekstrüzyon işlemleri uygulanmıştır. Üretilen kompozit malzemenin oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta iyi mekanik özelliklere sahip olduğu bulunmuştur.

Gronostajski ve ark.(2002), yaptıkları çalışmada, alüminyum ve alüminyum-bronz talaşlarının geri dönüştürülmesiyle kompozit yatak malzemesi üretilmiştir. Kompozit yatak malzemesi, alüminyum ve alüminyum-bronz talaşlarının homojen bir şekilde karıştırılması, sırasıyla soğuk presleme işlemi ve 520 °C’de sıcak ekstrüzyon prosesi uygulanarak üretilmiştir. Üretimi yapılan kompozit malzemenin mekanik ve aşınma özellikleri araştırılmıştır.

Samuel (2002), yaptığı çalışmada, alüminyum talaşlarının düşük enerji tüketimi ve düşük maliyet ile geri dönüştürülebilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, sinterleme öncesi yoğunluk, sıkıştırma kuvveti ve sertlik değerleri elde edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre ise, bu çalışmada kullanılan metot ile geleneksel metot karşılaştırıldığında, bu yöntemle yüksek üretkenlik, çok daha düşük hava kirliliği emisyonu ve yüksek malzeme kazancı sağlanmıştır.

Uzun ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada, Fe-Cu-C ve Fe-Cu esaslı toz metalürjisi (T/M) parçaları farklı oranlarda toz karışımların kullanılması ile

üretimiştir. Üretim aşamasında, öncelikle tozlar homojen bir şekilde karıştırılmış, ardından soğuk preslenmiştir. Sonrasında sıkıştırılan parçalar 1200 °C sıcaklıkta vakumlu bir fırında 45 dakika sinterlenmiş ve fırın yavaş bir şekilde soğutulmuş kompozit malzemeler elde edilmiştir. Fe-Cu numunelerindeki bakır miktarı ve Fe-Cu-C numunelerindeki hem bakır, hem de grafit miktarları değiştirilerek üretilen T/M parçaları, suda ve yağda sertleştirilmişlerdir. Üretilen Fe-Cu-C ve Fe-Cu toz metalürji parçalarının, sinterlenme işleminden ve ısıl işlem ile sertleştirilmelerinden sonra kırılma toklukları ve sertlikleri tespit edilmiştir. Çalışma sonunda, üretimi yapılan her bir kompozit malzemenin mekanik özellikler birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Kato ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, katı yağlayıcı içeren Cu-Sn alaşımlı kompozit malzemelerin, aşırı yük ve sıcaklık şartları altında kendinden yağlamalı malzemeler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kompozit karışıma katı yağlayıcı olarak grafit eklemek malzemenin aşınma ve sürtünmesinin azaltılmasına yardımcı olmuştur fakat grafitin fazla ilave edilmesi kompozit malzemelerinin mekanik özelliklerine ters etki yapabilmektedir. Bu çalışmada, katı yağlayıcı olarak kullanılan grafit ve MoS₂ tozları Cu ile kaplanmıştır. Böylece sinterleme sırasında kompozit malzemedeki Cu parçacıkları ile Cu kaplamalı yağlayıcılar birbirine iyi bir şekilde bağlanmıştır. Üretilen numunelerin mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, malzemelerin aşınma ve sürtünme özellikleri cylinder-on-plate aşınma test cihazında kuru şartlarda, oda sıcaklığı ve hava ortamında incelenmiştir.

Parucker ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada, talaşlı imalattan elde edilen gri dökme demir talaşlarının geri dönüşümü ve toz metalürjisi üretim yönteminde bu talaşların başlangıç malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada odaklanan konu ise, gri dökme demir talaşlara mekanik öğütme işlemi yapılması sonucunda elde edilen tozların karakterizasyonudur. Üretilen tozların mikro yapı özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, gri dökme demir talaşlarının birçok sinter parçanın imalatı için bir başlangıç malzemesi olarak kullanılabilmesinin umut verici olduğu bulunmuştur.

Ünlü ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, demir esaslı FeCu-Grafit kompozit malzemesinden toz metal parçalar üretilmiştir. Bu parçalardan bazılarında daha sonra borlama işlemi uygulanmıştır. Bütün bu proseslerden sonra üretilen parçaların mekanik ve aşınma özellikleri belirlenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Ünlü (2006), yaptığı çalışmada, bakır esaslı CuSn10 bronzu ile CuZn30 pirincinden imal edilen kaymalı yatak üretilmiş ve Cu, Zn, Sn metallere üretilen yatağın aşınma ve mekanik özellikler incelenerek, alaşım elementlerinin bu özelliklere etkisi araştırılmıştır.

Kondoh ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada, TM metoduyla CuZn40 alaşımının işlenebilirliğinin ve yüksek çekme dayanımının geliştirilebilmesi araştırılmıştır. Bu çalışmada, malzemenin işlenebilirliğinin iyileştirilmesi amacıyla, kurşun metali yerine grafit partikülleri kullanılmış ve bu tercih aynı zamanda çevresel fayda sağlamıştır. Çalışma sonucunda, grafitin partikül boyutunun ve içeriğinin mekanik özelliklere ve işlenebilirliğe etkisi araştırılmıştır. CuZn40 malzemesine ağırlıkça %1 oranında, 5-10 µm çapında grafit tozları karıştırılmasından sonra soğuk sıkıştırma ve sıcak ekstrüzyon işlemleri uygulandığı zaman, üretilen malzemenin yüksek çekme dayanımına ve iyi işlenebilirliğe sahip olduğu bulunmuştur.

Ünlü ve ark.(2009), yaptıkları çalışmada, T/M yöntemiyle üretilmiş bakır esaslı CuSn10 bronzu ve demir esaslı Fe-Grafit yatak ile döküm yöntemiyle üretilmiş bakır esaslı CuSn10 bronzu ve demir esaslı Fe-C yatakların mikro yapı, aşınma ve mekanik özellikleri bulunmuş ve bulunan değerler birbirleriyle mukayese edilmiştir.

Karadağ (2012), yaptığı çalışmada, talaşlı imalat sonucu elde edilen atık çelik ve bronz talaşlarının, ağırlıkça birbirinden farklı üç karışım oranlarında homojen bir şekilde karıştırılması, ardından soğuk presleme ve yüksek sıcaklıkta sinterleme işlemleri yapılmasıyla, üç farklı kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mekanik, aşınma ve mikro yapı özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, üretilen kompozit numunelerin, endüstriyel olarak kullanılan hadde CuSn10 bronzuna göre, daha tok ve sünek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Pepelnjak ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada, talaşlı imalattan çıkan atık AlMgSi1 alüminyum talaşlarının katı hal yöntemiyle geri dönüşümü araştırılmıştır. Son ürün için istenilen yoğunluğu elde etmek için farklı tiplerdeki alüminyum alaşımlı talaşlar kullanılmış ve bu talaşlar kapalı silindirik kalıpta soğuk presleme işlemiyle sıkıştırılmıştır. Sonuçlara göre, talaşların şekilleri, boyutları ve özellikle inceliği, son ürün için önemli etki etmekte olduğu bulunmuştur.

Yamanoğlu ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada, bakır ve molibden alaşımlı TM eliklerine, nikel eklenmesinin malzemenin aşınma ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Üretimde, ağırlıkça üç farklı oranda nikel içeren numuneler, 400 MPa basınç altında preslenmiş, sonrasında 1120 °C sıcaklıkta 30 dk. sinterlenmiş ve ardından hızlıca soğutulmuştur. Sinterlenen numunelerin mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, alaşımların nikel yoğunluğuna bağlı olarak gözeneklilik oranlarının değiştiği görölmüştür. Alaşımların sertliği ise nikel içeriğinin artmasıyla artmıştır ve %2 nikel içeren numuneler, minimum gözeneklilik miktarı ve maksimum aşınma direncine sahip olduğu bulunmuştur.

Chen ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada, toz metalürji yöntemiyle düşük sıcaklıkta üretilen W-Cu kompozit malzemesine, Zn ilave edilmesiyle kompozit malzemenin sertlik ve eğme dayanımında oluşan mekanik etkiler incelenmiştir. Kompozit malzemeye Zn metalinin eklenmesiyle malzemenin eğme dayanımı ve sertlik değerleri artmıştır ve işlem parametreleri optimum olmuştur. Kompozit malzemeye Zn %14 eklendiği zaman, W-Cu kompozit malzemenin eğme dayanımı maksimum değere (960MPa) ulaşmıştır. Böylece W-Cu kompozit malzemesinin eğme dayanımı ve sertliğinin artmasında, Zn eklemek kilit rol oynadığı bulunmuştur.

Aslan (2014), yaptığı çalışmada, talaşlı imalattan elde edilen atık bronz ve dökme demir talaşlarından sıcak presleme üretim yöntemiyle farklı proses parametrelerinde metal matrisli kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik, mikro yapı özellikleri bulunmuş ve her bir numuneden elde edilen değerler birbirleriyle mukayese edilmiştir. Çalışma sonucunda, üretimi yapılan bazı kompozit numunelerin saf CuSn10 bronzundan daha mukavemetli ve gözenekli olduğu bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, sırasıyla kompozit malzemeler, toz metalürjisi, sert lehimleme ve talaş oluşumu konuları hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında kullanılan CuZn31Si1 ve GGG-40 malzemeleri, MMK malzemenin üretim yöntemi ve üretim esnasında kullanılan cihazlar hakkında bilgiler verilmiştir. Son olarak üretim sonunda elde edilen numunelere ait mekanik özelliklerin tespiti için uygulanan mekanik testler hakkında temel bilgiler verilmiştir.

3.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, belirli bir amaca yönelik olarak, en az iki farklı maddenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen malzeme grubudur. Üç boyutlu nitelikteki bu bileşenleri bir araya getirmedeki amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir (Ersoy, 2001).

Kompozit malzemeler makro ölçüde heterojen karakterli bir yapıya sahiptir. İyapıları çıplak gözle incelendiğinde (makroskobik muayene) yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına karşılık mikro ölçüde (mikroskobik muayene ile seçilebilen) heterojen malzemelerdir (Eker, 2014).

Farklı malzemelerin üstün özellikli ürünler oluşturmak üzere bir araya getirilmeleri ilk çağdan günümüze kadar süregelen bir kullanım olmuştur. İlk tarihlerde çamur tuğlalar samanla kuvvetlendirilerek ev yapmak için, yakın tarihte modern binaların, köprülerin yapımı için çimentonun çelik çubuklarla güçlendirilmesi (betonarme yapılar) ve şimdi günümüzde uçak iskeletini oluşturmak için fiberle pekiştirilmiş kompozit malzemeler kullanılmaktadır (Eker, 2014).

Kompozit malzemeler bazı yöne bağlı veya anizotropik özellikler açısından, özellikleri uygun olmayan yönlerin laminasyonu tekniği ile bastırılarak, üstün özelliklerin elde edilmesini sağlayan tasarım yaklaşımları ile iyice incelenmiştir.

Örneğin, kontraplak, birçok plakanın preslenmesi ile elde edilen sağlam bir yapıyı oluşturmaktadır. Bükülmeyi önlemek için istifleme sırası önemlidir. Modern kompozit dilinde bu, simetrik sıralama ya da ortotropik olarak adlandırılır. Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içerisinde çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar. Ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme ve bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir (Eker, 2014).

Kompozit malzemeyi oluşturan iki unsur vardır, bunlardan biri takviyelendirici faz, diğeri ise matristir. Takviyelendirici faz malzeme, fiber, parçacık veya ince tabaka şeklinde olabilir. Matris faz malzemeler genellikle sürekli dir (Kaw, 2006).

Kompozit malzemelerin çoğu, istenen özellikleri elde etmeye uygun dolgu ve güçlendirme malzemeleri ile bağlayıcı reçineden ibarettir. Kompozit malzemelerin birçok türü vardır ve üretiminde birbirinden çok farklı güçlendirici ve ana faz bileşimleri kullanılır. Ana faz ve güçlendiriciler metal veya seramik olabilir (Smith, 2006).

3.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzeme üretilmesi ile bazı özellikler sağlanabilmektedir. Bu özellikler genel olarak şu şekilde sıralanabilir:

- a) Yüksek dayanım,
- b) Yüksek rijitlik,
- c) Yüksek yorulma dayanımı,
- d) Mükemmel aşınma direnci,
- e) Düşük ağırlık,
- f) İyi korozyon direnci,
- g) İyi termal ve ısı iletkenliği,
- h) Çekicilik ve estetik görünüm vb.

Bütün bu özellikler aynı zamanda oluşmaz ve herhangi bir uygulama için böyle bir gereksinime ihtiyaç da yoktur. Özellikleri bilinen bileşenlerden yararlanarak bir

kompozit malzemenin yoğunluk, elastik modülleri ve çekme dayanımları vb. bazı özellikleri hesaplanabilir (Şahin, 2000).

Yukarıda belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar, uygun matris ve takviye elemanı çifti, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa istenilen özelliği elde etmek mümkündür. Uygun matris/takviye elemanı seçimini, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür (Şahin, 2000).

Bu avantajlar yanında bazı dezavantajları da mevcut olup aşağıda verilmiştir.

- a) Üretimin güçlüğü,
- b) Pahalı olması,
- c) İşlenmesinin güç olması yanında maliyetin yüksek oluşu ve gerekli yüzey kalitesinin elde edilemeyişi,
- d) Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmayışı,
- e) Kırılma uzamasının az oluşu gibi faktörler sayılabilir.

3.1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, genel olarak takviye elemanlarına göre elyaf takviyeli, tabakalı ve parçacık takviyeli kompozitler olarak üç ana gruba ayrılır:

a) Elyaf takviyeli kompozitler: Elyaf takviyeli kompozitler, yumuşak ve sünek matris içerisine elastikliği yüksek ve dayanıklı elyaflar ilave edilerek malzemenin çekme, yorulma ve özgül dayanım özelliklerini iyileştirir. Matris malzemesi kuvveti elyaflara aktararak yumuşaklık ve tokluk özelliği elde edilirken elyaf uygulanan yükün çoğunu taşımaktadır. Bu tür kompozit malzemelerde takviyelendirici olarak oldukça değişik elemanlar kullanılmaktadır. Elyaf, örme, şerit veya tabakalar halinde yönlü elyaflar şeklinde kullanılabilir. Takviye elemanları değişik yönlerde düzenlenebilmektedir. Elyaf takviyeli kompozitin, kullanılan elyafların uzun ve tek boyutlu olması mikro yapısal özelliğidir. Bunlarda elyaf kuvvetleri taşırken matris de kuvvetleri elyafa iletir. Genel olarak elyaf yönlendirildiği için mekanik özellikleri anizotropiktir (Şahin, 2000).

b) Tabakalı Kompozitler: Tabakalı kompozit, farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların üst üste konularak bir araya getirilmesi ile oluşan kompozit türüdür. Laminetler, matris içerisine rastgele yönlenmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar veya farklı elyaf takviyeli tabakadan oluşabilir. Lamina kompozitte, kompozitin maruz kalacağı yüklere uyum sağlaması için dayanım ve rijitliğin doğrusal bağımlılığından avantaj elde etmek esas amaçtır. Yapısal uygulamalarda kullanılan çoğu kompozitler çok katlıdır. Her kattaki kompoziti oluşturan elemanlar aynı ise izotropik (basitçe laminet), farklı ise ortotropik (karma ve melez laminetler) olarak adlandırılır (Şahin, 2000).

c) Parçacık takviyeli kompozitler: Bir matris malzeme içerisinde, parçacıklar halinde bulunan başka bir malzemenin bulunması ile elde edilir. Burada yük, elyaf ve matris tarafından birlikte taşınır ve özellikler izotropiktir. Bu kompozitler dayanımı iyileştirmekten ziyade alışılmış dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için dizayn edilmiştir. Bu kompozitler metal, seramik ve polimerlerin birleşiminden oluşabilirler. Döküm yoluyla üretilen bu tür kompozitlerde pratikte karşılaşılan sorunlardan birisi, parçacık ilave edildiğinde tozların karıştırılma zorluğu ve eriyiğin viskozitesinin düşmesidir. Dolayısıyla, döküm metodu ile üretilen kompozit malzemenin dayanımı, takviye elemanının matris içinde homojen dağılamaması ve tane büyüklüğü etkisi sebebiyle toz metalürjisi metodu ile yapılan kompozitten daha düşüktür (Şahin, 2000).

Kompozit malzemeler matris malzemenin cinsine göre aşağıdaki gibi de sınıflandırılır:

- a) Metal Matris Kompozitler (MMK):
- b) Seramik Matris Kompozitler (SMK):
- c) Polimer Matris Kompozitler (PMK):

3.1.2.1. Metal Matris Kompozitler (MMK)

Adında anlaşılacağı üzere, metal matrisli kompozitler matrisi sünek metal olan kompozitlerdir. Bu tür malzemeler, takviyesiz olan metallere göre daha yüksek ortam sıcaklıklarında kullanılabilir, takviye işlemi ayrıca özgül rijitliği, özgül dayanımı, aşınma dayanımı, sürtünme direnci, ısı iletkenliği ve boyutsal karalılığı da artırabilir. Bu malzemelerin polimer matrisli kompozitlere göre üstünlüklerinden bazıları; daha

yüksek kullanım sıcaklıkları, alev almama özelliği ve organik akışkanlara karşı daha yüksek bozulma direncine sahip olmalarıdır. Metal matrisli kompozitler, PMK'lere göre daha pahalıdır ve bu nedenle kullanımları sınırlıdır (Callister ve Rethwisch, 2014).

Genel olarak MMK malzemelerin üretimi, birleştirme veya sentezleme (takviyenin matris içine yerleştirilmesi) ve şekillendirme olmak üzere iki adımdan oluşur. Çok sayıda birleştirme yöntemi bulunmakla birlikte, bunların bir kısmı oldukça karmaşıktır. Diğer taraftan, süreksiz elyafli MMK malzemeler standart metal şekillendirme yöntemleriyle (dövme, ekstrüzyon ve haddeleme gibi) şekillendirmeye uygundur (Callister ve Rethwisch, 2014)

Genel olarak bakıldığında metal matrisli kompozitlerin, metallere göre üstün olan özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Yüksek mukavemet / yoğunluk oranı (spesifik mukavemet),
- Yüksek elastiklik modülü / yoğunluk oranı (spesifik modül)
- Daha iyi yorulma direnci
- Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilme ve düşük sürünme oranı gibi daha iyi yüksek sıcaklık özellikleri
- Düşük termal genleşme katsayısı
- Daha iyi aşınma direnci

Metal matrisli kompozitlerin dezavantajları olarak ise şu maddeler sayılabilir:

- Sürekli fiber takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda zor ve karmaşık üretim prosesleri (döküm yöntemi hariç)
- Sünekliğin belli oranda azalması
- Yüksek maliyetli üretim sistemi ve teçhizat
- Yeni gelişen bir teknoloji olması nedeniyle firmaların ve üreticilerin deneyimsiz oluşu (Eker, 2008).

* **Seramik Matris Kompozitler (SMK)**

Seramikler, metal ve metal olmayan elemanlardan meydana gelen inorganik bileşikler olup doğada kayaların dış etkilere karşı parçalanması sonucu oluşan kaolen, kil vb. maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilen malzemelerdir. Seramikler, gevrek olduklarından mikro yapısal kusurları gerilme yığılmasına yol açtıklarından çekme dayanımları düşüktür. Basma dayanımları ise çok yüksektir. Seramik malzemelerden, mikro yapısal kusurları azaltacak şekilde çok ince çaplı elyaflar üretilerek daha dayanıklı kompozit malzemeler üretmek mümkün olmaktadır (Eker, 2014).

* **Polimer Matris Kompozitler (PMK)**

Polimer, yapıları gereği çelik ve diğer konvansiyonel malzemelerden farklıdır ve polimerlerin avantajlı yanları ön plana çıkartılarak kullanım alanları giderek genişlemektedir. Polimer matris kompozitlerin başlıca hedefleri en az çelik kadar sağlam, olabildiğince hafif, yüksek kullanım sıcaklıklarına dayanıklı ve ekonomik malzeme üretimidir (Eker, 2008).

3.2. Toz Metalürjisi

Toz Metalürjisi (TM) işlemi ilk olarak geleneksel döküm, sıcak ve soğuk presleme ve talaş kaldırma üretim yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Toz metalürjisi, imalatı zor olan parçaların toz formunda hammaddelerden başlayarak ekonomik, yüksek mukavemet, minimum toleransla ve diğer üretim yöntemlerine kıyasla daha avantajlı bir şekilde üretilmesi yöntem ve tekniğidir (Kurt, 2004).

Milattan önce 3000 yıllarında Mısır'da toz metalürjisi ile üretilmiş küçük parçalara rastlanmasına rağmen, ilk önemli kullanım 1920 yılında tungsten-karbür kesici takımların üretimi şeklinde gerçekleşmiştir. Modern anlamda yeni bir parça üretim tekniği olarak teknolojiye yerini ikinci dünya savaşından sonra almıştır. Toz metalürjisi ürünlerinin %70'i otomotiv endüstrisinde, %12'si iş makinalarında, %5'i

tarım aletlerinde ve %13'lük oranı da güncel aletlerde kullanılmaktadır (Çiğdem, 1996).

Toz metalürjisi ile aşağıdaki malzemelerin imalat problemleri çözülebilir.

- a) Sünek hale getirilmiş refrakter metallere,
- b) Sert ve tok alaşımlar
- c) Bileşenleri birbiriyle zor karışan veya hiç karışmayan elektrik kontakt malzemeleri,
- d) Gözenekli yataklar,
- e) Saf metalik malzemeler.

Eğer bir malzemenin dökümü, talaşlı işlemi veya plastik deformasyonla şekillendirilmesi oldukça zorsa ve önemli kayıplar yapabiliyor ve elde edilen malzemenin sıcakta dövülmesi imkansız ise, sinterleme yoluyla imalatı kullanılan yöntemdir (Anık, 1997).

Toz metalürjisi prosesleri toz metallere, seramiklere, parçacık takviyeli kompozitler, plastik kalıplama ve metal dövme gibi birçok tekniğin birleşmesinden oluşur. Kompozit malzeme oluşturmak için birbiri içerisinde çözünmeyen tozları çeşitli oranlarda karıştırarak istenilen mekanik özelliklerde kompozit malzeme elde edilmesi geniş uygulama alanı bulan seçeneklerden biridir (German, 2007).

Toz metalürjisi teknikleri ile üretilen mamuller her yerde kullanılır. Bunlardan bazıları; yüksek şiddetli ışıklar, diş yenileme, piston kolu, filtreler, ses emiciler, ısı boruları, implantlar, debriyajlar, egzoz flanşı, kapı kolu, yataklar, otomobil transmisyon milleri, elektrik temas elemanları, uçak fren balataları, saat gövdeleri, uçak fren balataları ve jet motoru türbinleri vb. yerler. Kısacası, tozlar her alanda kullanılmaktadır (German, 2007).

3.2.1. Metalik Partiküllerin Üretim Yöntemleri

Toz metalürji yöntemiyle üretilen ürünlerin özellikleri büyük oranda kullanılan metal veya malzeme tozlarının karakteristiklerine bağlıdır. Bu özelliklerin başında kompozisyon, partikül boyutu, şekli, boyut dağılım aralığı ve partiküllerin yüzey

yapısı gelmektedir. Toz üretiminde kullanılan ve her biri gerek toza ve gerekse nihai ürüne belirli özellikler kazandıran çeşitli prosesler vardır (Çiğdem,1996).

Metalik tozların üretimlerinde kullanılan ana yöntemler;

- Mekanik Yöntemler
- Atomizasyon Yöntemleri
- Kimyasal Yöntemler
- Elektroliz Yöntemleri

Mekanik Yöntemler

Mekanik üretim yöntemiyle toz üretiminde dört ana mekanizma vardır. Bunlar; darbe, aşındırarak öğütme, kesme ve basmadır. Darbe, malzemeye ani bir kuvvet uygulanır ve böylece oluşan çatlak sonucu malzeme küçük parçalara ayrılır. Aşındırarak öğütmede, sürtme hareketinin bir sonucu olarak partikül boyutunda küçülme gerçekleşir. Kesme, talaşlı imalatta olduğu gibi malzemenin parçalanmasıdır. Basma, daha düşük boyutlarda toz üretimi ise ana malzemenin yeteri kırılabilirliğe sahip olması ile birlikte gerçekleşir. Bu mekanik yöntemler ile değişik boyutta ve şekilde metal esaslı tozlar elde edilebilir. Kısacası, mekanik yöntemler; talaşlı imalat, öğütme, mekanik alaşımlama vb. yöntemlerdir (Öztürk ve İcin, 2015).

Atomizasyon Yöntemleri

Atomizasyon, ergimiş sıvıya ve sıvının damlacıklara parçalanmasına dayanır. Damlacıklar donarak parçacık haline gelirler. Ticari atomizasyon üniteleri 400 kg/dk. üretim hızlarına kadar çalışabilmektedir. Yöntem çoğunlukla metaller, alaşımlar ve intermetalikler için kullanılmakla birlikte son zamanlarda polimer ve seramiklere de uygulanmaktadır. Yöntem, iyi işlem kontrolü ile farklı malzemelere uygulanabilirliğinden dolayı caziptir (German, 2007).

Kimyasal Yöntemler

Kimyasal yöntemlerle malzemelerin çoğu toz şeklinde üretilmektedir. Parçacık boyutu ve şekli tepkime değişkenlerinin kontrolü ile ayarlanmaktadır. Kimyasal sentezlemenin birçok farklı yöntemi vardır. Tozlar, katı, sıvı veya buhar fazı reaksiyonlarıyla oluşturulur (German, 2007).

Elektroliz Yöntemleri

Bir elektroliz hücresinin katodu üzerinde belirli çalışma şartlarında element tozları biriktirilebilir. Elektroliz yönteminin ana üstünlüğü yüksek ürün saflığıdır. Elektroliz tekniği ile üretilen tozlar genellikle dendritik veya süngerimsi şekildedir. Ancak, bu yöntemde parçacık boyutu ve şekli önemli ölçüde kontrol edilebilir (German, 2007).

3.2.2. Tozların Özellikleri

Tozların Kimyasal Özellikleri

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen tozların kimyasal özellikleri birçok açıdan önem arz etmektedir ve bu tozlar kimyaları açısından elementel, ön karışım ve tamamen bileşik haldeki tozlar olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Elementel tozlar, göreceli olarak yüksek saflıkta malzemelerdir ve kimyasal analiz safsızlıklarının miktarı üzerine yoğunlaşır. Öncelik ihtiva etikleri karbon, oksijen ve azot seviyelerindedir. Ön karışım tozlar, en az iki farklı tozun birleşmesiyle oluşur. Safsızlık düzeyleri ve karışımın uygun biçimde bileşik hale getirilmesi, bu tozlarla ilgili kimyasal sorunlardır. Tamamen bileşik haline getirilen tozlar, tek bir parçacığı oluşturan bütün bileşenleri içerir. Bu tür tozlarda safsızlıklar ve bileşim bütünlüğü önemlidir. Kütle kimyasal bilgisinden öte, toz yüzeyi bileşimi önemli bir özelliktir. Yüzeyler genel olarak kirlilik bakımından zengindir. Metal içindeki oksit kalıntıları, metali çözen bir asitle tespit edilebilir. Bir tozun kütle kimyasal karakterizasyonu istenilen hassasiyete bağlı olarak emisyon, X-ışını kırınımı gibi yöntemlerle elde edilir (German, 2007).

Tozların Fiziksel Özellikleri

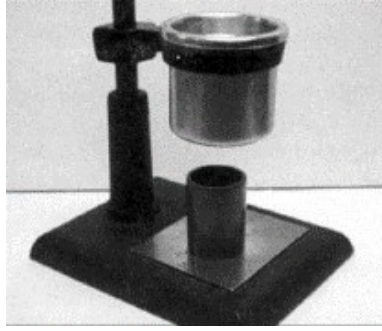
Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen tozların fiziksel özellikleri, kimyasal özelliklerinde olduğu gibi üretilen malzemenin mekanik özelliklerine ve yapısına etki edeceği için önemlidir. Bu fiziksel özellikler aşağıda verilmiştir:

- Toz akıcılığı
- Görünür, ham ve vurgu yoğunluk
- Sıkıştırılabilirlik
- Parçacık şekli
- Parçacık boyutu ve dağılımı
- Ham mukavemet

Toz akıcılığı

Toz akış hızı ölçümü, tozların akma yeteneklerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Sabit ağırlıkta (50g) alınan tozların yer çekimi etkisinde bir huni içerisinden ne kadar sürede seçtiği tespit edilerek hesaplanır. Akış süresi, toz parçacıkları arasındaki sürtünme, tozlarla huni yüzeyi arasındaki sürtünme, huni ağzı ve parçacık boyutu arasındaki ilişki, parçacıkların şekli ve yoğunluğu, huninin geometrisi gibi faktörlere bağlıdır (Kurt, 2004).

Bu akış hızı, 50 g ağırlığındaki bir tozun, Hall akış ölçerden aktığı saniye cinsinden ifade edilir (Şekil 3.1). Kısa akış süreleri tozların serbest akışını, uzun akış süreleri ise tozlar arasındaki sürtünmeyi gösterir. Yığılma yoğunluk ve akış süreleri, huni ve hassas hacimli bir kabın beraber kullanıldığı bu ölçerle elde edilmesi kolaydır (German, 2007).



Şekil 3.1. Hall akış ölçer

Görünür, ham ve vurgu yoğunluk

Görünür yoğunluk veya yığılma yoğunluğu, bir tozun sarsılmamış, gevşek durumundaki yoğunluğudur (kütle/hacim). Bu yoğunluğu, toz ağırlığının kap hacmine bölümüyle bulunur. Tozun boyutu ve şekli görünür yoğunluğa etki etmektedir. Görünür yoğunluk, sıkıştırma kalıplarının tasarımında ve istenilen yoğunluğu elde etmek için uygulanan sıkıştırma yükünün hesaplanmasında büyük önem arz etmektedir (German, 2007).

Vurgu yoğunluğu, dış bir basınç uygulanmaksızın, bir tozun titreştirilerek ulaşılabilen en yüksek yoğunluğudur. Vurgu yoğunluğunun görünür yoğunluğa bölümünden elde edilen oran ile parçacık şekli belirlenebilir. Bu, Hausner oranı olarak bilinir (German, 2007).

Ham yoğunluk, preslenme sonrası ham parçanın yoğunluğudur. Toz ağırlığının, sıkıştırılmış hacme bölünmesi ile bulunur. Sinterlenmiş yoğunluk ise, sinterleme işlemi sonrasında malzemenin sahip olduğu yoğunluktur (German, 2007).

Sıkıştırılabilirlik

Sıkıştırma, tozları şekillendirmenin yaygın bir yoludur. Dolayısıyla, basınca verilen tepki önemli bir toz özelliğidir. Sıkıştırılabilirlik uygulanan bir yük altında tozun yoğunlaşmasını gösterir. Ham yoğunluk, sıkıştırılabilirliğin ifade edilmesinde temel oluşturur (German, 2007).

Sıkıştırılabilirliğin belirlenmesi için iki farklı yöntem kullanılır:

- Hedeflenen ham yoğunluğa ulaşmak için gereken presleme basıncının belirlenmesi
- Belirli bir basınçta preslemeden sonraki ham yoğunluk değeri (German, 2007).

Sıkıştırılabilirliği, parçacık boyutu, sertlik ve yağlama gibi diğer faktörler etkileyebilmektedir (German, 2007).

Parçacık şekli

Tozları oluşturan parçacıkların şekli önemli bir özelliktir ve bu toz parçacıklarının şekli, paketlenabilirliğini, tozların akışını, ham mukavemetini, görünür yoğunluğunu ve sıkıştırılabilirliğini etkiler. Parçacık şekillerini sayısal olarak tanımlamak zor olduğu için Şekil 3.2’de önerilen niteliksel tanımlayıcılar ile tanımlanabilir (Kurt, 2004).



Şekil 3.2. Parçacık şekilleri (German, 2007)

Parçacık boyutu ve dağılımı

Parçacık boyutu toz metalürjisinin en önemli özelliklerinden birisidir. Parçacık boyutu ölçümü, bir parçacığın boyutlarının belirlenmesidir ve bu belirleme; ölçüm tekniğine, ölçülen özgül parametreye ve parçacık şekline bağlıdır. Parçacık boyut analizi çeşitli tekniklerle yapılabilir. Mikroskopla Metal tozlarının tane büyüklüğü, büyük oranda eleme analizi ile yapılmaktadır fakat 45 mikronun altındaki küçük tozlar elek altı olarak adlandırılır bu metotla boyut ölçümü sağlıklı olmayabilir. Bu boyuttaki tozlar x-ışını, mikroskop ile inceleme veya çökeltme tekniği gibi yöntemlerle ölçülebilir. Bir tozun boyutunu veya diğer özelliklerini doğru olarak belirlemek için, tozun uygun bir biçimde dağıtılması gerekir. Dağıtma işlemi parçacık boyutu ne kadar küçük olursa o kadar zorlaşır. Özellikle 100 μm altındaki küçük parçacıklar, dağıtma işlemine karşı direnç gösterirler. Mekanik karıştırma veya ultrasonik çalkalama dağıtmada çok tercih edilen yöntemdir (German, 2007).

Ham mukavemet

Ham mukavemet, preslemeden sonra, sinterlemeden önceki mukavemete denir. Ham mukavemet, ham parçanın bükülmesi ve en yüksek gerilmenin ölçülmesi ile belirlenir. Sıkıştırılabilirlik, tozun şekli ve tane büyüklüğü, ham mukavemete etki eden faktörlerdir (German, 2007).

3.2.3. TM Metodu ile Parça İmalatı

Toz metalürjisi çok küçük partikülleri birbirine bağlayarak parça haline getirme işlemidir. Daha geniş bir ifadeyle toz metalürjisi, toz şeklindeki malzemelerin preslenmesi ve ardından yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi ile parça imalatını kapsamaktadır; ince partikül şeklindeki saf metaller, alaşımlar, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbirleriyle karıştırılarak basınç altında şekillendirilirler. Daha sonra bu parçalar ana bileşenin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlenerek partiküllerin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturulur ve böylece istenilen

özellikler elde edilir. Toz metalürjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Malzeme kaybı çok azdır, belirli derecede porozite ve geçirgenlik elde edilir (Çiğdem, 1996).

Toz metalürjisi ile parça imalatı şu safhalarda gerçekleştirilir:

- 1.Toz hazırlama (karıştırma ve harmanlama),
- 2.Presleme (Sıkıştırma),
- 3.Sinterleme
- 4.İkincil işlemler

Toz metalürjisi ile imal edilen ürünler beş grupta sınıflandırılabilir:

- Yatak, filtre veya sıvı regülatörü gibi gözenekli ve geçirgen ürünler
- Diğer proseslerle üretimleri halinde aşırı miktarda talaşlı işleme gereksinim duyulan girift parçalar,
- Talaşlı işlemler güç veya yüksek ergime noktalı malzemelerden yapılan parçalar,
- İki veya daha fazla metalin kombine özelliklerinin istendiği parçalar,
- Diğer sebeplerden dolayı kaynaklanan zorunluluklar (Çiğdem, 1996).

3.2.3.1. Karıştırma

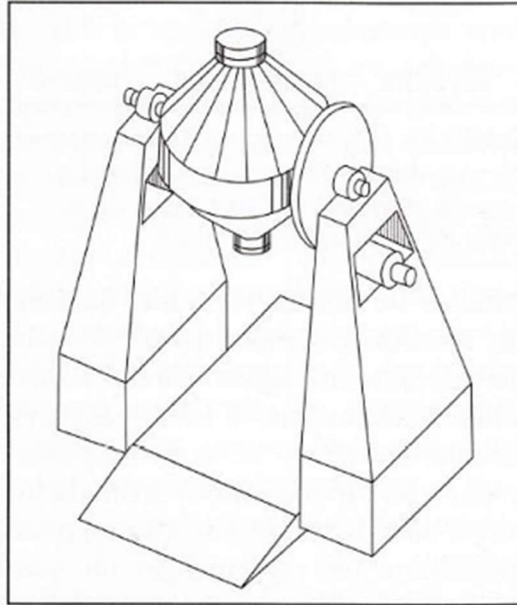
TM metodu ile üretilen metal tozlarına sıkıştırma öncesi sıklıkla karıştırma ve harmanlama işlemi uygulanır. Bu işlemler, özel parçacık boyut dağılımı hazırlanması, sinterleme esnasında yeni alaşımların oluşturulması amacıyla tozların birleştirilmesi, sıkıştırma işlemi için yağlayıcıların eklenmesi ve şekillendirme için toz-bağlayıcı karışımının hazırlanması için gereklidir. Harmanlama, farklı boyutlardaki aynı bileşime sahip tozların karıştırılma işlemi, karıştırma ise farklı bileşime sahip tozlara uygulanan işlemdir. Harmanlama işlemi genellikle taşıma sırasında titreşim olduğu zaman küçük ve büyük parçacıkların ayrışmasına sebep olduğu için uygulanır. Titreşim sonrasında tozlar boyutsal olarak ayrılır ve bu ayrışma sıkıştırma ve sinterlemede düzensizlikler ortaya çıkarır. Ayrışmanın üç nedeni vardır; en önemlisi parçacık boyutu, yoğunluk ve şekildeki farklılıklardır. Tozlar yeni bileşimler

oluşturmak için karıştırılır. Karıştırılmış tozlar, sinterleme esnasında homojen bir yapı elde edilmesi için önemlidir (German, 2007).

Toz özelliklerini değiştirmek için katkı maddeleri geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; amonyak poliakrilat (parçacıkların ayrışmasında), gliserin (karışımın viskozitesini düşürmek için), parafin (tozlara ham dayanım sağlamak için), çinko stearat ve grafit tozu (yağlayıcı görevi yaparak kalıp sürtünmesi azaltmak için) vb. kullanılır (German, 2007).

Toz ve şekillendirme kalıbı arasındaki sürtünme temel bir sorundur. Bu sürtünme ne kadar fazla ise kalıp ömrü o kadar kısa, sinterleme sonrası üründeki boyutsal değişim ve kusur oranı da o kadar fazladır. Bu nedenle kalıp aşınmasını en aza indirmek ve kalıptan çıkartmayı kolaylaştırmak için yağlayıcılar kullanılır. Yağlama, yağlayıcının doğrudan sıkıştırılacak toza eklenmesi (grafit tozu) veya kalıp duvarına sürülmesi (çinko stearat) şeklinde olur. Yağlayıcı miktarları genelde %0,4-1,5 ağırlık oranlarında olur (German, 2007).

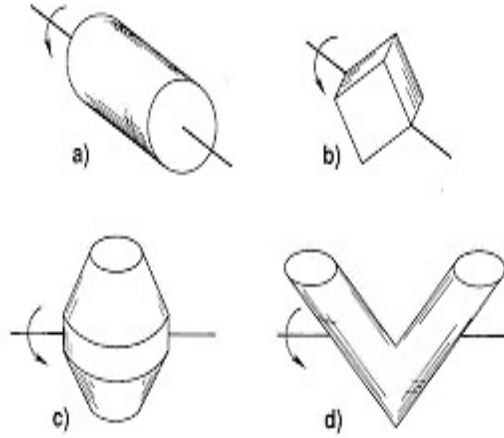
V tipi karıştırıcı Şekil 3.3’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3. V tipi karıştırıcı (German, 2007)

Şekilde verilen ikili konik karıştırıcısı genellikle fiyat, verimlilik ve kısa karıştırma süreleri açısından en etkili olandır. Karıştırıcı içindeki tozun hacmi verimliliği etkiler. Bu sebeple genel olarak karıştırıcı tankının hacminin %20'si veya %40'ının kullanımı uygundur. Dönme hızı da verimliliği etkiler. İdeal dönme hızı optimum sonuçların alındığı dönme hızıdır, en iyi karıştırma merkezkaç kuvvetlerinin küçük olduğu ancak türbülans oluşturmayacak kadar küçük olmayan durumlarda gerçekleşir (German, 2007).

Tozların karıştırılması ve harmanlanmasında genel olarak kullanılan değişik şekillerdeki karıştırıcılar Şekil 3.4'de verilmiştir. Bu karıştırıcılarda karışımı arttırmak için kanatçıklar bulunabilir.



Şekil 3.4. Tozların karıştırılması ve harmanlanmasında kullanılan bazı ekipman geometrileri (Zeren, 2010)

3.2.3.2. Sıkıştırma

Toz metalürjisindeki en önemli adımlardan birisi de presleme işlemidir. Metal tozların, özel olarak hazırlanmış kalıp içerisinde basınç etkisiyle kompakt bir hale getirilmesi işlemine presleme denir. Bu işlem genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik preslerde uygulanmaktadır (Çiğdem, 1996).

Kalıpta sıkıştırma, tozların en yaygın şekillendirilme ve yoğunluk kazandırılma yöntemidir. Tozlara basınç uygulandığı zaman öncelikle parçacıklar birbirini üzerinden kayarak daha sonra da yüksek basınçlarda parçacığın şekil

değiştirmesiyle yoğunlaştırılırlar fakat gözenekler kapandıkça toz, yoğunlaşmaya karşı artarak direnç gösterirler. Bu sebeple parçacık sertliği sıkıştırma için önemli bir unsurdur. Çok sert ve çok yumuşak tozlar daha düşük basınçlarda sıkıştırılır (German, 2007).

Toz parçacıklarına uygulanan basınç sebebiyle, aşağıdaki olaylar meydana gelir ve parçacıklar birbirlerine kaynarlar:

- a) Basınç nedeniyle, toz parçacıklarının birbirlerine temas yüzeyleri artar.
- b) Basınç tesiri altında birçok tanenin yüzeyi birbirine sürterek, oksit ve gaz tabakalarının teması ortaya çıkar.
- c) Toz taneciklerinin karşılıklı sıkıştırılmaları çok kısa süreli ve bölgesel sıcaklık yükselmelerine neden olur. Bunun sonucu olarak temas yüzeylerinde atomlar arasında yeni ve kısmi bir organizasyon meydana gelir. Böylece tozlar bir bütün haline gelir (Anık, 1997).

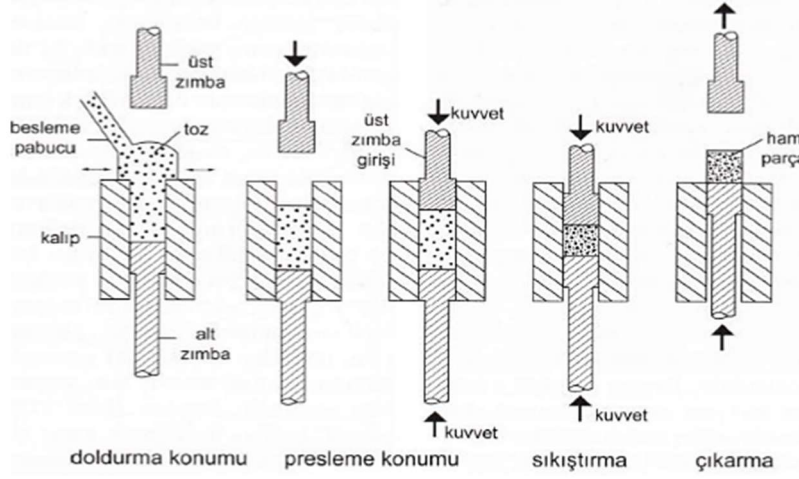
Tozun sıkıştırılmasında kullanılan yöntemler:

- Kalıpta sıkıştırma,
- İzostatik sıkıştırma,
- Yüksek enerjili sıkıştırma,
- Ekstrüzyonla sıkıştırma,
- Enjeksiyonla kalıplama
- Toz dövme ile şekillendirme,

* Kalıpta sıkıştırma

Kalıpta sıkıştırma, tozları istenilen şekilde preslemek için alt ve üst zımbalar kanalıyla basınç uygulanmasıdır. Tozlar bu şekilde biçimlendirilir ve yoğunluk kazanır. En yaygın kullanılan yöntem tek eksenli kalıpta sıkıştırma. Bu yöntemde, eğer basınç tek bir zımbadan uygulanırsa tek etkili presleme denir. Eğer basınç alt ve üst zımbaların her ikisinden de yapılırsa bu işleme çift etkili presleme denir ve tek etkili prese göre daha homojen malzeme elde edilir (German, 2007).

Kalıpta sıkıştırma işlemi Şekil 3.5’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kalıpta çift etkili sıkıştırma (German , 2007)

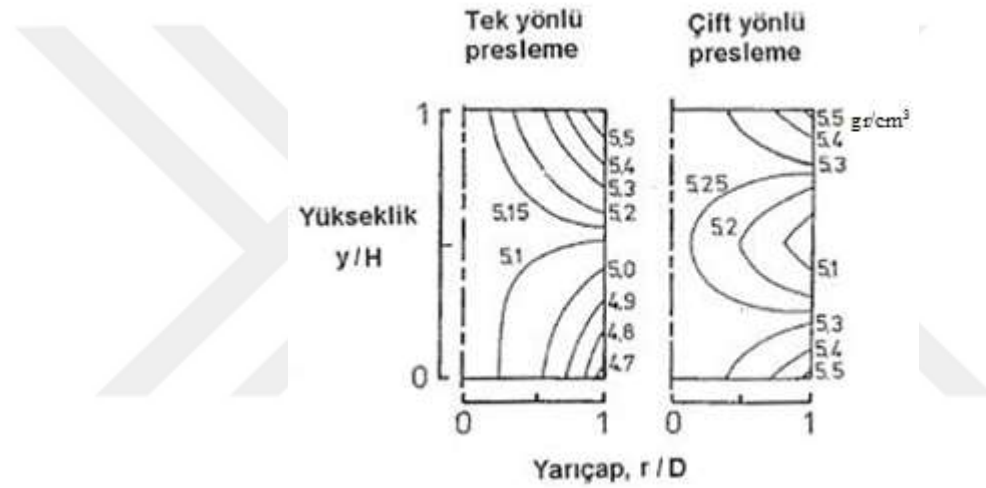
Preslemeden sonra, ham parça kalıbın içinde mekanik olarak kilitlemiş durumdadır. Parçayı çıkartacak kuvvete çıkartma kuvveti denir ve yağlayıcı burada önemlidir, yağlayıcı etkisi arttıkça hem çıkartma kuvveti, hem de kalıp aşınmaları azalır. Düşük basınçlardaki sıkıştırma işlemlerinde yağlayıcı bu önemli etkileri yapar fakat yüksek basınçlarda yağ parçacıkları hacim kapladığından yoğunluğu düşürür. Bu yüzden yüksek viskoziteli yağlar tercih edilmelidir. Yüksek presleme basınçları daha yoğun parça verir. Basınç uygulanmasıyla kalıbın içindeki parçacıkların temas noktaları artar, birbirlerine yaklaşır ve yoğunlaşma artar. Parçacıklar sert veya kırılğan ise veya aşırı basınç altında kalırlarsa sıkıştırma sırasında parçalanırlar. Küçük parçacıkların görünür yoğunluğu düşüktür, genellikle sert olduklarından ve sıkıştırma sırasında hızlı sertleştiklerinden dolayı sıkıştırılmaları daha zordur. (German, 2007)

Sabit kalıpta presleme

Kalıpla sıkıştırmada en önemli zorluklardan biri de kalıp yüzeyinde oluşan sürtünmedir. Bu sürtünme ham parçanın kolay çıkartılmasını engellediği gibi yoğunluk farkının oluşmasına da sebep olur. Zımbaya yakın olan yerler yoğundur ancak uzaktaki tozlar etkilenmemiştir. Bunun sebebi, tozun kuvveti alıp çeperlerine

sürtünme olarak yaymasıdır. Kalıp yüzeyi sürtünmesine bağlı olarak oluşan değişken ham yoğunluk, parçanın sinterleme sırasında çarpılmasına sebep olur. Yoğunluk gradyanları, çift hareketli preslemede alt ve üst zimbaların aynı anda ortaya doğru hareket etmesiyle azaltılmaktadır. Çoğu zaman sıkıştırılmış parçada yoğunluğun en az olduğu yerin parçanın orta bölgesi olması istenir. Sıkıştırma basıncı ve yoğunluk arttıkça kalıp yüzeyinde oluşan sürtünme de artar. (German, 2007)

Tek ve çift etkili preslemedeki yoğunluk farklılıkları Şekil 3.6'da şematik olarak gösterilmiş ve yoğunluk çizgilerinin birimi gr/cm^3 olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Tek ve çift etkili presleme sonucu yoğunluk farklılıkları (Öztürk ve İcin, 2015)

Ham mukavemet ya bağlayıcıdan veya parçacıkların temasından oluşur. Eğer parçacıklar yumuşaksa, bunlar temas noktalarında sıvanarak bağ meydana getirirler. Düzensiz yapıdaki tozlar yüksek ham yoğunluğa sıkıştırıldığı zaman, parçacıklar soğuk kaynak olur ve mekanik olarak kilitlenirler. Sıvanma ve kilitlenme daha yüksek ham mukavemete katkıda bulunurlar. Dolayısıyla, yuvarlatılmış fakat düzensiz şekildeki parçacıklar daha iyi ham mukavemet verir. Sert tozlarda ham mukavemeti artırmak için polimer bağlayıcılar (aseton, eter-parafin, sentetik reçineler) sıklıkla kullanılır. Neticede, presleme zorluğu doğrudan malzemenin akma mukavemeti ile ilgili olduğu gösterilmektedir (German, 2007).

Tozlar sıkıştırılma işlemi uygulanmak için kalıba doldurulurken homojen ürün elde etmek için dikkat edilmesi gereken nokta, toz besleme pabucu kalıbın üstünde

iken alt zımba çekilerek tozu kalıbın içine çekilmesidir. Doldurma yapıldıktan sonra, toz kütlesi sıkıştırma pozisyonuna taşınır ve üst zımbanın kalıba ilerlemesi sağlanır (German, 2007).

Kalıp tasarımında dikkat edilecek hususlar ise, toz doldurma yüksekliği uygun olmalı, üretilecek parçanın sayısına ve hangi basınçta üretileceği ile ilgili kalıp malzemesi seçimi ve aşınmaya karşı kaplanması, kalıp boyutlarının iyi hesaplanmasıdır (German, 2007).

Preslemede ortaya çıkan hatalar

Presleme sırasında veya sonrasında parçayı çıkartırken bazı hatalar veya çatlaklar meydana gelebilir.

Ham çatlaklar genel olarak üç sebepten kaynaklanır:

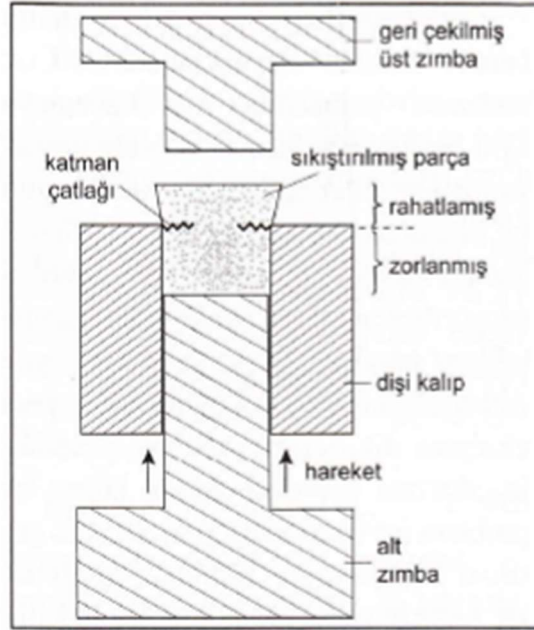
- Genellikle aşınmadan kaynaklanan kalıp yüzey boşlukları,
- Uygun olmayan kalıp hareketleri,
- Çıkartma sırasında oluşan çekme gerilmeleri (German, 2007).

Çatlağın sebebi kalıp değilse, kalıp hareketinden olabilir. Çok kademeli parçalarda, her kademeye aynı basınç uygulanmalıdır yoksa bir parça bölgesi daha önce sıkışacak ve ara yüzeyde çatlak oluşacaktır. Bunun tersi olarak, pres eksenine dik olan çatlaklar genellikle çıkartma sırasında oluşur. Diğer bir problem ise uzun kalıp parçalarında gerilme boşalmasıdır. Çıkartma pabucu, çıkartılmış parçaya çok sert çarparsa çatlak oluşumuna sebep olabilir (German, 2007).

Geri yaylanma

Basınç kaldırıldığı zaman preslenmiş parça genişler ve bu olaya geri yaylanma denir. Geri yaylanma sıkıştırma basıncının karesiyle orantılı olup, %0,2-0,4 arasındadır. Sinterlemeden sonra istenilen ölçülerin elde edilmesi için bu boyutsal değişim kalıp tasarımında göz önüne alınmalıdır (German, 2007).

Geri yaylanma olayı Şekil 3.7’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Geri yaylanma (German,2007)

Geri yaylanma çatlakları ise, çıkartma gerilmesi ham mukavemeti geçtiği zaman oluşur. Zorlanmış alt kısım ile rahatlamış üst kısım arasında oluşan gerilme farkından dolayı oluşur. Bu çatlaklar, çıkartma sırasında parçanın üst tarafına baskı uygulayarak önlenir. Kısaca, uygulanan baskı sıkıştırma basıncından çok düşük olmalıdır (German, 2007).

İzostatik sıkıştırma

İzostatik presleme; büyük, uzun, ince veya kalıpta sıkıştırma yöntemiyle homojen olarak yapılamayacak parçaların üretiminde kullanılır. Bu presleme yönteminde, kalıp yüzeyi sürtünmesi olmadığı için kalıpta sıkıştırma yöntemine göre daha fazla yoğunluğa sahip numune üretilebilir (German, 2007).

Yüksek enerjili sıkıştırma

Yüksek enerjili sıkıştırma işlemi, tozların kısa bir süre içinde yüksek kuvvetlerde sıkıştırılması ile yapılır.

Ekstrüzyonla sıkıştırma

Ekstrüzyonla sıkıştırma yöntemi, çubuklar, tüpler, bal petekleri ve matkap uçları gibi uzun, ince şekiller elde etmek için kullanılır. Ürünün şekli ekstrüzyon kalıbına bağlıdır (German, 2007).

Enjeksiyonla kalıplama

Enjeksiyonla kalıplama, genellikle karmaşık şekilli, yüksek yoğunluklu ve performanslı malzemeler üretmek için uygulanan bir yöntemdir (German, 2007).

Toz dövme ile şekillendirme

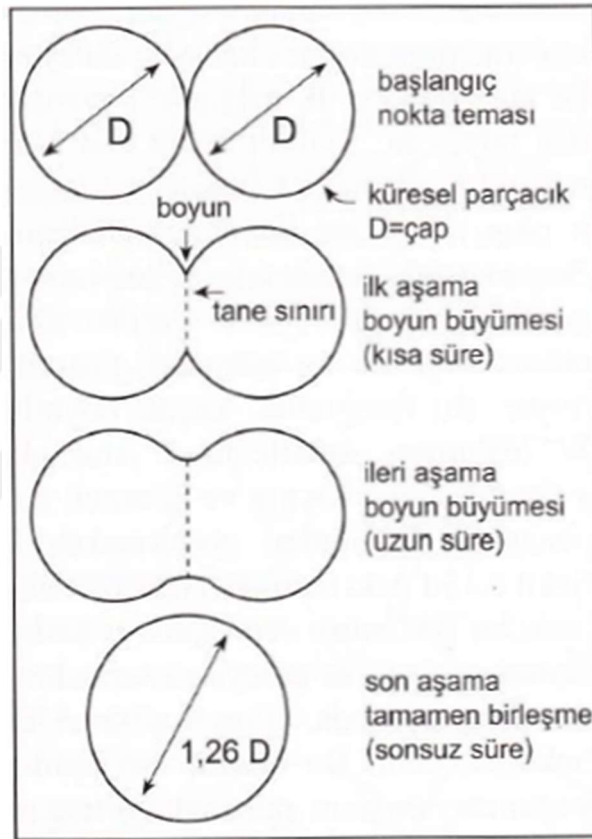
Toz dövme ile şekillendirme, genellikle yüksek yoğunluklu kısa, yassı, yuvarlak parçalar üretmek için kullanılan bir yöntemdir (German, 2007).

3.2.3.3. Sinterleme

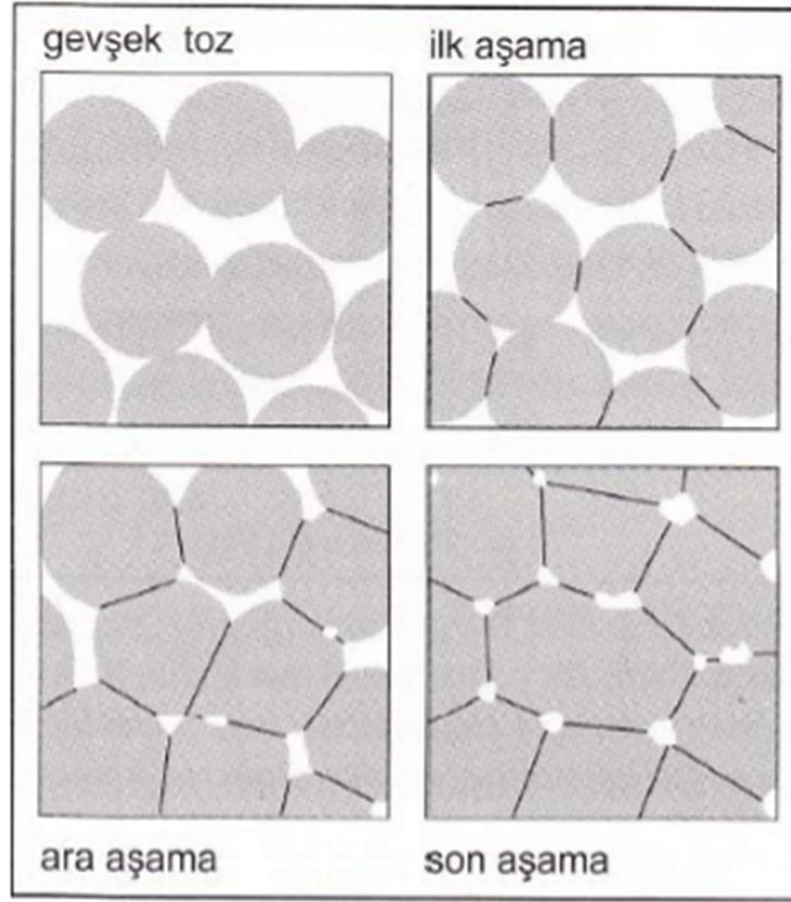
Sinterleme, parçacıkların birbirine bağlanmasını sağlayarak önemli ölçüde mukavemet artışına ve özelliklerin iyileşmesini sağlayan bir ısıtma işlemidir. Bu bağlanma, ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleriyle oluşabildiği gibi pek çok durumda, sıvı faz oluşumu ile birlikte gerçekleşir. Sinterleme, yüksek sıcaklıkta atomların yayılımı ve küçük parçacıkların yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir. Sinterlemedeki geometrik değişimler atomların hareketini sağlayan ısıtmadan kaynaklanır. Yüksek sıcaklıklarda, çok sayıda atom komşuları ile bağlarının koparacak ve yeni yerlere gidecek düzeyde veya daha yüksek enerjiye sahiptir. Sinterleme esnasında atom hareketleri görülmez ancak hacim değişimleri meydana geldiğinden, işlem genelde bu değişimler ile izlenir. Sinterlemenin temel ölçülerinden biri de boyun çapının parçacık çapına oranıdır. Ayrıca sinterleme sırasında yüzey alanı hızla azalır. Birçok ham parçada sinterleme sırasında boyut, yoğunluk, mukavemet, sertlik, elektrik ve ısıtma iletkenlik, elastiklik modülü gibi özelliklerde de değişimler olur (German, 2007).

Sinterleme öncesi, bağlayıcı veya yağlayıcı olarak kullanılan polimerler uzaklaştırılmalıdır. Polimer yakma işlemi, ham parçanın içindeki polimer ısıtılarak önce ergitilir ve daha sonra molekül bağlarını kopararak ham parçadan buharlaşması gerçekleştirilir (German, 2007).

Sinterleme işleminde parçacıkların bağ gelişimi Şekil 3.8’de ve sinterlemenin aşamaları ise Şekil 3.9’da şematik olarak gösterilmiştir.

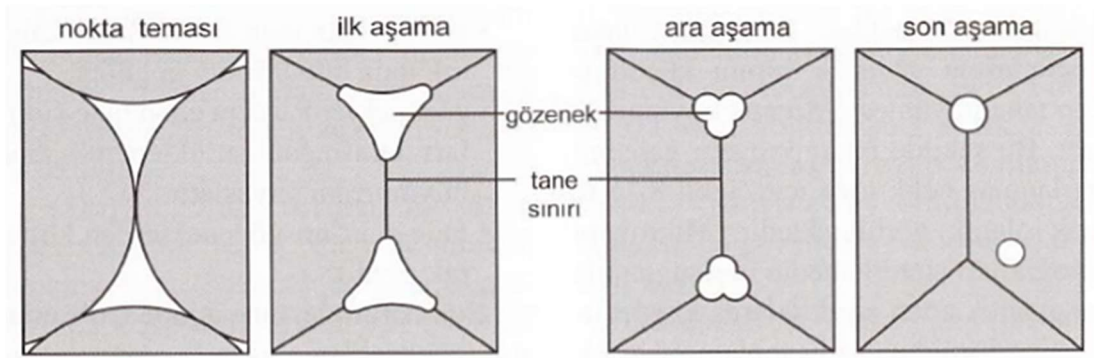


Şekil 3.8. Sinterlemede parçacıklar arası bağ gelişimi (German, 2007)



Şekil 3.9. Sinterlemenin aşamaları (German, 2007)

İyi sinterleme için, hızlı tane büyümesi aşamasında dahi, gözeneklerin tane sınırı ile bağlantılı olmasının sağlanması önemlidir. Sinterleme esnasında gözenek yapısındaki değişimler Şekil 3.10'da verilmiştir (German, 2007).



Şekil 3.10. Sinterleme esnasında gözenek yapı değişimi (German, 2007)

* Sıvı Fazlı Sinterleme

Sinterleme sırasında taneleri birbirine bağlayan ve içinde hızlı yayılım olduğu lehimli oluşturan sıvı faz oluşmasıyla sıvı fazlı sinterleme olur ve bu, sinterleme hızını önemli ölçüde artırır. Sıvı faz sinterleme için temel gereksinim ıslatmadır. Genellikle, ıslatma katının sıvı içinde çözüldüğü durumlarda gerçekleşir. Bunlara ilave olarak bu çözünürlük katının sıvı içinden yayınabilmesini sağlar. Bu şartlardaki yayılım hızları olası katı-hal yayılımından çok daha fazladır. Sıvı fazlı sinterlemedeki yoğunlaşma aşamaları Şekil 3.11’de gösterilmiştir (German, 2007).



Şekil 3.11. Sıvı fazlı sinterlemenin kavramsal aşamaları (Öztürk ve İcin, 2015))

Başlangıçta, ısıtma sırasında taneler katı hal sinterlemesi ile birbirine bağlanır. İlk sıvı oluştuğu zaman hızlı bir yoğunluk artışı olur. Oluşan sıvı katıyı ıslatarak oluşmuş olan katı bağları çözer ve yeniden düzenlenmesini sağlar. Bundan sonra, çözeltili tekrar çökme olarak bilinen işlemde, sıvı katı atomların taşıyıcısı olur. Bu safhada daha küçük taneler sıvı içerisinde çözülür, sıvı içinde yayılır ve daha sonra büyük tanelerin üzerine çöker. Öncelikle küçük taneler sıvı fazı içinde çözülür, zamanla tane sayısı azalır ve tane boyutu artar (German, 2007).

Sinterleme işlemi, özel koruyucu atmosfer veya vakum altında yapılır. Sebebi ise, parça ve çevresinin oksitlenmeden uzak tutmak, sinter parçasını atıklardan arındırmak ve sinter parçası ile alaşım yaparak sinterlemeyi hızlandırmak içindir (Öztürk ve İcin, 2015).

3.2.3.4. İkincil işlemler

Toz metalürjisi ürünleri çoğu zaman sinterleme işleminden hemen sonra kullanılırlar. Bununla beraber bazı ürünler boyutsal hassasiyetin geliştirilmesi ve bazı spesifik özellikler kazandırmak için sekonder işlemlere uğratılırlar. Tekrarlı presleme olarak adlandırılan ikinci bir presleme işlemiyle boyutsal toleranslar azaltılabilir (Çiğdem, 1996).

Gözenekli yapıya sahip toz ürünlerine yağ emdirilmiş yataklarda olduğu gibi, yağ veya diğer sıvılar, basınç uygulama, banyoya daldırma veya vakumlu presleme işlemleriyle emdirilir. Kullanım sırasında uygulanan yük ve sıcaklığın etkisiyle emdirilmiş yağlar salıverilir (Çiğdem, 1996).

Toz ürünleri aynı zamanda geleneksel bitirme prosesleri olan ısıtma işlemi, talaşlı işlem veya yüzey işlemlerine tabi tutulabilirler (Çiğdem, 1996).

3.3. Sert lehimleme

İki metalik olan malzeme ve bir ilave malzeme, kendileri erimeden, erime derecesi, daha düşük olan bir ilave malzemenin eritilmesiyle birleştirilirse, bu işleme lehimleme denir. Eritme kaynağında ise, birleştirilecek parçalar bölgesel olarak eritilmektedir (Anık, 1997).

Lehimlemede çalışma sıcaklığına kadar tavlanan esas malzemenin yüzeyine düşen bir damla lehim alaşımı yüzeyde yayılmaya başlar ve katılaşmadan sonra, yüzeylerde birleşmeyi sağlar. Burada birleşme, bir difüzyon olayıdır. Esas malzemedeki bazı elementler lehim alaşımına ve lehim alaşımındaki bazı elementler, esas metale difüzyon yoluyla geçer (Anık, 1997).

Lehimleme, sıcaklığına göre; yumuşak ve sert lehimleme olarak ikiye ayrılır. Erime sıcaklığı, 450 °C'nin altında bulunan lehim alaşımalarıyla yapılan birleştirmeye yumuşak lehimleme, 450 °C'nin üstünde bulunan lehim alaşımalarıyla yapılan birleştirmeye de sert lehimleme denir (Anık, 1997).

Islatma (sulanma) sıcaklığı, erimiş haldeki lehim alaşımının, esas malzeme üzerinde tutunabileceği bir sıcaklıktır. Böylece eriyen lehim alaşımı, temas yüzeyleri

arasına akıp, birleşmeyi sağlar. Bu sıcaklık, birleşme sıcaklığı olarak da bilinir (Anık, 1997).

Dekapanlar

Genel olarak açık atmosfere maruz kalan metalik yüzeylerde bir oksit tabakası oluşur. Lehimleme esnasında sıvı haldeki lehim alaşımının birleşme sağlayabilmesi için, yüzeylerin temiz ve oksitsiz olması gerekir. Bu sebepten lehimleme işleminde ayrıca, dekapan adı verilen yüzey temizleyicileri kullanılır (Anık, 1997).

Dekapan metalik olmayan bir malzemedir. Birleştirilecek yüzeylere yeterli miktarda sürüldüğü zaman; yüzeyleri temizleyerek, oksit filmini kaldırır ve lehimin yüzeye birleşmesini sağlamaktadır. Ayrıca, yeni oksit filminin meydana gelmesini engellemektedir. Lehimlemede kullanılan dekapanların vazifeleri şunlardır:

- Oksit tabakasını çözer ve yeniden oksitlenmeye engel olur.
- Lehim alaşımının yüzey gerilimini azaltarak, esas metalin yüzeyinin daha iyi ıslatılmasını ve lehimin yüzeyde yayılmasını temin eder.
- Dekapanlar, esas metal ile derhal birleşen metal iyonlarını barındırır. Bunlar erime işlemi esnasında redüklenerek, birleşmeyi kolaylaştırırlar.
- Bazı hallerde örtü vazifesini gören dekapanlar birleşme bölgesinin çabuk soğumasını önlerler.
- Dekapanlar esas vazifelerini sıvı halde yerine getirdiklerinden; erime dereceleri, lehim alaşımınınkinden biraz düşüktür. Böylece; dekapanın erimesi, lehimleme işlemine başlamanın zamanının geldiğini ifade eder (Anık, 1997).

Genellikle, dekapan olarak boraks, boratlar ve borik asit kullanılmaktadır.

Borik asit

Bor madeni kaynağı olarak ülkemiz, dünyada önemli bir yer teşkil etmektedir. Bor tuzları içerisinde en önemli olanları borik asit, boraks ve kolemanittir. Bunların birçok kullanım alanı vardır ve bu yerlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Yalıtım cam elyafı
- Cam
- Tarım
- Sabun ve deterjan
- Kozmetik
- Alev geciktirici
- Seramik sanayi
- Metalürji

Endüstride, sert lehimleme işlerinde en yaygın kullanılan dekapanlardan biri borakstır. Dekapan olarak kullanılmasının amacı, sürüldüğü yüzeyi temizleyerek, oksit filmini kaldırması ve lehimin yüzeye birleşmesini sağlamaktır. Ayrıca, yeni oksit filminin meydana gelmesini engellemektir. Bir diğer görevi de, lehim alaşımlarının yüzey gerilimini azaltarak, esas metalin yüzeyinin daha iyi ıslatılmasını ve lehimin yüzeyde yayılmasını temin eder (Anık, 1997).

Boraksın, bir mineral asitle tepkimesi sonucu veya ülkemizde üretildiği gibi kurak iklim bölgelerinde bulunan tuz göllerinde oluşan boraks ile birlikte oluşan kolemanitin sülfirik asitle reaksiyonu sonucu yan ürün olarak borik asit oluşmaktadır. Borik asitte boraks gibi dekapan olarak kullanılabilir. Fiziksel özellikleri renksiz, tatsız, kokusuzdur ve soğuk suda orta derece çözünür, alkolde ise tam olarak çözünür. Kimyasal gösterimi H_3BO_3 ' tür, Kullanım yerleri; yanmaz kumaşlarda, cam sanayisinde, kozmetik ve ilaç sektöründe, kaplama malzemelerin akışkanlığını arttırmada, doyunlaşma ısılarını düşürmede kullanılır.

MMK malzemelerde bulunan borik asit (H_3BO_3), ısıtıldığı zaman suyunu kaybederek metaborik aside (HBO_2) dönüşmektedir. Metaborik asidin ise; ortorombik,

monoklinik ve kübik metaborik asit olmak üzere (ergime sıcaklıkları sırasıyla; 176 °C, 200,9 °C ve 236 °C) üç farklı kristal modifikasyonu vardır. Sıcaklık 150 °C kadar dehidrasyon HBO₂ formunda kalmakta ve sıcaklık yükseltildikçe yapıdaki tüm su buharlaşarak susuz borik asit elde edilir. Kristal susuz borik asit 450 °C'de erimekte ve kaynama noktası 2200 °C'dir. Amorf borik asidin ise belirli bir erime sıcaklığı yoktur ve yaklaşık 325 °C'de yumuşamaya başlar, yaklaşık 500 °C'de tamamen erir. Borik asidin tamamen ayrışması sonucu bor oksit (B₂O₃) oluşmaktadır (Kirk-Othmer, Smith R.,1990 ve Kocakuşak S. ve ark., 1998).

Lehim usulleri

Sert lehimlemede parçaların lehimleme sıcaklıklarına ısıtılmasında takip edilen yollara göre, aşağıdaki lehimleme usulleri vardır (Anık, 1997):

- Üfleçle lehimleme
- Fırında lehimleme
- Endüksiyonla lehimleme
- Elektrik direnci ile lehimleme
- Elektrik arkı ile lehimleme
- Erimiş lehim banyosuna daldırarak lehimleme
- Dekapan banyosuna daldırılarak lehimleme

Lehim, parçaları malzeme bağıyla birleştirme yöntemlerinden birisidir. Çelik, dökme demir, bakır, çinko, pirinç, bronz ve soy metaller çok iyi lehim yapılabilen malzemelerdir. Seramik ve metaller de birbirlerine lehimlenebilirler. Kolay, çabuk yapılabilen, ucuz bir yöntemdir. Lehim malzemelerine göre sert lehimler aşağıdaki gruplara ayrılır (Babalık, 2009):

- Pirinç lehim
- Gümüşlü lehim
- Özel sert lehim (Bakır esaslı)
- Alüminyum lehim

- Nikel esaslı lehim

Lehim alaşımları ve uygulama alanları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Lehim alaşımları ve uygulama alanları (Belevi, 2013)

Lehim tipi İsim ve sembol	Bileşim (%) (Alaşım elementleri)	Ergime (çalışma) sıcaklığı °C	Lehimlenecek malzemeler	Uygulama alanları
YUMUŞAK LEHİMLER				
Kalay lehim 8 L Sn 8 Kalay lehim 25 L Sn 25	8 Sn, 0,6 Sb, gerisi Pb 25 Sn, 1,7 Sb gerisi Pb	305 257	Çelikler, bakır ve çinko alaşımları	Çeşitli lehim uygulamaları, ön kalaylama
Kalay lehim 40 L Sn 40 Kalay lehim 60 L Sn 60	40 Sn, 2,7 Sb, gerisi Pb 60 Sn, 3,2 Sb gerisi Pb	223 185	Çelikler ve bakır alaşımları	İnce lehimler
Çinko lehim 98 L Zn 98 Kurşun lehim 98 L Pb 98	98 Zn, gerisi Cu En az 98,5 Pb	410 230	Çinko ve bakır alaşımları	Çinko plakalar Alev ve dalma lehim
SERT LEHİMLER				
Pirinç lehim 42 L Ms 42 Pirinç lehim 63 L Ms 63 Pirinç lehim 85 L Ms 85	42 Cu, gerisi Zn 63 Cu, gerisi Zn 85 Cu, gerisi Zn	845 910 1020	Yeni gümüş Cu ve Ni alaşımları Çelik Cu alaşımları ve kır dökme demir	Kabza, sap Alet yapımı, tesisat işleri, boru donanımı
Bakır lehim L Cu	Saf bakır (Elektrolitik Bakır)	1100	Alaşımsız çelikler	Alet yapımı (Yüksek mukavemet)
Gümüş lehim 8 L Ag 8 Gümüş lehim 25 L Ag 25	8 Ag, 55’e kadar Cu, gerisi Zn 25 Ag, 43’e kadar Cu, gerisi Zn	860 830	Çelik-bakır ve bakır alaşımları	Korozyona dayanıklılık isteyen bağlantılar (optik, ince mek.)
Gümüş lehim 45 L Ag 45	45 Ag, 20 Cd	620	Çelik, bronz, soy metaller	Gerilime hassas madenler
Hafif metal lehim Alüminyum- çinko lehim	19 Cu, gerisi Zn 56 Zn, 4 Al, gerisi Cd	320	Alüminyum dökümler	Döküm parçaları

3.4. Talaş Oluşumu ve Çeşitleri

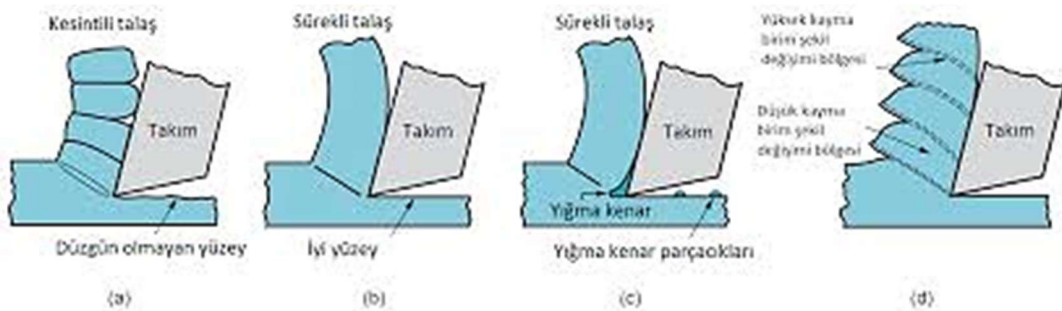
Takım tezgâhına bağlanan, belirli bir geometriye sahip kesici takım vasıtasıyla istenen boyut ve biçimde parça üretilmesi veya iş parçasından fazla malzemenin talaş şeklinde uzaklaştırılması, özellikle iş parçası metal ise bu işlem talaş kaldırma olarak isimlendirilir (Alsaran, 2013).

Talaş kaldırma prensipleri;

1. Takım malzemesinin işlenecek parçadan daha sert olması
2. Kesici takım uygun konumlamada rijit şekilde tespit edilmesi ve kesme işlemi esnasında takımı etkileyen aşırı basınca dayanabilmesi
3. Optimum kesme etkisinin ortaya çıkması için iş ve takım arasında bağlı hareket olması
4. Yeterli takım ömrü ile maksimum kesme etkisi sağlayan belirli bir geometriye sahip olması (Alsaran, 2013).

Talaşlı imalat yardımıyla işlenen malzemenin cinsi ve kesme şartlarına bağlı olarak, dört tip talaş meydana gelir. Bunlar, kesintili talaş, sürekli talaş, yığılma kenarlı sürekli talaş, testere dişi şekilli talaştır.(Anık, 1997).

Talaş çeşitleri Şekil 3.12’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.12. Talaş çeşitleri (Groover, 2010)

a- Kesintili Talaş: Dökme demir gibi diğer malzemelere göre gevrekliği yüksek malzemeler düşük kesme hızlarında işlendiğinde talaşın bölüm bölüm oluştuğu tiptir. Bu durum işlenmiş malzeme yüzeyinde düzensiz doku oluşmasına neden olur.

Takım ile talaş arasında oluşan yüksek sürtünme, ilerleme ve pasonun fazla oluşu talaşın bu şekilde oluşmasına katkı sağlar (Groover, 2010). Bu çalışmada kullanılan dökme demir talaşları, kesintili tiptedir.

b- Sürekli Talaş: Sünek malzemeler yüksek kesme hızlarında ve düşük ilerleme ve pasolarda işlendiğinde uzun sürekli talaş formu oluşur. Bu talaş tipiyle iyi bir yüzey kalitesi elde edilir. Kesme kenarının keskin olması ve talaş ile talaş yüzeyi arasındaki sürtünmenin az olması bu tip talaş oluşmasını destekler. Uzun talaş oluşumu, tornalama operasyonunda olduğu gibi talaşın tahliye edilmesi ve talaşın takıma sarılması gibi problemlere neden olur. Bu problemi ortadan kaldırmak için tornalama takımları genellikle talaş kırıcılı olarak donatılırlar (Groover, 2010). Bu çalışmada kullanılan pirinç talaşları, sürekli tiptedir.

c- Yığma Kenarlı Sürekli Talaş: Sünek malzemeler orta veya düşük kesme hızlarında işlendiğinde takım ile talaş arasındaki sürtünme iş parçası malzemesinin bir kısmının kesme kenarı yakınındaki talaş yüzeyi üzerine bağlanmasına neden olur. Bu oluşuma yığma kenar denir. Yığma kenar oluşumu periyodik olarak devam eder. Birçok durumda yığma kenar oluşumu talaş ile uzaklaştırılır. Bazen, takımın talaş yüzeyinin bir kısmının da aşınmasına neden olur. Bu durum takım ömrünün kısılmasına yol açar. Talaş ile uzaklaştırılmayan yığma kenar parçacıkları yeni oluşturulan yüzey üzerine tutunarak yüzey kalitesini düşürür (Groover, 2010).

d- Testere Dişi Şekilli Talaş: Bu tip talaşlar testere dişi görümlü olan yarı sürekli talaşlardır. Bu talaş tipi yüksek kayma birim şekil değişiminin ardından düşük kayma birim şekil değişiminin periyodik olarak etkimesiyle oluşur. Bu talaş tipi, talaşlı imalatı zor olan titanyum alaşımları, nikel esaslı süper alaşımlar ve östenitik paslanmaz çelikler gibi metallerin yüksek kesme hızlarında işlenmesinde ortaya çıkar (Groover, 2010).

Pirinç ve Dökme Demir Malzemelerinin Özellikleri

Pirinç malzeme özellikleri

Yapıda matris eleman olarak kullanılan pirinç malzemenin kullanım alanları içerdiği çinko oranına göre değişiklik göstermektedir. Bunlardan bazıları,

- %5-20 çinko içeren pirinçler renk özelliğinden ötürü süslü metal işlerinde, ucuz mücevherat ve mimari maksatlarda tercihen kullanılır.
- %70-30 çinko içeren pirinçler fazla uzama kabiliyeti istenen tel çubuk, kondansatör boru yapımında kullanılır.
- %40-43 çinko içeren pirinçler alfa-beta pirinçleri olarak bilinir ve daha az uzama kabiliyetine sahiptir, fakat çok kolay işlenebilirler. Bu tür pirinçler ekstrüzyona, haddelemeye, sıcak dövme ve preslemeye uygundur (Eker, 2008).

Dökme demir malzeme özellikleri

Yapıda takviye elemanı olarak kullanılan ve MMK malzemenin ekonomik olmasını sağlayan küresel grafitli dökme demir talaşlarının mekanik özellikleri çeliklere benzer ve bu talaşlar yüksek uzama ve dayanım özellikleri isteyen makine parçaları, basınçlı borularda, valflerde, fırın parçalarında, dişli çarklarda, krank millerinde, akslarda vb. yerlerde kullanılmaktadır.

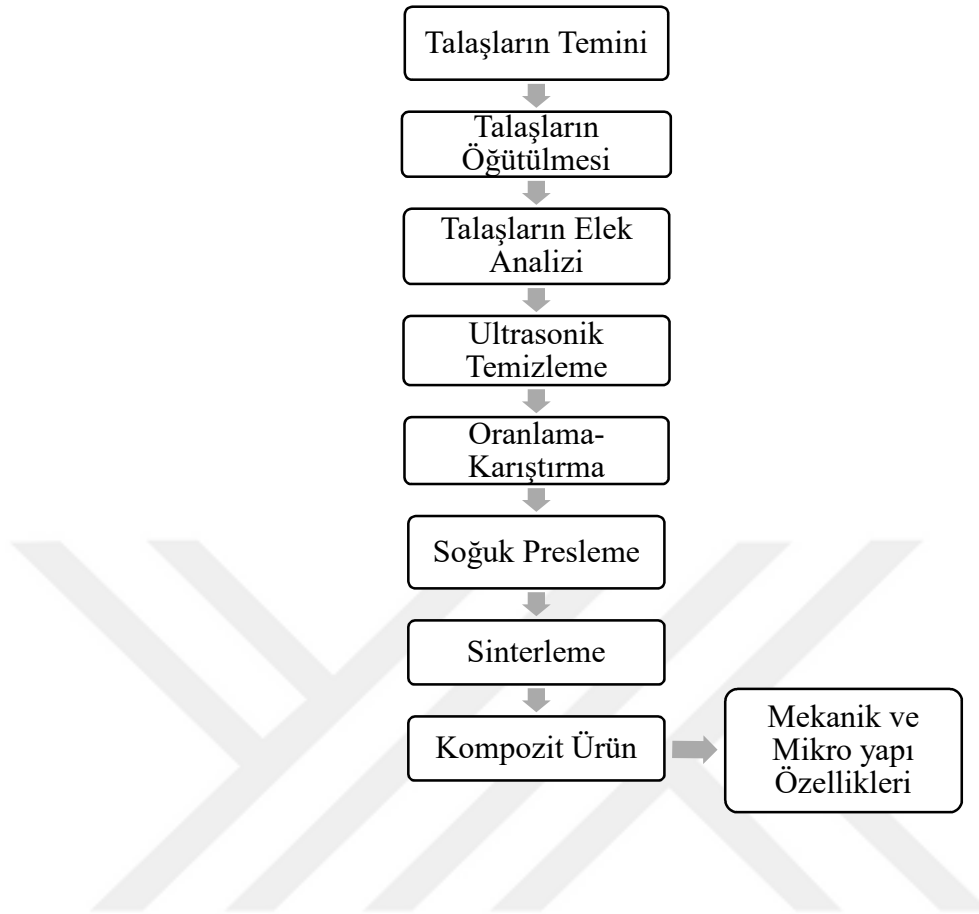
Grafit özellikleri

Küresel grafitli dökme demirin içerisinde bulunan grafit, karbonun çok yapıllı şekillerinden biri olup bir metal ve ametal bileşiği değildir. Grafit tabakalı bir yapıda olup tabakalar kendi aralarında zayıf ikincil bağlarla bağlı olduğundan birbirleri üzerinden kolayca kayar. Tabakaların kayma kolaylığı grafitte yağlayıcı özelliklerini verir (Smith, 2006).

Grafitin diğer istenilen özellikleri, yüksek sıcaklıkta yüksek dayanım ve kimyasal kararlılık, yüksek ısı iletkenlik, düşük ısı genleşme katsayısı ve yüksek ısı şok direnci, gazların yüksek adsorpsiyonu ve iyi işlenebilirliktir. Grafit, elektrotlarda, döküm kalıplarında, elektrik kontaklarında, dirençlerde, piller gibi yerlerde kullanılmaktadır (Callister, 2014).

3.5. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada kullanılan CuZn31Si1 pirinç ve GGG-40 dökme demir talaşları, döküm yöntemiyle üretilmiş silindirik numunelerin torna tezgahında işlenmesi sonucu elde edilmiştir. Daha sonra metal talaşlarının istenilen boyut aralığına (250-1000 μm) getirilmesi için halkalı değirmende öğütülmüş ve elek analizi yapılarak boyut dağılımı tespit edilmiştir. Pirinç ve dökme demir talaşlarına, yüzeylerinde bulunan yağ, kir ve oksit tabakasından arındırılması için ultrasonik temizleme işlemi yapılmıştır. Sonrasında yapı, ağırlıkça %50 pirinç-%50 dökme demir, %60 pirinç-%40 dökme demir ve %70 pirinç-%30 dökme demir oranlarında hazırlanarak üç farklı oranda kompozit malzeme elde edilmiştir. Her üç karışıma, etil alkol içerisinde çözünmüş borik asit eklenmiş daha sonra ise karışımlar 80 °C sıcaklığındaki etüv fırınına konularak etil alkol buharlaştırılmıştır. Böylece kompozit karışımlarda bulunan pirinç ve dökme demir talaşlarına ağırlıkça %4 oranında borik asit ilave edilmiştir. Ardından kompozisyondaki metal bileşenlerin yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılması için silindirik karıştırıcı içerisinde karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından ağırlıkça üç farklı oranda hazırlanan karışımlar oda sıcaklığında 730 MPa basınç altında preslenmiştir. Sıkıştırma işlemi yapılan ham MMK malzemelere atmosfer kontrollü sinterleme fırınında 942 °C sabit sıcaklıkta, 45 dk. boyunca tutularak sinterizasyon işlemi yapılmıştır. Presleme ve sinterleme işlemlerinde seçilen üretim parametreleri ön denemeler sonucunda elde edilmiştir. Üretimi yapılan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Çalışmadaki işlem basamakları Şekil 3.13'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.13. Deneysel çalışmanın iş akışı

3.5.1. Metalik kompozit malzemenin üretimi

Pirinç ve dökme demir talaşların ergitmeden geri dönüşümü amaçlanan bu yöntemde sıkıştırma ve sinterleme prosesleri sırasıyla uygulanmış ve MMK malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

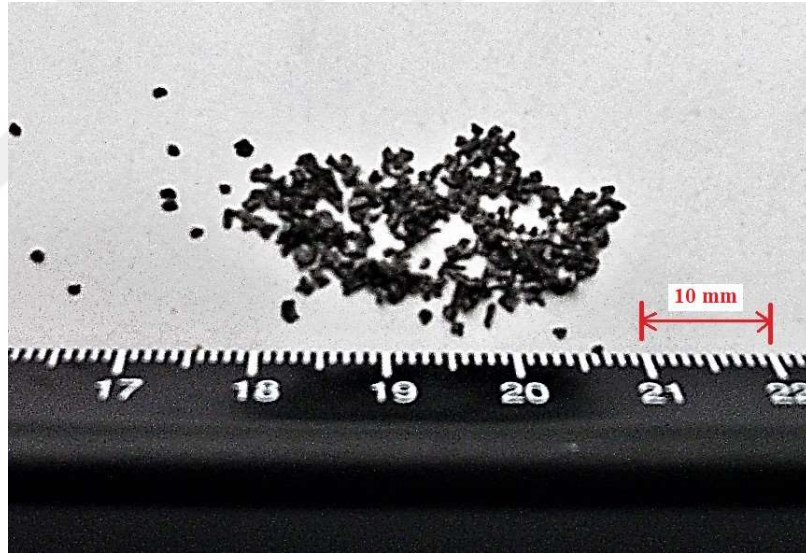
3.5.1.1. Kompozisyonda bulunan malzemeler ve özellikleri

Bu deneysel çalışmada üretilen kompozit malzeme içerisine, takviye elemanı olarak düşünülen dökme demir talaşları, ana yapı (matris) olarak da pirinç talaşları ve bu iki bileşen arasındaki yapısal bir bütünlüğün sağlanması amacıyla (dekapan olarak) borik asit ilave edilmiştir.

*** Küresel grafitli dökme demir (GGG-40)**

Bu çalışmada, kompozit malzemelerin üretim maliyetinin azaltılması ve mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi amacıyla GGG-40 dökme demire ait talaşlar kullanılmıştır (Şekil 3.14). GGG-40 malzeme içerisindeki, katı yağlayıcı özellik taşıyan grafit sebebiyle tatminkâr tribolojik özelliklere sahip olmasından dolayı endüstride yatak elemanı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca üretimi gerçekleştirilen kompozit numunelerin tribolojik özellikleri sonraki çalışmalarda incelenecektir. Bu çalışmada kullanılan GGG-40 malzemesinin talaş tipi kesintilidir.

Kompozit yapıya takviye elemanı olarak katılan GGG-40 dökme demirin kimyasal bileşimi Çizelge 3.2’de verilmiştir. GGG-40 malzemenin yoğunluğu $7,3 \text{ g/cm}^3$ ve ergime sıcaklığı $1150-1250 \text{ }^\circ\text{C}$ ’ dir.



Şekil 3.14. GGG-40 dökme demir talaşları

Çizelge 3.2. GGG-40 dökme demir malzemenin kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)

Bileşenin Adı	C	Mn	Si	Mg	S	P	Fe
GGG-40 (%)	3,40	0,13	2.50	0,04	0.01	0.08	Kalan

MMK'yı oluşturan karışımının içerisinde bulunan küresel grafitli dökme demirin yapısında grafit olduğu için karışıma katı yağlayıcı olarak toz grafit katılmamıştır.

* Pirinç (CuZn31Si1)

Bu çalışmada, CuZn31Si1 pirinç talaşları kompozit yapıya matris elemanı olarak katılmıştır (Şekil 3.15). CuZn31Si1 malzemenin sahip olduğu tatminkar tribolojik özellikler dolayısıyla endüstride yatak elemanı olarak kullanıldığı bilinmektedir. CuZn31Si1 malzemenin seçilmesinin sebebi, sahip olduğu yüksek yük dayanımıdır. Ayrıca, üretimi gerçekleştirilen kompozit numunelerin tribolojik özellikleri sonraki çalışmalarda incelenecektir. Bu çalışmada kullanılan CuZn31Si1 malzemesinin talaş tipi süreklidir.

Kompozit numune üretiminde kullanılan CuZn31Si1 pirincin kimyasal bileşimi, Çizelge 3.3'de verilmiştir. CuZn31Si1 pirinç alaşım malzemenin yoğunluğu $8,4 \text{ g/cm}^3$ ve ergime sıcaklığı $900-950 \text{ }^\circ\text{C}$ ' dir.



Şekil 3.15. CuZn31Si1 pirinç talaşları

Çizelge 3.3. CuZn31Si1 pirinç malzemenin kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)

Bileşenin Adı	Cu	Zn	Si	Pb	Ni	Fe	Sn
CuZn31Si1 (%)	66,70	Kalan	1,30	0,20	0,05	0,31	0,03

* Borik asit

MMK malzemeyi oluşturan talaşlar, 100 ml hacminde ve 70 °C sıcakta ve %99,8 saflıkta olan etil alkol içerisinde çözünmüş % 4 oranında borik asit ile karıştırılmıştır. Sonrasında karışım içerisinde kalan etil alkol, etüv fırınında 80 °C sıcaklığa ısıtılarak buharlaşması sağlanmıştır. Böylece karışımın içerisine, talaşların yüzeylerine yapışmış şekilde ağırlıkça %4 oranında borik asit katılmıştır. Etil alkolün buharlaşma noktası 78 °C'dir. Borik asidin özgül ağırlığı 1,435 g/cm³, erime noktası 170,9 °C ve kaynama noktası 300 °C'dir. Kullanılan borik asidin partikül boyutu 80-100 µm'dir.

HMK ve YMK olmak üzere iki farklı kristal yapılarıdaki dökme demir ve pirinç talaşlarından oluşan karışıma, borik asit ilave edilmesinin amacı, talaş yüzeylerindeki kalıntı oksitlerin giderilmesi ve ilaveten pirincin ıslatma kabiliyetini artırarak kompozit malzemeyi oluşturan partiküllerin birbirlerine güçlü bir biçimde yapışmalarını sağlamaktır.

Ayrıca son zamanlarda borik asidin yağlayıcı ve sürtünmeyi azaltıcı özelliği olduğu çeşitli deneysel çalışmalarla belirlenmiştir (Durak, 2003).

3.5.1.2. Malzemelerin temini ve öğütülmesi

Üretimde kullanılan GGG-40 dökme demir ve CuZn31Si1 pirinç talaşları, döküm yöntemiyle üretilmiş silindirik numunelerin torna tezgâhında 720 dev/dk. hızla işlenmesi sonucu elde edilmiştir. Tornadan çıkan talaşların boyutları 2-3 mm'dir. N.E.Ü Malzeme Laboratuvarı'nda bulunan Liya marka öğütücü cihazla talaşların boyutlarını istenilen aralığına getirmek için $f=26,0$ Hz'de 10 dk. ve $f=32,0$ Hz'de 10 dk. olmak üzere iki aşamalı parametre kullanımı ile öğütülmüştür. Öğütme işlemi sonucunda malzeme kaybının ihmal edilebilir seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Talaşların öğütülmesi için kullanılan halkalı değirmen resmi Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Halkalı değirmen

3.5.1.3. Elek Analizi

Halkalı değirmende öğütme işlemi yapılan metal talaşlar, sırasıyla 1 mm- 500 μm ve 250 μm gözenek boşluğuna sahip (sırasıyla 18-35-60 mesh) elekler yardımıyla boyutlarına ayrılmıştır. 1 mm'den büyük olan talaşlar, sıkıştırma işleminde büyük gözenekler oluşturacağı ve 250 μm 'den küçük olan talaşlar ise sıkıştırma işleminde gözeneksiz çok yoğun bir yapı elde edileceği için kullanılmamıştır. Üretimde kullanılan talaşların boyutları, N.E.Ü Fizik Laboratuvarı'nda bulunan Retsch marka elek sallama cihazıyla analizi yapıp deneysel çalışmada 250-1000 μm arasındaki talaşlar kullanılmıştır. Elek sallayıcı cihazın resmi Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Elek cihazı

Üretimde kullanılan talaşların boyutları ve toplam ağırlığa göre oranları Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. CuZn31Si1 ve GGG-40 talaşların elek analizi

Elek aralığı	CuZn31Si1 (%)	GGG-40 (%)
500-1000(μm)	70	70
250-500 (μm)	30	30

Kompozit malzeme üretimi için kullanılacak olan talaşların yüzeylerinde bulunan kir ve yağın, son ürüne taşınmasını engellemek için sıkıştırma öncesi yüzeylerin temizlenmesi işlemi yapıldı.

3.5.1.4. Ultrasonik Temizleme

İçi etil alkol ile dolu olan banyo içerisinde yüksek frekanslı ses dalgaları üretilerek sıvı titreştirilmiştir. Böylece ses dalgaları sıvıda hareket ederken kavitasyon oluşturmuştur. Ultrasonik temizleme banyosunda oluşturulan kavitasyon, talaş

yüzeylerindeki kir ve oksit tabakalarına temizleme işlemi yapılmıştır. Ultrasonik temizleme banyosu Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Ultrasonik temizleme banyosu

Ultrasonik temizleme işlemi S.Ü. Makine Müh. Laboratuvarı’nda bulunan Otto marka ultrasonik banyo ile yapılmıştır. Cihazın içerisine ultrasonik banyo sıvısı olarak etil alkol konulmuştur. Bu cihazın çalışma sıcaklığı 70 °C, titreşim frekans değeri 38 kHz ve çalışma süresi 20 dk. olarak belirlenmiştir. Böylece talaşların yüzeylerinde bulunan kir, yağ veya oksit tabakaları arındırılmış, kompozit yapıya girebilecek olan kirlilik engellenmiş ve metal talaşlarının birbirleriyle birleşmeleri iyileştirilerek sağlam bir yapı elde edilmiştir.

3.5.1.5. Karışımın hazırlanması

Bu çalışmada, dökme demir ve pirinç talaşlarından ağırlıkça üç farklı oranlama yapılarak MMK malzemeler üretilmiştir. Bu oranlama yüzdeleri ön değerlendirme sonuçlarına göre belirlenmiştir. Bu oranlamaların gösterimi için, her bir kompozit malzemeye, ilk harf malzeme cinsinin baş harfi ve sonraki iki rakam ağırlıkça yüzdesini ifade edecek şekilde isim verilmiştir. Pirinç ve dökme demirin (sfereo) ilk harfleri verilmiştir.

Kompozit malzemeyi oluşturan malzemelerin ağırlıkça oranları ve isimlendirilmesi Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kompozit malzemenin ağırlıkça oranlanması ve isimlendirilmesi

Bileşenin Adı	p50d50	p60d40	p70d30
CuZn31Si1 (%)	50	60	70
GGG-40 (%)	50	40	30

Ultrasonik banyo içerisinde temizlenen talaşlar, etüv fırında kurutulmuş ve yüksek hassasiyete sahip terazi kullanılarak ağırlıkça oranlama yapılmıştır. Sonrasında oranlaması yapılan karışımlar, 70 °C sıcaklığındaki 100 ml etil alkol içerisinde çözdürülen borik asit çözeltisi ile karıştırılmış ve kompozit karışım 80 °C sıcaklıktaki etüv fırına koyularak etil alkol buharlaştırılmıştır. Böylece kompozit karışım içerisinde, talaşların yüzeylerine yapışmış halde ağırlıkça yaklaşık %4 oranında borik asit katılmıştır. Karışımların kurutulduğu etüv fırını Şekil 3.19’da ve presleme öncesi borik asit ilaveli partikül karışım Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

**Şekil 3.19.** Etüv fırın



Şekil 3.20. Presleme öncesi partikül karışım (p50d50)

Ağırlıkça oranlaması yapılan her bir bileşenin, karışım içerisinde homojen dağılması için karıştırma süresi ön denemelerle bulunmuştur. İdeal süre olarak bulunan 15 dk. boyunca, silindirik karıştırıcının torna tezgahına bağlanması ile kompozisyonlar homojen şekilde karıştırılmıştır. Karışımın homojen olması için karıştırıcı içerisine koyulan karışım miktarının, karıştırıcı iç hacminin yaklaşık 1/5'i kadar olması sağlanmıştır.

Karışımın homojen karıştırılması için gereken uygun karıştırma hızı, Formül 3.1 kullanılarak bulunmuştur (German,2007)

$$N_0 = 32 / \sqrt{d_k} \quad (3.1)$$

Formül 3.1'de; N_0 , dönme hızını (dev/dk.), d_k , silindirik haznenin çapını (m) göstermektedir.

Deneyde kullanılan silindirik karıştırıcının iç çapı 20 mm olduğu için karıştırma için gerekli dönme hızı;

$$. N_0 = 32/\sqrt{d} = 32/\sqrt{0,02} = 226,2 \text{ dev/dk. olarak hesaplanmıştır.}$$

Karıştırma işlemi yapıldıktan sonra talaşlar sıkıştırma işlemi için taşınırken mümkün olduğunca titreştirilmemeye çalışılmıştır fakat ufak titreşimler bile talaş karışımının homojenliğini etkileyebileceği için presleme işleminden önce harmanlama yapılmıştır.

3.5.1.6. Karışımın kalıplanması ve sıkıştırılması

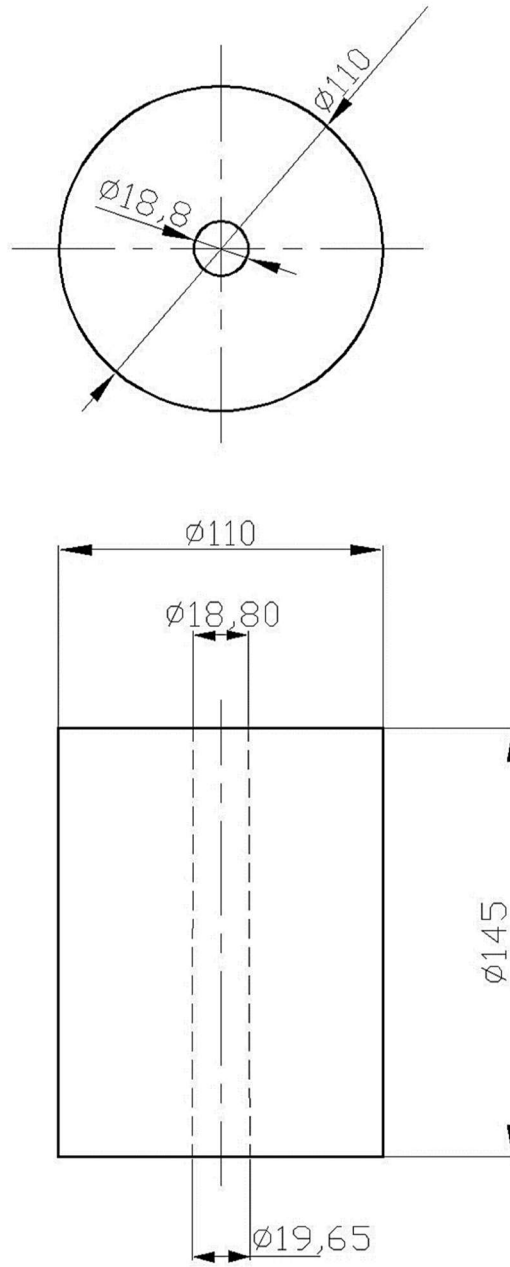
Borik asit ilaveli metalik kompozit karışım, kalıp içerisine istenilen ham numune ölçülerinin elde edilebilmesi için yeterli miktarda ve homojen bir şekilde koyularak yüksek basınçta preslenmiştir. Ön denemelerde, kalıp tasarımında önemli bir faktör olan görünür yoğunluğun, standartlarda olması gerektiği gibi ham yoğunluğun 1/5'i kadar olduğu bulunmuş ve bu durum kalıp tasarımının doğru yapıldığını göstermiştir. Bir başka deyişle sıkıştırma öncesine göre toz karışımın hacmi, sıkıştırma sonrası %80 oranında azalmıştır.

Sıkıştırma işlemi için S.Ü. Teknoloji Fakültesi'nde bulunan 100 tonluk çift etkili pres kullanılmış ve Şekil 3.21'de resmi gösterilmiştir. Üretimde tek etkili pres ile sıkıştırma işlemi yapılmış olunsaydı sıkıştırılan yüzeylere uzak noktalarda yoğunluk istenilen düzeyde olmayabilir ve sıkıştırma için daha yüksek basınçlara ihtiyaç duyulabilirdi.

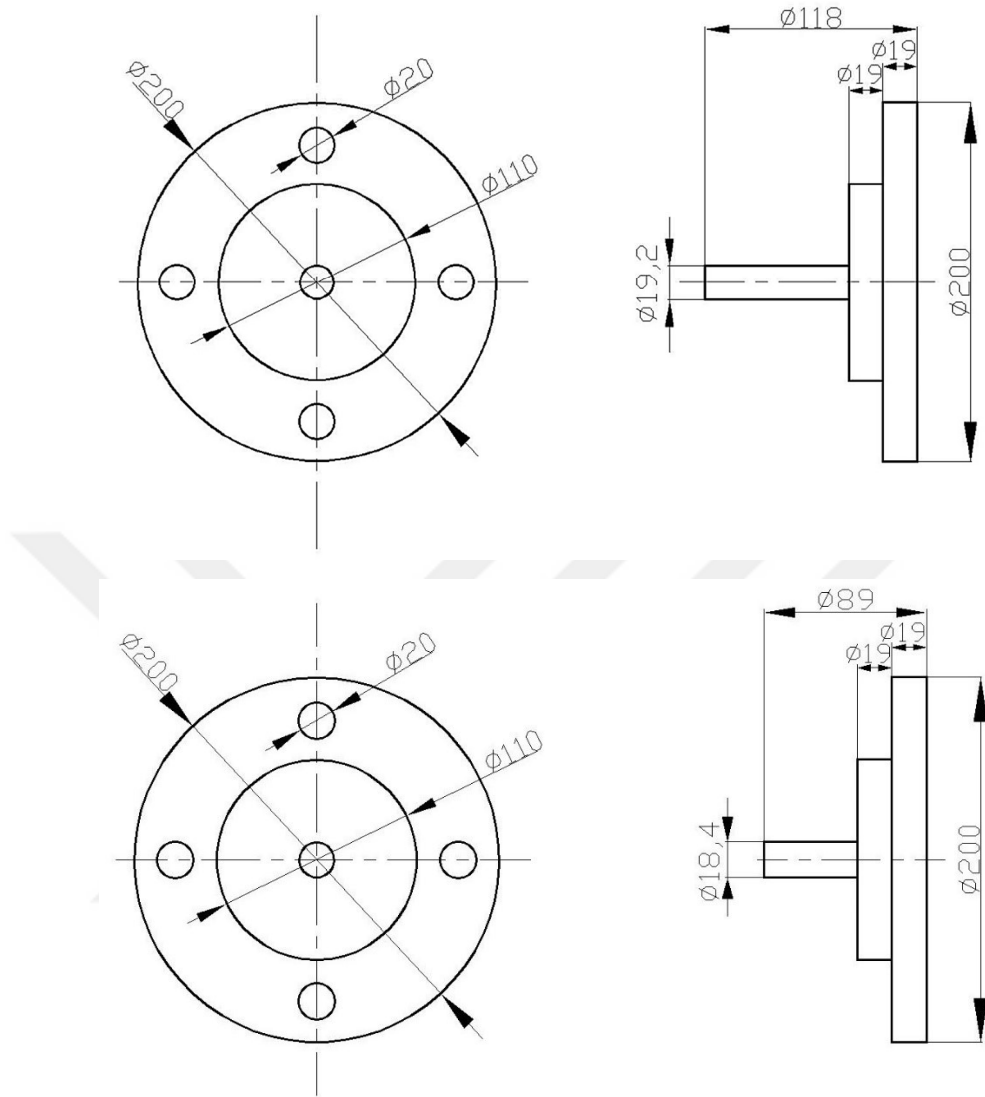


Şekil 3.21. Çift etkili pres

Bu çalışmada kullanılan kalıplar, yüksek basınç altında çalışacağı için ısıtılma işlemiyle sertliği artırılmış sıcak iş takım çeliğinden üretilmiştir. Presleme esnasında erkek ve diş kalıpların birbirleriyle düzgün çalışabilmesi için iki kalıp arasına 0,5 mm boşluk bırakılmıştır. Ayrıca presleme işleminden sonra numunenin diş kalıptan kolay bir şekilde çıkabilmesi için diş kalıba 0,85 mm koniklik verilmiştir. Üretiminde kullanılan kalıp resimleri Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Basma numunesi üretiminde kullanılan dişi kalıp



Şekil 3.23. Basma numunesi üretiminde kullanılan erkek zımbalar

Ortalama 83 gr. ağırlığında olan bu numunelerin istenilen mukavemet ve gözeneklilik değerlerinin elde edilmesi için çift etkili preste 730 MPa basınç altında sıkıştırılmıştır. Presleme basıncının 730 MPa seçilmesinin sebebi, ön denemeler sonucunda, malzemelerin bu basınç değerinden daha yüksek basınç altında sıkıştırıldığı zaman malzemelerin homojenliğinde büyük farklar olmamasından dolayıdır.

Kompozit karışımların preslenmesiyle üretilen ham numuneler, yapıyı oluşturan metal talaşların birbiriyle teması ve mekanik kilitlemesi sonucu istenilen bir ham mukavemete sahip olmuştur.

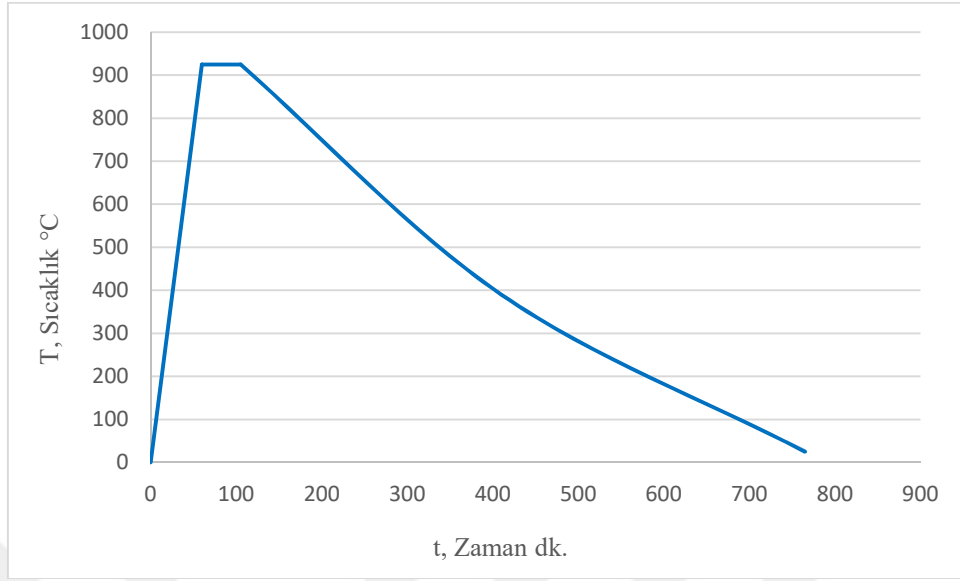
3.5.1.7. Numunenin Sinterlenmesi

Metalik kompozit karışımların, oda sıcaklığında preslenmesi ile üretilen ham numunelerin yapısal bütünlüğünün sağlanması amacıyla ısınma süresi ve hızı ayarlanabilen atmosfer kontrollü fırında sinterizasyon işlemi uygulanmıştır. Sinterleme işlemi sırasında ergime sıcaklığı dökme demire göre düşük olan pirinç malzeme kısmen eriyerek, dökme demir talaşlarının etrafını sarmıştır.

Sinterizasyon işlemi, N.E.Ü. Malzeme Laboratuvarı'nda bulunan OTF- 1200X model sinter fırınında yapılmıştır. Bu sinterleme işlemi 942 °C'de yarı sıvı sinterleme şeklinde gerçekleştirilmiştir. (Bkz. Ek-1. Cu-Zn denge diyagramı).

Sinterleme sıcaklığına 60 dakikada çıkılmış olup numuneler fırın içerisinde 942 °C sıcaklıkta 45 dk. süresince bekletilmiştir. Sonrasında numuneler fırın içerisinde 660 dk. boyunca soğumaya bırakılarak oda sıcaklığına düşmüştür.

Sinterleme sıcaklığı ve süresi ön denemeler sonucunda bulunmuştur. Eğer sinterleme sıcaklığı 942 °C sıcaklıktan yüksek seçildiği zaman, ergime sıcaklığı dökme demire göre daha düşük olan pirinç tamamen eriyip kompozit yapıdan akmakta ve yapının gözenekli yapısını artırarak malzemenin mekanik özelliklerini düşürmektedir. Bununla birlikte sinterleme sıcaklığı 942 °C sıcaklığın altında seçildiği zamanda ise, pirinç talaşları yeterli oranda eriyemediği için dökme demir talaşlarının etrafını saramamakta ve kompozit yapıya düşük kuvvette bile malzeme bütünlüğünü sağlayamamaktadır. Prosesin sıcaklık-zaman diyagramı Şekil 3.24'de gösterilmiştir.



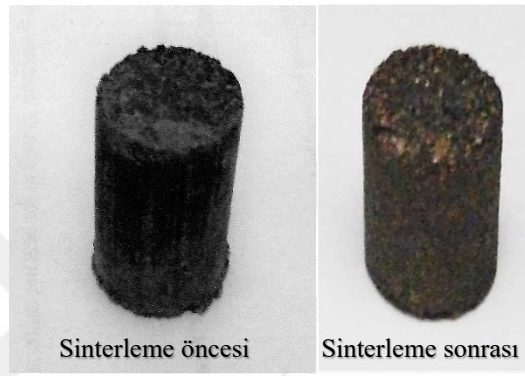
Şekil 3.24. Prosesin sıcaklık-zaman diyagramı

Sinterleme işlemi sırasında, numunelerde oksitlenme olmaması için fırın ortamından vakum ile hava çekilmiş ve içeriye argon gazı verilmiştir. Sinterleme tüp fırınının vakum basıncı -50 mtorr'dur. Şekil 3.25'de sinterleme fırınının resmi gösterilmiştir.



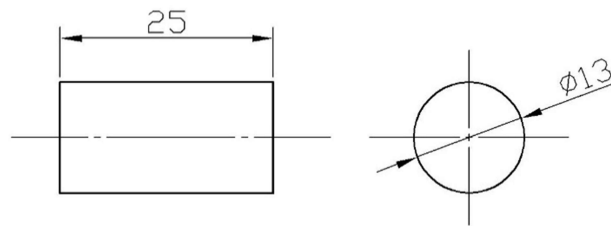
Şekil 3.25. Sinterizasyon fırını

Silindirik kompozit numunelerin sinterleme öncesi boyut ölçülerinin aritmetik ortalamalarının alınması ile çapı $19,1\pm 0,1$ mm, yüksekliği $42,5\pm 0,2$ mm olarak bulunmuştur. Silindirik kompozit numunelerin sinterleme sonrası boyut ölçülerinin aritmetik ortalamalarının alınması ile çapı $19,1\pm 0,1$ mm, yüksekliği ise $42,9\pm 0,3$ mm olarak bulunmuştur. Şekil 3.26’da p60d40 numunesinin sinterleme öncesi ve sonrası resimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Sinterleme öncesi ve sonrası p60d40 numunesi

Sinterleme işlemi yapılan numunelerin basma testinin ASTM (E9-89a) standardında belirtilen ölçülere göre yapılabilmesi maksadıyla, numuneler torna tezgâhında işlenmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Basma test numune ölçüsü

3.5.2. Mekanik Testler

CuZn31Si1 pirinç ve GGG-40 dökme demir talaşlarına, dekapan olarak borik asit katılmasıyla oluşturulan MMK malzemelerin gözeneklilik, brinell sertlik ve basma testleri ASTM standartlarına göre yapılarak mekanik özellikleri bulunmuştur.

3.5.2.1. Gözeneklilik testi

Üretilen kompozit numunelerin, basma dayanımının ve mekanik özelliklerine doğrudan etki eden bir faktör olan gözenekliliğinin optimum değerlerde olması istenen bir özelliktir. Bu sebeple hacim, yoğunluk ve gözeneklilik yüzdesi gibi fiziksel özelliklerin tespiti yapılmıştır. Bu değerler presleme işleminden sonra ve sinterleme işleminden sonra olmak üzere bulunup birbirleriyle karşılaştırılmıştır. N.E.Ü. Malzeme Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Arşimet düzeneği Şekil 3.28'de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Arşimet düzeneği

Numunelerin teorik yoğunluğu, karışımı oluşturan her bir talaşın yüzdesi ile yoğunluğunun çarpımının toplamı ile bulunmuştur. Bunun için Formül 3.2 kullanılmıştır.

$$\rho_{\text{teorik}} = [(\%W)_1 * \rho_1] + [(\%W)_2 * \rho_2] + \dots + [(\%W)_n * \rho_n] \quad (3.2)$$

Formül 3.2’de; ρ_{teorik} , karışımın teorik yoğunluğunu, $(\%W)_n$, karışım içerisindeki her bir bileşenin ağırlıkça yüzdesini ve ρ_n , her bir bileşenin yoğunluğunu göstermektedir.

Arşimet yöntemi, yoğunluğu bilinen bir sıvının içine, katı numune koyularak batan numunenin yoğunluğunu bulma metodudur. Numunelerin presleme ve sinterleme sonrası toplam gözeneklilik oranları, parafin yöntemiyle birim hacim ağırlığının tayini metodu kullanılarak bulunmuştur. Numunelerin gözenekli kısımlarının işlem esnasında sıvı emmemesi için dış yüzeyi vazelinle sıvanmıştır. Numuneler önce havada, sonra su içerisine batırılmış şekilde Arşimet terazisiyle ölçülmüştür. Kompozit numunenin deneysel hacmi Formül 3.3 ve deneysel yoğunluğu ise Formül 3.4 kullanılarak bulunmuştur.

$$V_{\text{cisim}} = (m_a - m_b) / \rho_{\text{su}} \quad (3.3)$$

$$d_{\text{cisim}} = m_a / V_{\text{cisim}} \quad (3.4)$$

Formül 3.3 ve 3.4’de; V_{cisim} , kompozit parçanın hacmini (cm^3), m_a , havada tartılan parça ile bağlantı telinin toplam kütleini (g), m_b , suda tartılan parça ile bağlantı telinin toplam kütleini (g), ρ_{su} , suyun yoğunluğunu (1 g/cm^3) ve d_{cisim} , kompozit parçanın yoğunluğunu (g/cm^3) göstermektedir.

Numunelerin gözeneklilik oranının hesaplanması için Formül 3.5 kullanılmıştır. Numunelerin ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür.

$$\% \text{gözeneklilik} = (\rho_{\text{teorik}} - \rho_{\text{deneysel}}) / \rho_{\text{teorik}} * 100 \quad (3.5)$$

3.5.2.2. Sertlik testi

MMK numunelerin, CuZn31Si1 pirinç ve GGG-40 dökme demir malzemelerinin sertlik ölçümü Brinell sertlik ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Numunelerin sertlik ölçümlerinin hassas olması maksadıyla test öncesi numune yüzeylerine S.Ü. Metalografi Laboratuvarı'nda bulunan Metkon Forcipol 2V marka cihazla zımparalama ve parlatma işlemi uygulanmıştır. Zımparalama işlemi, sırasıyla 400-600-800-1000 mesh'lik zımparalar kullanılarak yapılmıştır. Son işlem olarak ise, çuha üzerine sürülmüş alümina ile parlatma işlemi yapılmıştır. Zımparalama ve parlatma cihazı Şekil 3.29'da gösterilmiştir.



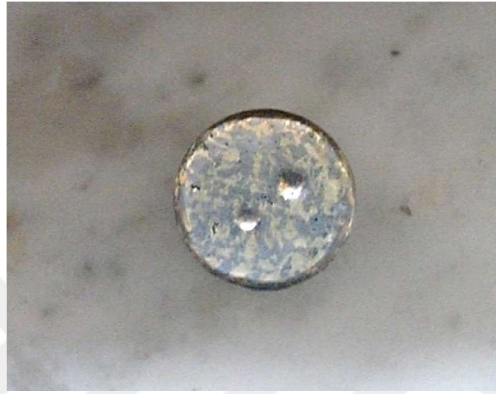
Şekil 3.29. Zımparalama ve parlatma cihazı

Brinell Sertlik Testi

Malzemelerin dayanımı hakkında fikir verdiği için yüzey sertlik ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmada yüzey sertlik ölçümü olarak Brinell sertlik testinin seçilmesinin sebebi, kompozit yapıyı oluşturan dökme demir, pirinç ve gözenek bileşenlerinin her birini kapsayacak şekilde sertlik ölçümünün yapılabilmesidir. BSD'de kullanılacak batıcı uç olarak 5 mm çapındaki bilya seçilmiştir.

Brinell sertlik deneyi, Teknik Isıl İşlem firmasında yapılmıştır. Sertlik test sonucunun güvenilir ve doğru olması için her bir numunenin sertlik ölçümü kenarlardan ve birbirinden uzakta olan 3 farklı noktadan yapılmıştır. Sertlik testinde

öncelikle bilya çapı 5 mm ve uygulanan yük 250 kgf olarak belirlenmiş ve numune nispeten yumuşak olduğu için yük 30 sn. boyunca uygulanmıştır. Yük kaldırıldıktan sonra numune üzerinde oluşan bilya çap izi ölçülmüştür. Her bir numune için sertlik değeri, elde edilen üç değer aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 3.30'da sertlik ölçümü yapılan numune gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Sertlik ölçümü yapılan numune (p60d40)

BSD değeri teorik olarak Formül 3.6'ya göre hesaplanmakta ve numunenin yüzeyine uygulanan yükün malzeme yüzeyinde oluşan izin küresel alanına bölünerek bulunmaktadır. Bu çalışmada, BSD sonuçları test cihazı tarafından hesaplanıp dijital olarak verilmiştir.

$$BSD = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.6)$$

Formül 3.6'da; P, uygulanan yükü, D, bilya çapını ve d, iz çapını ifade etmektedir.

3.5.2.3. Basma Testi

Basma Deneyi Necmettin Erbakan Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Shimadzu AG-X marka 100 kN kapasiteli cihazla yapılmıştır. Üretilen kompozitlerin basma mukavemetleri, kendi aralarında ve döküm

yöntemiyle üretilmiş CuZn31Si1 pirincinin basma mukavemeti ile karşılaştırılmıştır. Deneyde kullanılan basma cihazı Şekil 3.31’de ve basma test numuneleri Şekil 3.32’de gösterilmiştir.



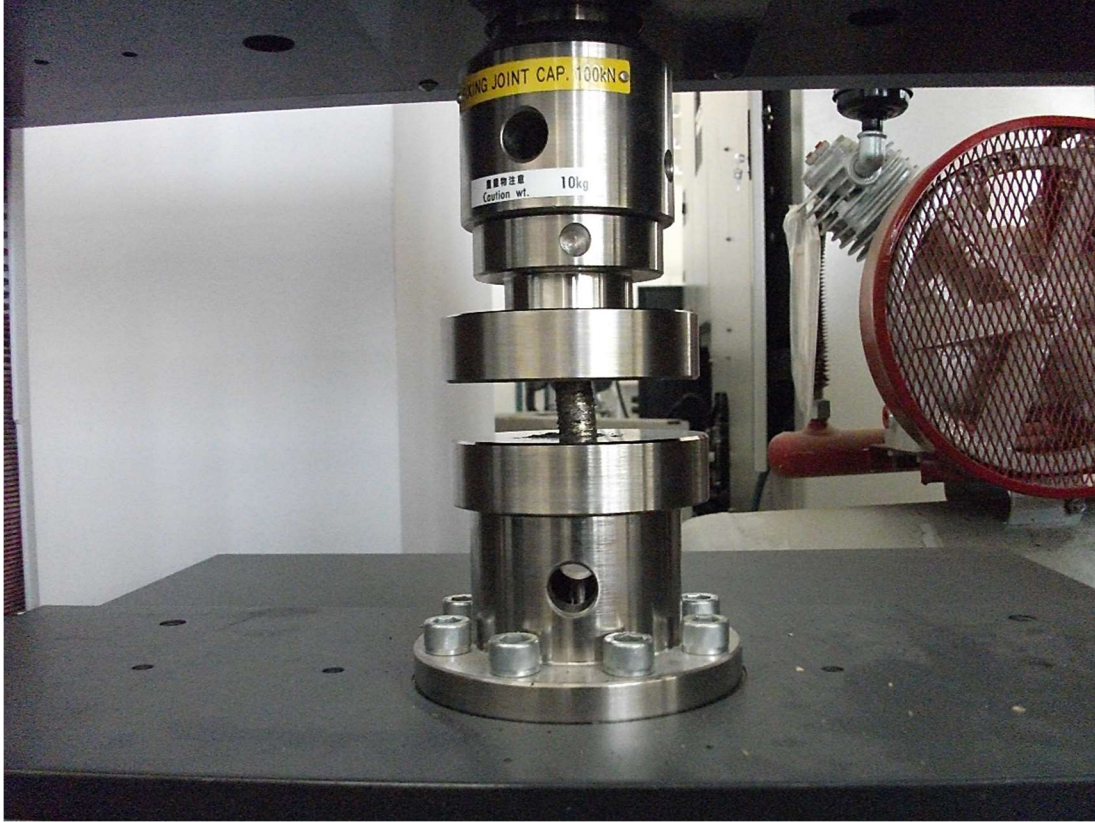
Şekil 3.31. Shimadzu basma test cihazı



Şekil 3.32. Basma test numuneleri

Bu çalışmada üretilen basma numuneleri, ASTM (E9-89a) standart ölçülerinde (d13-h25 mm) ve üç farklı pirinç-dökme demir oranlamasına sahip, üçer adet olarak üretilmiştir. Basma testi yapılırken deney hızı 1,5 mm/dk. olarak seçilmiştir. Deneyin sağlıklı sonuç vermesi için, numunelere yükün uygulandığı alt ve üst plaka yüzeyleri düşey eksene dik ve birbirine paralel olmasına dikkat edilmiştir.

Ayrıca, her bir numunenin alt ve üst yüzeylerine, numune ile zımba arasındaki sürtünmeyi azaltmak için toz grafit sürülmüştür. Şekil 3.33’de p60d40 numunesinin basma test anındaki resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.33. p60d40 numunesinin basma test anı

Basma testi yapılırken cihaz anlık olarak kuvvet-yer değiştirme verilerini kaydetmiştir. Basma test cihazından elde edilen veriler, Formül 3.7 ile Formül 3.11 arasındaki denklemler kullanılarak mühendislik gerilme-birim şekil değiştirme verileri daha sonra gerçek gerilme-birim şekil değiştirme verileri ve grafikleri elde edilmiştir. Aşağıda verilen formüller, numuneler test edilirken fiçilaşmanın ihmal edilebilir olduğu durumlar için kullanılmıştır.

$$\sigma_{müh} = F / A_0 \quad (3.7)$$

$$A_0 = \pi d_0^2 / 4 \quad (3.8)$$

$$\epsilon_{müh} = (h' - h_0) / h_0 \quad (3.9)$$

$$\sigma_{ger} = \sigma_{müh} (h' / h_0) \quad (3.10)$$

$$\epsilon_{ger} = \ln (h_0 / h') \quad (3.11)$$

Burada, $\sigma_{müh}$, mühendislik gerilmesini, σ_{ger} , gerçek gerilmeyi, F, kuvveti (Newton), h', Anlık yüksekliği (mm), h_0 , başlangıçtaki yüksekliği (mm), d_0 , başlangıç numune çapını (mm), A_0 , numune kesit alanını, $\epsilon_{müh}$, mühendislik birim şekil değiştirme değerini ve ϵ_{ger} , gerçek birim şekil değiştirme değerini simgelemektedir.

Akma noktası, gerilme-şekil değiştirme grafiğinde, 0,002'lik şekil değiştirmeye karşılık gelen noktadan eğriye paralel bir doğru çizilerek bu doğruyla eğrinin çakıştığı noktanın tespitiyle bulunmuştur. Bu noktaya karşılık gelen gerilme ise akma gerilmesini vermiştir. Rezilyans değeri ise gerilme-şekil değiştirme eğrisinin akma noktasından itibaren eğrinin altında kalan alanın hesaplanmasıyla bulunmuştur ve birimi Joule/mm³'tür. Numunelerin tokluğu başka bir deyişle malzemenin elastik ve plastik şekil değişimi esnasında yuttuğu enerjiyi, gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan toplam alanın hesaplanmasıyla bulunmuştur ve birimi Joule/mm³'tür.

Üretimi yapılan metalik kompozit numunelerin ve endüstride kullanımda olan döküm CuZn31Si1 pirinç numunesinin her birinden üçer tanesine basma testi yapılarak, bu numunelerin basma dayanımları ve diğer verileri hesaplanmış, grafik haline getirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Mekanik Test Sonuçları

4.1.1. Gözeneklilik Test Sonuçları

Bu çalışmada, mekanik özelliklere doğrudan etki eden ve fiziksel bir özellik olan gözeneklilik oranlarının bulunabilmesi için öncelikle üç farklı orandaki kompozit malzemelerin teorik yoğunlukları hesaplanmış ve bulunan değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Karışım kuralına göre numunelerin teorik yoğunlukları

Numune Adı	CuZn31Si1	GGG-40	Pirinç yoğunluğu	D.demir yoğunluğu	Karışım teorik yoğunluğu
	%	%	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
p50d50	50	50	8,4	7,3	7,85
p60d40	60	40	8,4	7,3	7,96
p70d30	70	30	8,4	7,3	8,07

Teorik yoğunluğun hesaplanmasından sonra numunelerin deneysel yoğunluk değerleri Arşimet düzeneği ile bulunmuş ve elde edilen değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kompozit numunelerinin presleme sonrası deneysel yoğunluk değerleri (gr/cm³)

İşlem	p50d50	p60d40	p70d30
Deneysel Yoğunluk (ortalama)	5,61±0,2	6,01±0,2	6,35±0,3

Numunelerin içerisinde deneysel yoğunluğu en fazla olan numune p70d30 ve en az yoğunluğa sahip numunenin p50d50 olduğu bulunmuştur. Kompozit numunelerin presleme sonrası bulunan hacimce toplam gözeneklilik yüzdeleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kompozit numunelerinin hacimce toplam gözeneklilik yüzdeleri (%)

İşlem	p50d50	p60d40	p70d30
Presleme sonrası (ortalama)	%28,51±0,8	%24,45±0,8	%21,3±0,9

Kompozit numuneler arasında, presleme sonrası en fazla toplam gözeneklilik oranına sahip numunenin %28,51 ile p50d50 olduğu ve en az toplam gözeneklilik oranına sahip numunenin ise %21,3 ile p70d30 olduğu bulunmuştur.

Kompozit numunelerin sinterleme sonrası deneysel yoğunluk değerleri Çizelge 4.4’de ve hacimce toplam gözeneklilik oranları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kompozit numunelerinin sinterleme sonrası deneysel yoğunluk değerleri (gr/cm³)

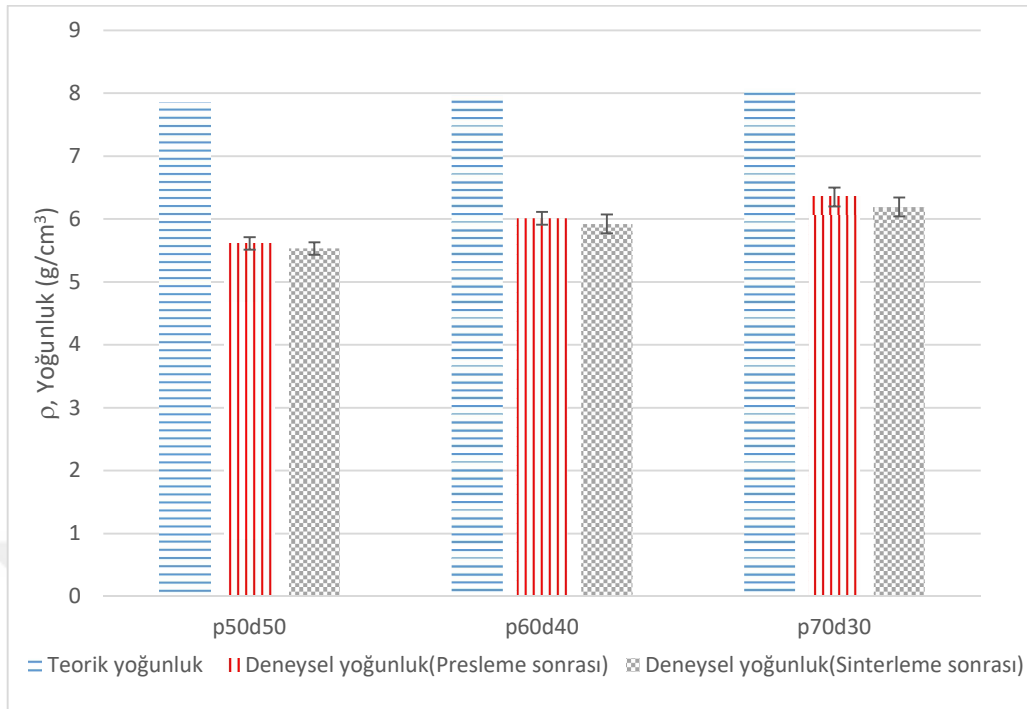
İşlem	p50d50	p60d40	p70d30
Deneysel yoğunluk (ortalama)	5,53±0,2	5,92±0,3	6,19±0,3

Çizelge 4.5. Kompozit numunelerinin hacimce toplam gözeneklilik yüzdeleri (%)

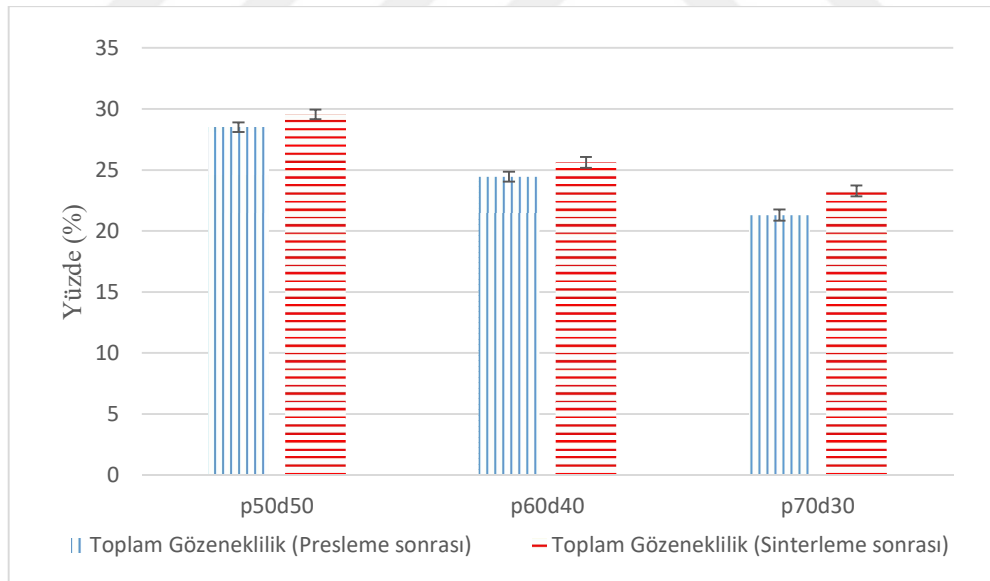
İşlem	p50d50	p60d40	p70d30
Sinterleme sonrası (ortalama)	%29,55±0,8	%25,62±0,9	%23,29±0,9

Kompozit numuneler arasında sinterleme sonrası, en fazla toplam gözeneklilik oranına sahip numunenin %29,55 ile p50d50 olduğu ve en az toplam gözeneklilik oranına sahip numunenin ise %23,29 ile p70d30 olduğu bulunmuştur. Üretimi yapılan bütün kompozit numunelerin sinterleme sonrası yoğunlukları, presleme sonrasına göre artmıştır.

Numunelerin presleme sonrasında ve sinterleme sonrasında elde edilen gözeneklilik verileri, Şekil 4.1 ile Şekil 4.2’deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 4.1. Yoğunluk karşılaştırmaları



Şekil 4.2. Toplam gözeneklilik karşılaştırmaları

Üretilen bütün numunelerin sinterleme sonrası toplam gözeneklilik yüzdesi, presleme sonrası toplam gözeneklilik yüzdesine göre artmıştır. Toplam gözeneklilik oranı en fazla artan numune %9,34 ile p70d30 numunesi, toplam gözeneklilik oranı en az artan numune ise, %3,64 ile p50d50 numunesidir ve p60d40 numunesinin presleme

toplam gözeneklilik artışı %4,79'tur. Kompozit karışımı oluşturan bileşenlerden biri olan pirincin içerisinde bulunan bakır metalleri, sinterleme esnasında dökme demir partikülleri arasına girerek yapıda şişme olayı gerçekleştirmiştir (German, 2007). Böylece, pirinç oranı fazla olan kompozit numunede, bakır metalleri, dökme demir partiküllerinin birbirlerinden ayrılmasına daha fazla neden olmuştur. Dolayısıyla bu durum, sinterleme sonrası gözeneklilik oranının presleme sonrası gözeneklilik oranına göre, daha fazla artmasına sebep olmuştur.

4.1.2. Sertlik Test Sonuçları

* Brinell Sertlik Test Sonuçları

MMK, CuZn31Si1 ve GGG-40 numunelerinin ortalama Brinell sertlik sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Sertlik test sonucunun güvenilir ve doğru olması için her bir numunenin sertlik ölçümü kenarlardan ve birbirinden uzakta olan 3 farklı noktadan yapılmıştır.

Çizelge 4.6. MMK, CuZn31Si1 ve GGG-40 numunelerinin ortalama BSD değerleri

Numuneler	CuZn31Si1	p50d50	p60d40	p70d30	GGG-40
BSD	148±1,1	59±1,7	45±1,7	37±1,7	175±1,1

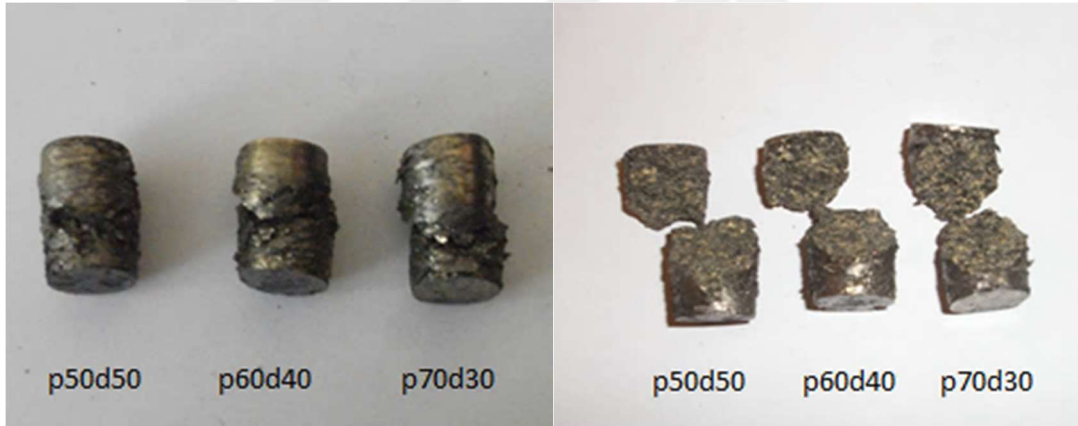
Brinell sertlik deney sonucunun güvenilirliği, numune üzerinde oluşan bilya iz çapı ve bilya çapı oranının (d/D), 0,2-0,7 arasında çıkıp çıkmadığı kontrol edilerek sağlanmıştır. Elde edilen en düşük oran 0,28 ve en büyük oran ise 0,60 olarak bulunmuştur.

Brinell sertlik test sonucuna göre, üretilen kompozit numunelerin içinde en yüksek sertliğe sahip olan p50d50 numunesidir. Sonucun bu şekilde çıkmasının sebebi, dökme demir malzemesinin sertliğinin pirinç malzemesine göre yüksek olmasından ve p50d50 numunesinin kompozit numuneler içerisinde en fazla küresel grafitli dökme demir oranına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

BSD'ye göre en az sertliğe sahip numunenin p70d30 kompozit numunesi olduğu bulunmuştur.

4.1.3. Basma Test Sonuçları

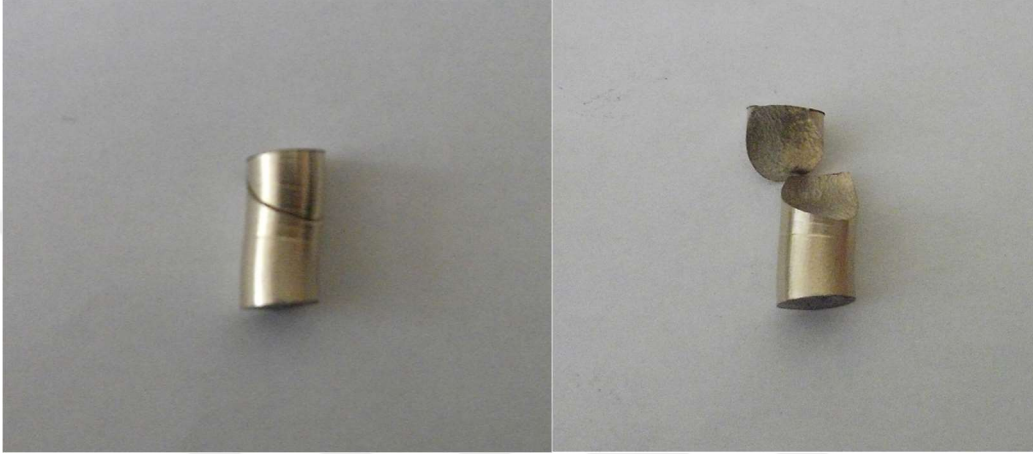
Basma testleri sonucunda, tüm kompozit numuneler sünek davranış göstermiş olup en büyük kayma gerilmesi olan 45° doğrultuda kırılma gözlenmiştir. Ayrıca basma testi esnasında numunelerin çapında ortalama $0,9 \pm 0,05$ mm fiçilaşma olayı gözlenmiş ve fiçilaşma değeri küçük olduğu için ihmal edilmiştir. Basma testi, her bir numune grubu için üçer adet yapılmış elde edilen verilerin standart sapmasının çok küçük olması sebebiyle test sonuçlarının güvenilir olduğu görülmüştür. Basma testi yapılmış MMK numunelerin kırılma yüzeylerinin resimleri Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. MMK numunelerinin kırılma yüzeyleri

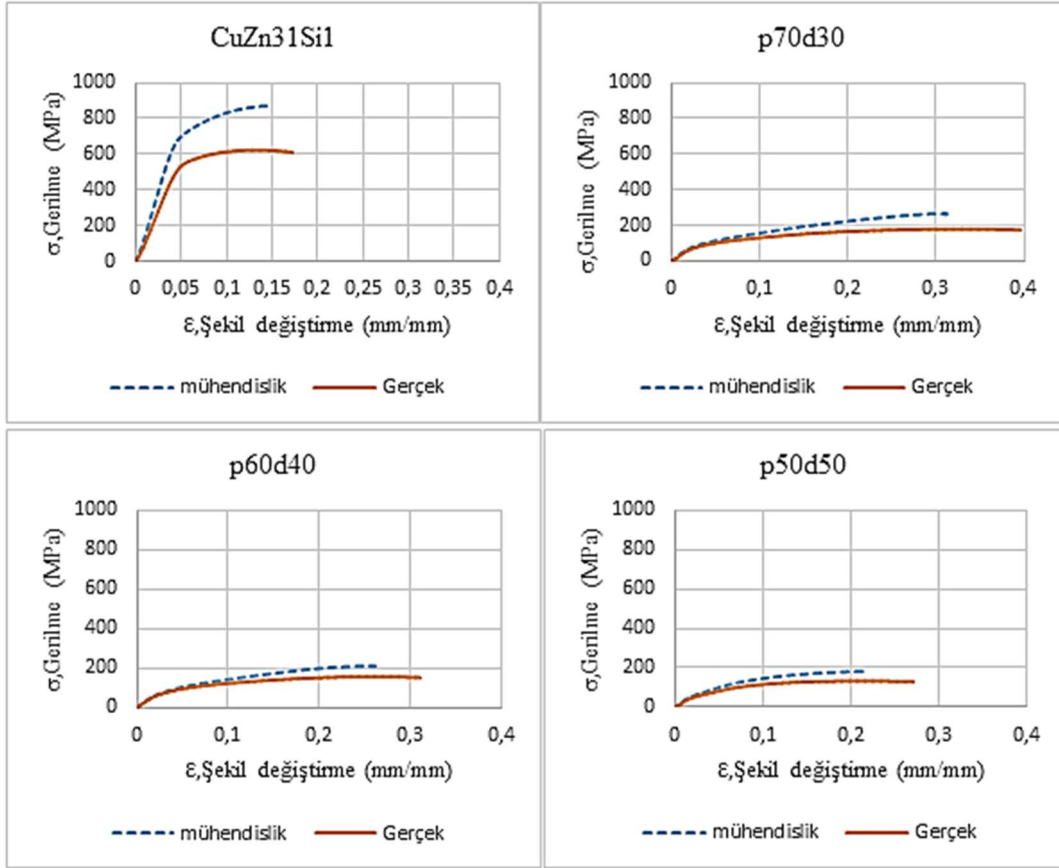
Basma testi esnasında kompozit numunelere uygulanan kuvvete, başlangıçta yapıdaki bileşenler birlikte direnç göstermektedir. Uygulanan kuvvet arttıkça, dökme demire göre daha sünek olan pirinç bileşeninde kayma hareketinin başlamasıyla malzemede plastik şekil değiştirme başlamaktadır. Bu sırada gözenekler kapanmaya başlamış, daha sonra kuvvet yüksek seviyelere çıkınca gözeneklerin büyük bir kısmı kapanmıştır. Uygulanan yük maksimum noktaya geldiğinde ise, yapıda bulunan ve pirince kıyasla daha sert ve dayanımlı olan dökme demir partikülleri kırılıp ezilmekte olup, dökme demire kıyasla daha sünek olan pirinç bileşende kayma hareketi devam

etmiştir ve sonunda kompozit malzemede en büyük kayma gerilme açısı olan 45° doğrultuda kırılma meydana gelmiştir. Kırılmanın bu şekilde gerçekleşmesi, yapı içerisindeki gözeneklerin ve bileşenlerin homojen olarak dağıldığı düşüncesini kuvvetlendirmektedir. Basma testi yapılmış CuZn31Si1 pirinç numunesinin kırılma yüzeylerinin resimleri Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. CuZn31Si1 numunesinin kırılma yüzeyleri

Basma testinde, Şekil 4.5’de gerçek ve mühendislik gerilme-birim şekil değiştirme verilerinin, üretilen kompozit numunelerin, CuZn31Si1 pirinç malzemesiyle karşılaştırılabilmesi için verilmiştir. Şekil 4.5’e göre, bütün malzemelerin basma testi sonucunda olması gerektiği gibi gerçek gerilme-şekil değiştirme değerlerinin mühendislik gerilme-şekil değiştirme değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.



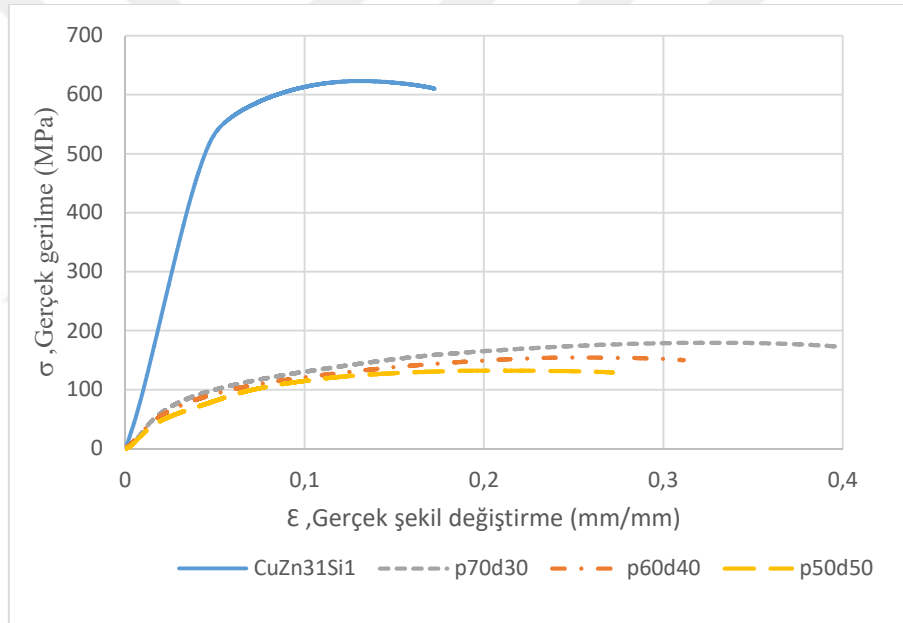
Şekil 4.5. Numunelerin gerçek ve mühendislik gerilme-birim şekil değıştirme grafikleri

Basma testi sırasında, kompozit numunelere kıyasla en yüksek basma dayanımına ve en az birim şekil değıştirme değeriine sahip numune CuZn31Si1 bulunmuştur, $\sigma_{\text{CuZn31Si1}}=623$ MPa ve $\epsilon_{\text{CuZn31Si1}}=0,17$ 'dir. Kompozit numuneler arasında ise en büyük basma dayanımına sahip numunenin p70d30 olduğu bulunmuştur, $\sigma_{\text{p70d30}}=180$ MPa'dır. Bu numunenin basma dayanımı CuZn31Si1 malzemesinin %28,9'u kadar olduğu ve kompozit numuneler içerisinde en sünek malzemenin de $\epsilon_{\text{p70d30}}=0,39$ ile p70d30'un olduğu bulunmuştur.

Kompozit numuneler içerisinde en az basma dayanımına sahip numune p50d50'dir, $\sigma_{\text{p50d50}}=134$ MPa'dır. Bu numunenin basma dayanımı CuZn31Si1 numunesinin %21,5 kadarıdır. p50d50 numunesinin gerçek birim şekil değıştirmesi $\epsilon_{\text{p50d50}}=0,27$ değeri ile CuZn31Si1 numunesinden sonra en az şekil değıştirebilen numune olduğu bulunmuştur. Diğer kompozit numune olan p60d40'ın basma dayanımı ise $\sigma_{\text{p60d40}}=155$ MPa, CuZn31Si1 göre basma dayanımının %24,8 kadarı

olup ve $\epsilon_{p60d40}=0,31$ gerçek şekil değiştirme değerine sahiptir. CuZn31Si1 ve kompozit numunelerin gerçek basma dayanımına ve birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığı zaman çıkan sonuçlardan birisi de, kompozit numunelerde CuZn31Si1 oranının artmasıyla basma dayanımı değerinin ve numunenin şekil değiştirme değerinin artmakta olduğu bulunmuştur. Bu durumun sebebi, yapıda dolgu malzemesi olarak kullanılan pirincin istenildiği gibi matris görevi yapması ve karışımdaki oranının artmasıyla dökme demir ile etkili birleşme sağlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

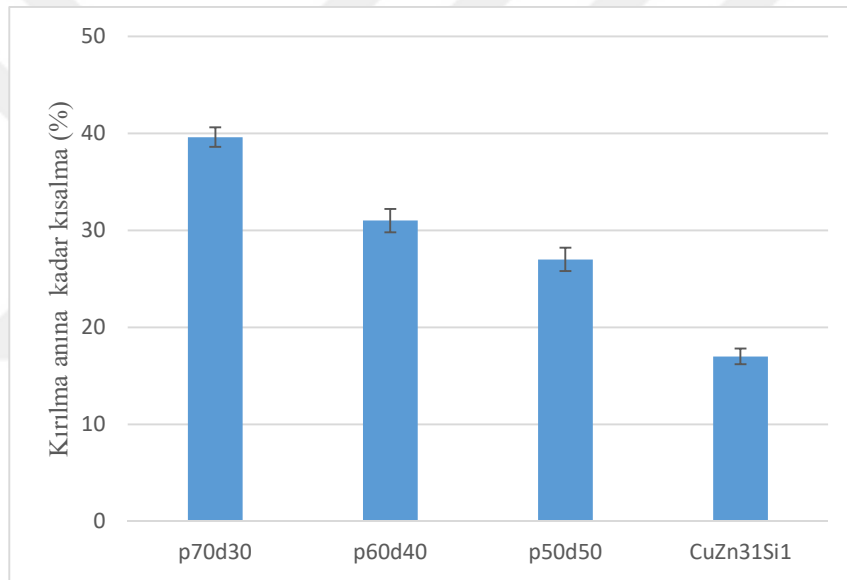
Bütün numunelerin kırılma anına kadar olan gerçek gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Numunelerin gerçek gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

Kırılma anına kadar olan kısalma yüzdesi en az olan numunenin CuZn31Si1 olduğu bulunmuştur. Kompozit numuneler içerisinde en yüksek kısalma oranına sahip numune ise p70d30 olup, bu numunenin kısalma oranı CuZn31Si1 malzemesinin kırılma anına kadar olan kısalma oranının %233'ü kadardır. En az kısalma oranına sahip olan p50d50 kompozit numunenin kısalma oranı, CuZn31Si1 malzemesinin kısalma oranının %159'u kadardır. Son olarak p60d40 numunesinin kısalma oranı ise CuZn31Si1 numunesinin kırılma anına kadar olan kısalma oranının %183'ü kadardır.

Kompozit numunelerdeki dökme demir oranı arttıkça kısalma oranı da azalmaktadır. Bu sonuçlara göre, üretilen kompozit numunelerin tümünün, döküm yöntemiyle üretilen CuZn31Si1 numunesine göre daha fazla şekil değiştirme değerine sahip olduğu bulunmuştur. Basma testi esnasında uygulanan yük arttıkça gözenekler kapanmış ve yapının içerisinde matris olarak bulunan pirinç bileşeninin oranı karışımında arttıkça, dökme demir partiküllerinin matris içinde kayma hareketi artmakta ve pirinç oranı fazla numunenin şekil değiştirmesi kolaylaşmıştır. Böylece, sünekliliği de artmıştır. Bütün numunelerin, basma testi sonucu elde edilen kırılma anına kadar kısalma miktarları yüzde olarak Şekil 4.7’de verilmiştir.

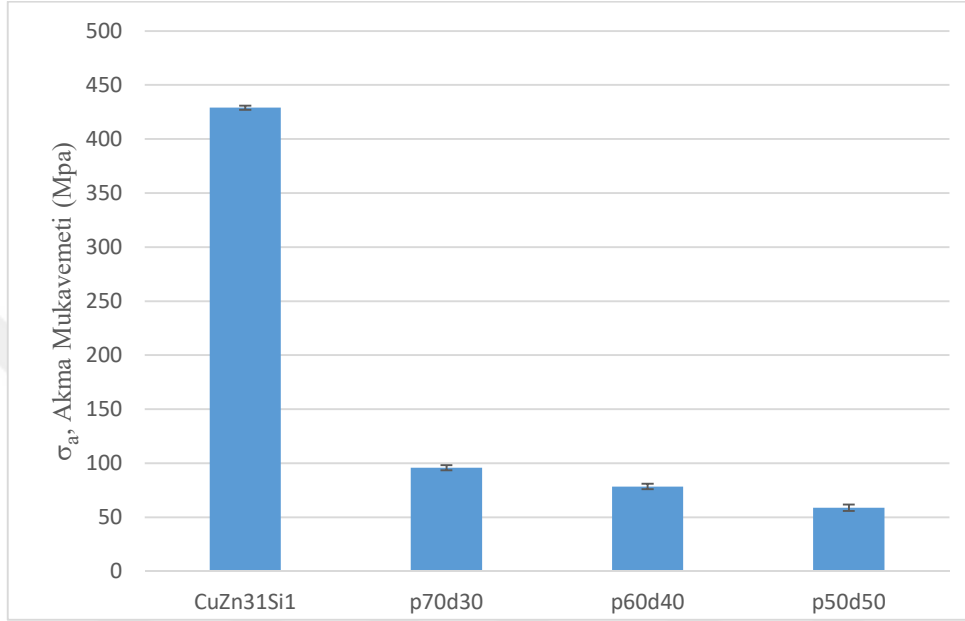


Şekil 4.7. Numunelerin kırılma anına kadar kısalma yüzdeleri

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek akma dayanımına sahip numune, $\sigma_{\text{CuZn31Si1}}=429$ MPa değeri ile CuZn31Si1’dir. Bu değere en yakın akma dayanımına, $\sigma_{\text{p70d30}}=95,9$ MPa ile p70d30 numunesi sahiptir. Bu numunenin akma dayanım değeri, CuZn31Si1 malzemesinin akma dayanımının % 22,3 kadardır. Sırasıyla p60d40 ve p50d50 numunelerin akma dayanımları ise, $\sigma_{\text{p60d40}}=78,5$ MPa ve $\sigma_{\text{p50d50}}=58,8$ MPa’dır. Kompozit karışım içerisinde, pirinç oranı arttıkça numunenin akma dayanımının arttığı bulunmuştur. Bu durumun sebebi, yapıda matris olarak bulunan pirinç bileşeninin yapıdaki dökme demir partiküllerinin etrafını

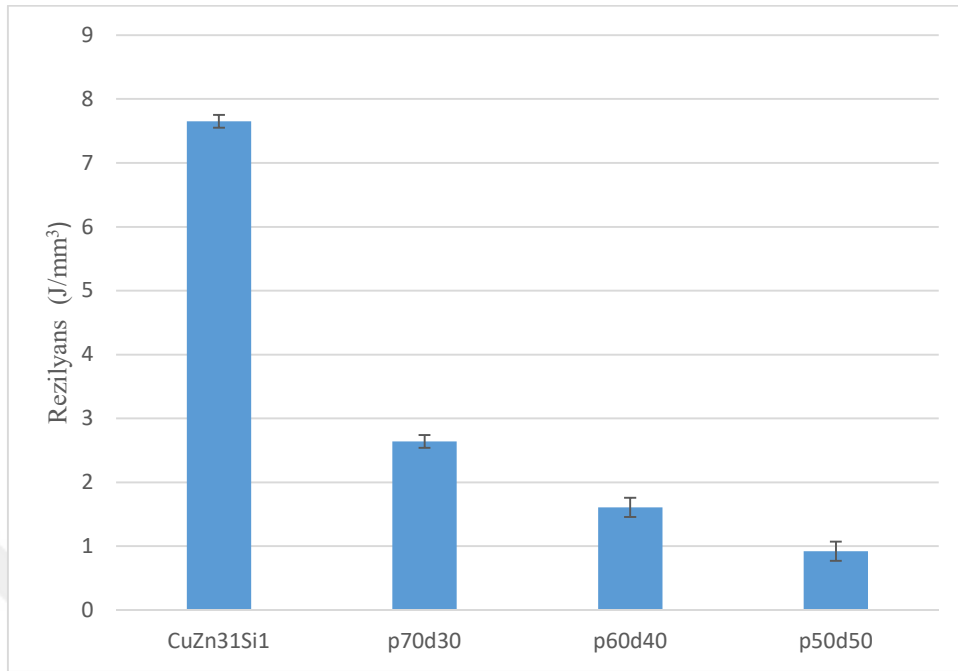
sarmasından ve yapıdaki gözenekleri daha fazla doldurmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bütün numunelerin akma mukavemeti değerleri Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Akma mukavemeti

Rezilyans değeri, malzemenin elastik şekil değişimi esnasında depolandığı enerjiyi ifade etmektedir. Basma testinde elde edilen rezilyans değerleri Şekil 4.9’da verilmiştir ve Şekil 4.9’e göre, en yüksek rezilyansa sahip numunenin $7,65 \text{ J/mm}^3$ değeri ile döküm yöntemiyle üretilmiş CuZn31Si1’e ait olduğu bulunmuştur. Kompozit numuneler içerisinde en yüksek rezilyansa sahip numunenin $2,64 \text{ J/mm}^3$ ile p70d30’a olduğu bulunmuştur ve bu değer CuZn31Si1 numunesinin rezilyansının %34,7’si kadar olduğu bulunmuştur. Üretilen diğer numunelerin rezilyans değerleri ise; p60d40 numunesinin $1,6 \text{ J/mm}^3$ ve p50d50 numunesinin $0,9 \text{ J/mm}^3$ olduğu bulunmuştur. Basma testinden elde edilen rezilyans sonuçları, kompozit numunelerde bulunan gözeneklerin kalıcı şekil değiştirdiği oranı belirtmiştir ve kompozit numunelerdeki dökme demir oranı arttıkça rezilyans değerinin azaldığını göstermiştir. Bu durumun sebebi, yapıda matris olarak bulunan pirincin karışımdaki oranının artmasıyla, dökme demir partikülleri ile temas noktalarını artırarak yapıda bulunan gözeneklerin malzemeye ortak bir davranış göstermesinden kaynaklanmaktadır.



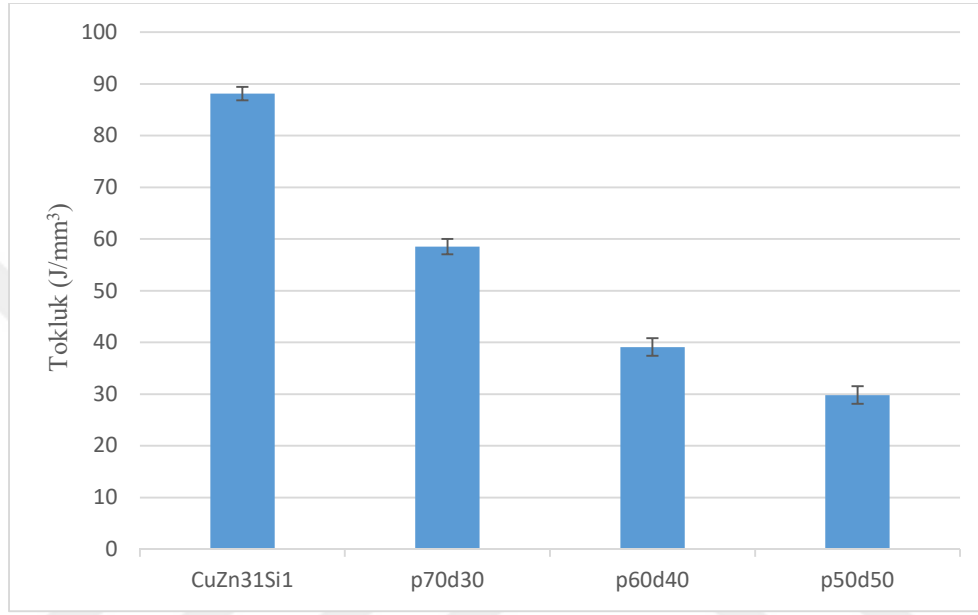
Şekil 4.9. Rezilyans

Bir malzemenin basma dayanımı ve şekil değiştirme kabiliyeti ne kadar fazla ise tokluğu da o oranda fazladır. Basma testi sonucunda elde edilen, tokluğu en yüksek olan numunenin, $88,1 \text{ J/mm}^3$ değeri ile CuZn31Si1'e olduğu bulunmuştur. Kompozit numuneler içerisinde en yüksek tokluğa sahip numunenin $58,54 \text{ J/mm}^3$ değeri ile p70d30 olduğu bulunmuştur. Bulunan p70d30 tokluk değerinin CuZn31Si1 numunesinin tokluğunun %66,4'sı kadar olduğu bulunmuştur. Kompozit numunedeki pirinç oranı arttıkça malzemenin tokluğu artmıştır. Bu durumun sebebi, yapıda matris olarak bulunan pirinç bileşeninin oranının artmasıyla, yapıdaki dökme demir partiküllerinin etrafını daha fazla sararak etkili birleşmeyi sağlayıp kompozit malzemenin mukavemetini artmıştır. Ayrıca, basma testi esnasında uygulanan yük arttıkça gözenekler kapanmış ve yapının içerisinde matris olarak bulunan pirinç bileşeninin oranı karışımda arttıkça, dökme demir partiküllerinin matris içinde kayma hareketi artmakta ve pirinç oranı fazla numunenin daha fazla şekil değiştirme değerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Basma testi yapılan MMK numunelerin CuZn31Si1 numunesine göre tokluğu, rezilyansına oranla daha iyi çıkmıştır. Bu durum bize kompozit malzemelerin

içerisindeki gözeneklerin elastik bölgeyi çabuk geçtiği fakat genel olarak plastik bölgede daha fazla enerji absorbe etmiş olduğunu göstermiştir.

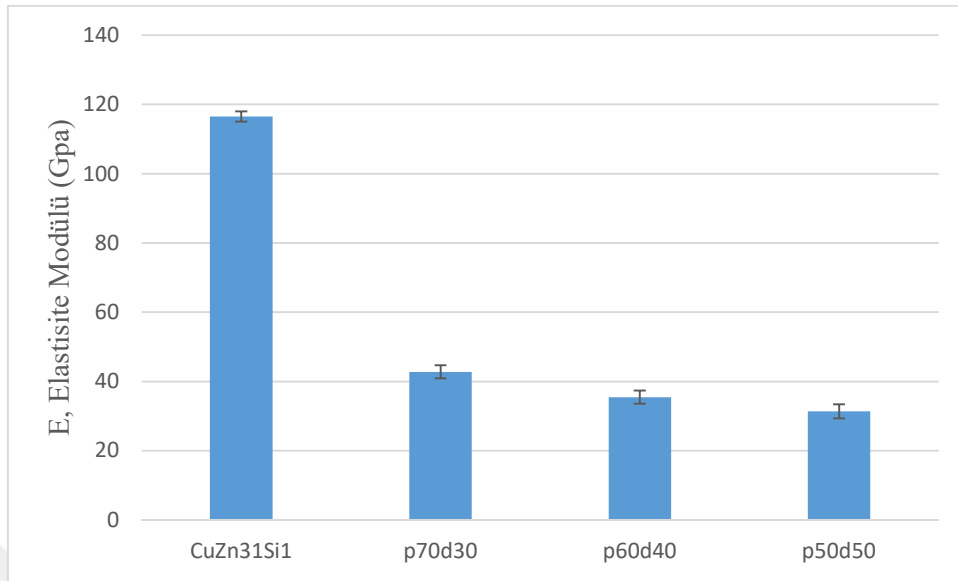
Basma testi sonucunda bulunan, numunelerin tokluk değerleri Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Tokluk

Numunelerin elastisite modülü ise gerçek basma gerilme-gerçek birim şekil değiştirme eğrisindeki elastik bölgede bulunan doğrusal çizginin eğiminin tespiti ile bulunmuştur ve elde edilen değerler Şekil 4.11'de verilmiştir.

En yüksek elastisite modülüne sahip numunenin, $E_{CuZn31Si1}=120,4$ GPa ile CuZn31Si1 olduğu bulunmuştur. Bu numuneye en yakın elastisite değeri $E_{p70d30}=40,5$ GPa ile p70d30 kompozit numunesi sahiptir ve bu numunenin young modülü, CuZn31Si1 malzemesinin young modülünün % 33,6'sı kadar olduğu bulunmuştur. p60d40 numunesinin elastisite değeri, $E_{p60d40}=34,5$ GPa ve kompozit numuneler içerisinde en düşük young modülü değerine sahip numunenin $E_{p50d50}=30,4$ GPa değeri ile p50d50 olduğu bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlara göre, kompozit karışım içerisinde, dökme demir oranı arttıkça numunenin young modülünün azaldığı bulunmuştur.



Şekil 4.11. Elastisite Modülü (Young Modülü)

Basma testinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Kompozit malzemelerin ortalama basma ve akma dayanımları

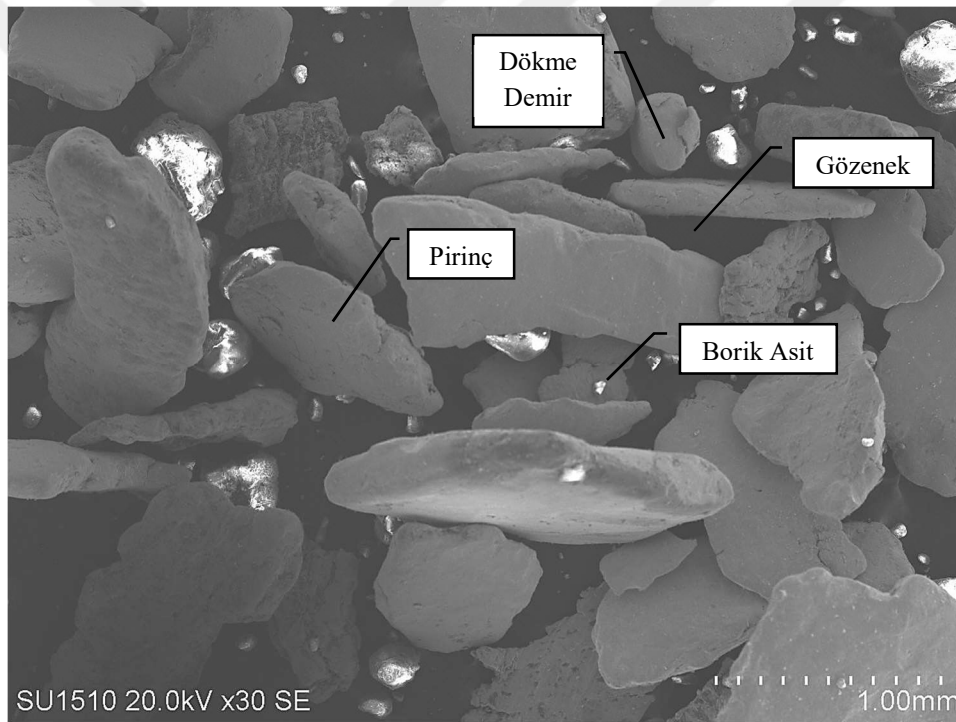
Numuneler	p50d50	p60d40	p70d30	CuZn31Si1
Basma Dayanımı (MPa)	134±2,0	155±1,9	180±1,7	623±1,5
Akma Dayanımı (MPa)	58,8±2,9	78,5±2,5	95,9±2,3	429±1,9
Elastisite Modülü (GPa)	31,4±2,0	35,5±1,9	42,8±1,9	116,5±1,5
Tokluk (J/mm ³)	29,8±1,7	39,1±1,7	58,5±1,5	88,1±1,3
Kısalma (Kırılma sonrası (%))	27±1,2	31±1,2	39,6±1,0	17±0,8

4.2. Mikro yapı incelemeleri

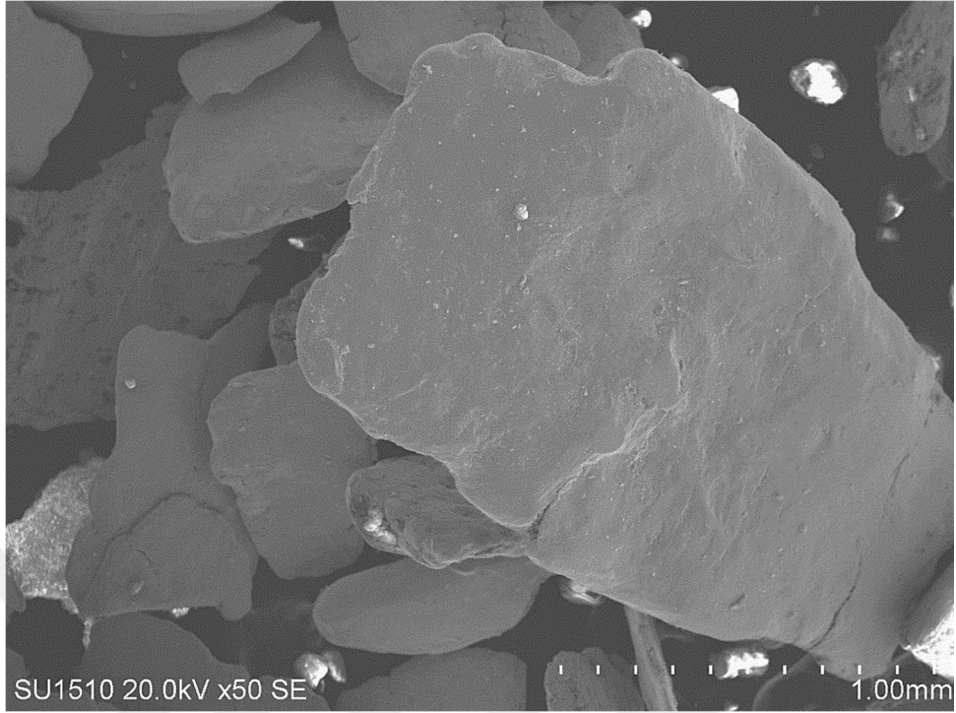
Üretimi yapılan kompozit numunelerin mikro yapı incelemeleri, Necmettin Erbakan Üniversitesi Malzeme Laboratuvarı’nda bulunan Hitachi-SU 1510 marka SEM cihazıyla ve OLYMPUS - GX71 optik mikroskopla yapılmıştır. Kompozit numunelerin mikroskobik incelemelerinin hassas bir şekilde yapılabilmesi için inceleme öncesi numunelerin yüzeylerine zımparalama ve parlatma işlemi yapılmıştır.

Ultrasonik temizleme işlemi yapılmış dökme demir, pirinç talaşlarından ve bu talaşlara ilave edilen borik asit partiküllerinden oluşmuş partikül karışımların presleme öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Karışım içerisinde bulunan bazı borik asit partiküllerinin, Şekil 4.12’de gösterildiği üzere talaş yüzeylerine yapıştığı gözlenmiştir.

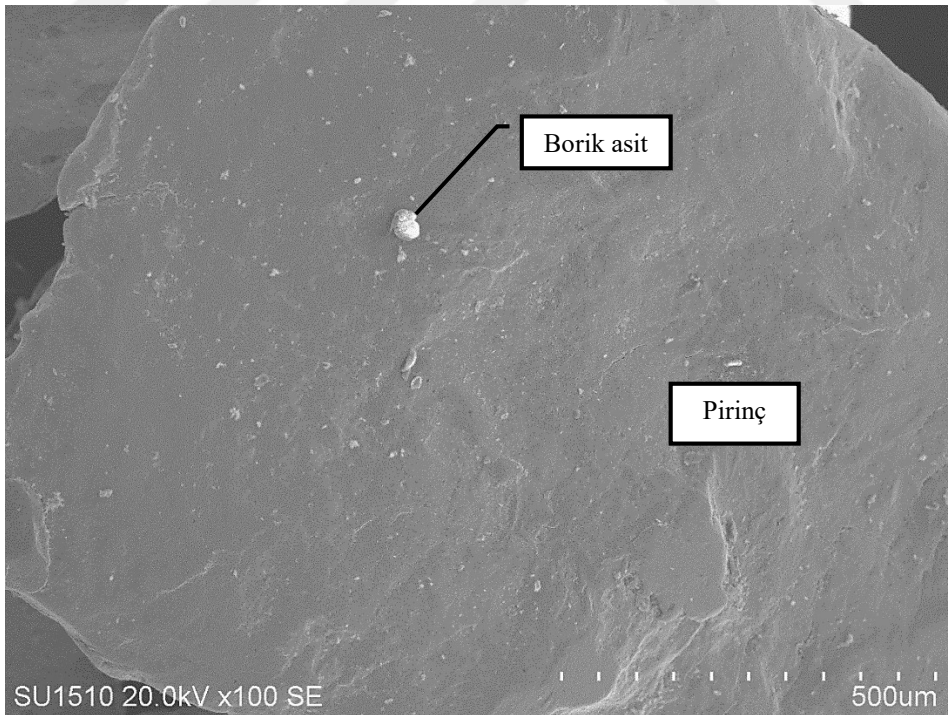
Şekil 4.12’de verilen SEM görüntülerinde görüldüğü üzere, pirinç talaşları dikdörtgen prizma, dökme demir talaşları büyük boyutlu küre ve borik asit partikülleri küçük boyutlu küre şeklinde olduğu gösterilmiştir. Şekil 4.13’de pirinç talaşlarının SEM görüntüleri verilmiştir.



a) Partikül karışımı-30X

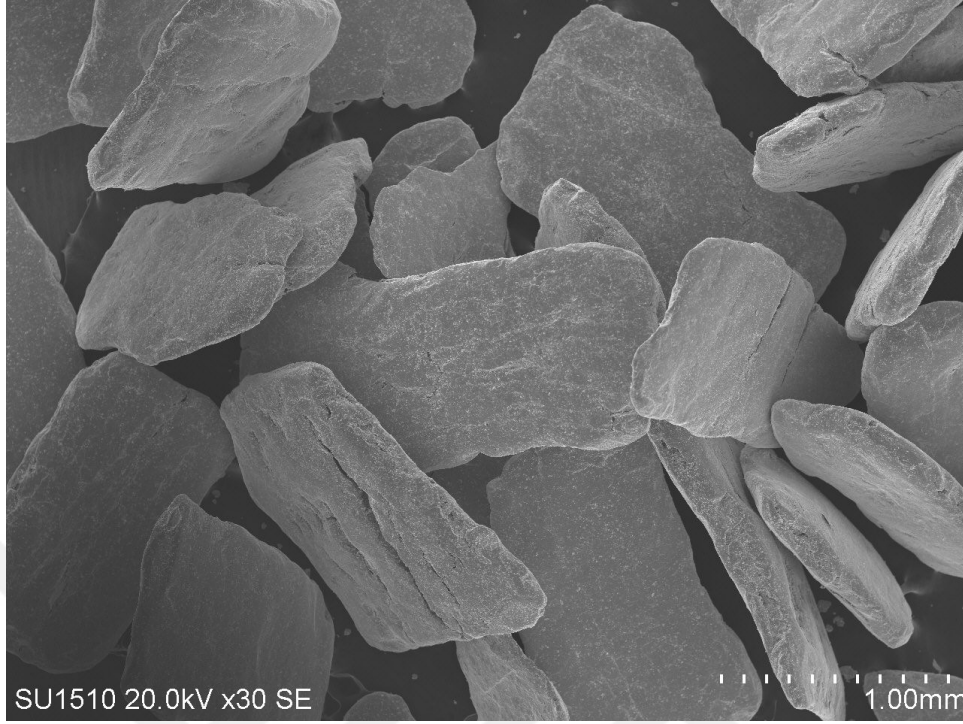


b) Partikül karışımı-50X

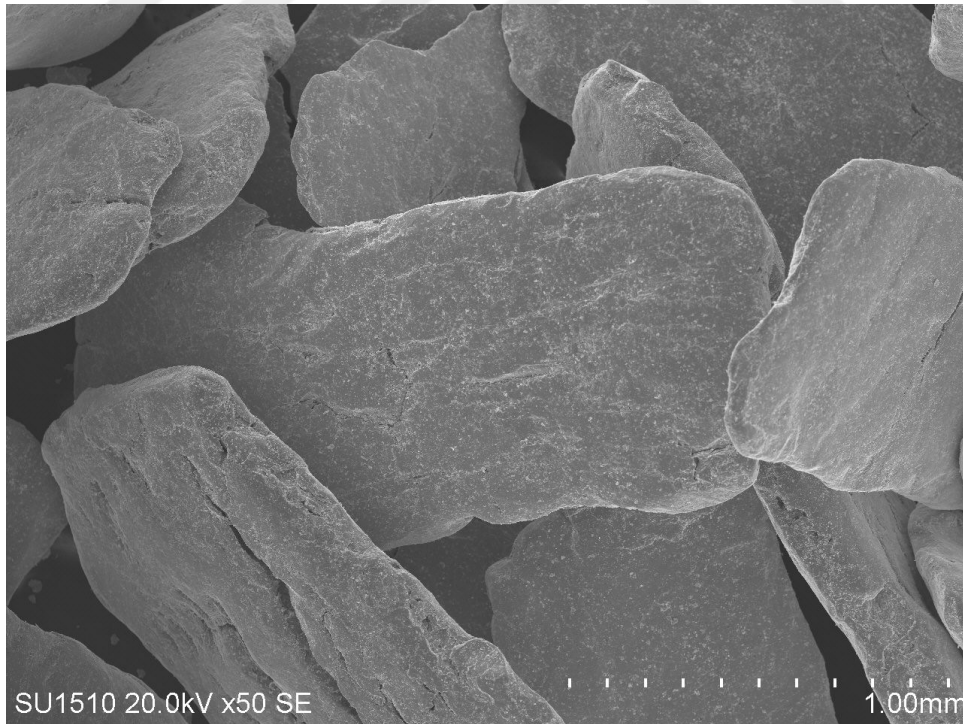


c) Partikül karışımı-100X

Şekil 4.12. Partikül karışımların presleme öncesi SEM görüntüleri



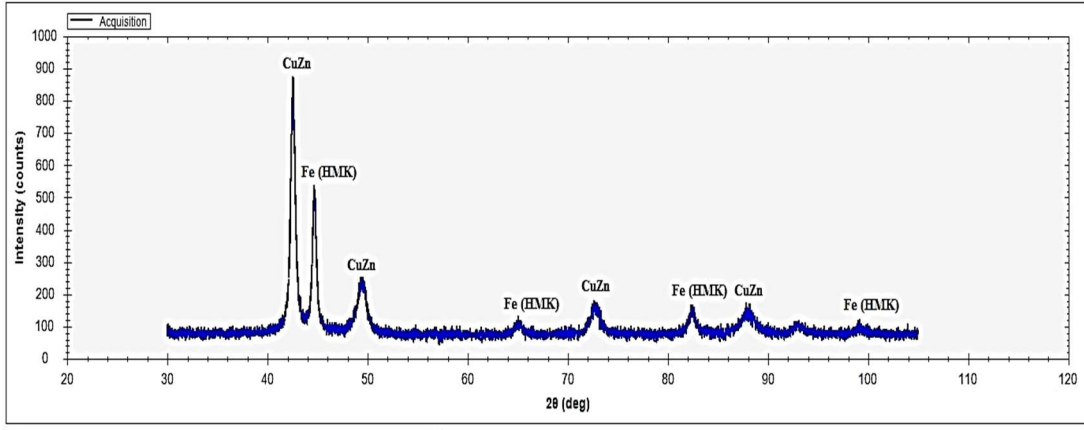
a) CuZn31Si1 partikülü-30X



b) CuZn31Si1 partikülü-50X

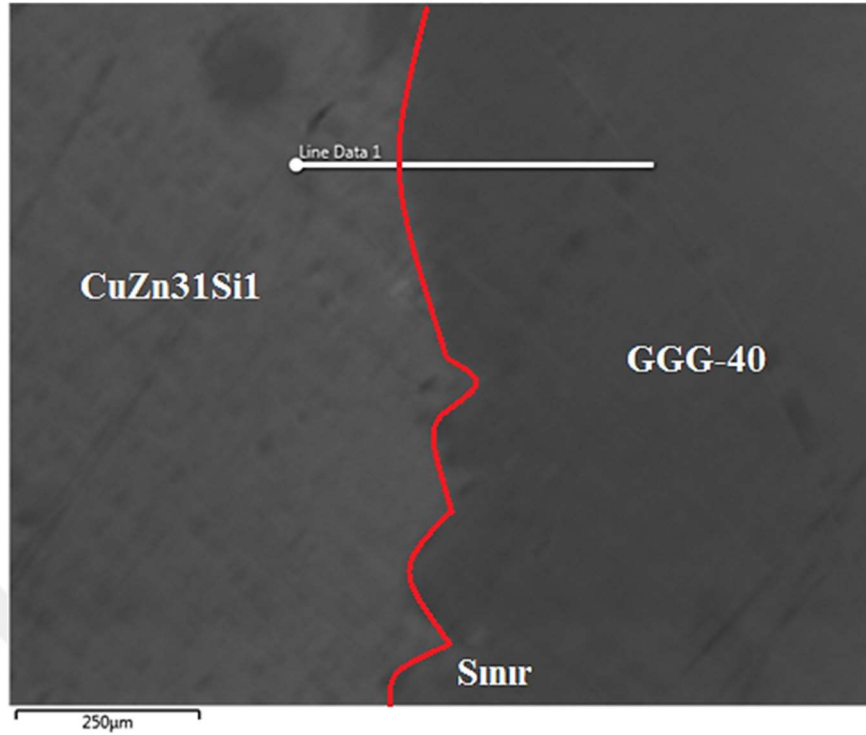
Şekil 4.13. CuZn31Si1 pirinç partiküllerinin SEM görüntüleri

N.E.Ü. Malzeme Mühendisliği Laboratuvarı'nda, üretimi yapılan MMK numunelerinin XRD analizleri ve EDX spektrumları yapılarak incelenmiştir. Şekil 4.14'de p50d50 numunesinin XRD analizi ve Şekil 4.15 'de EDX spektrumu verilmiştir.

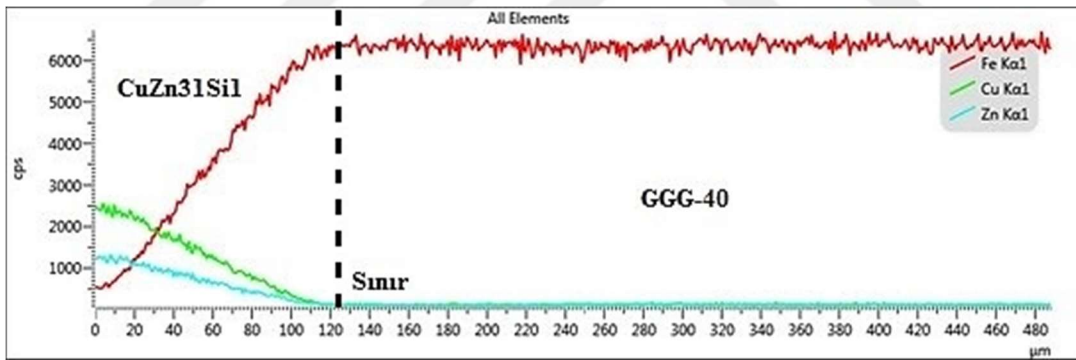


Şekil 4.14. p50d50 numunesinin XRD analizi

Şekil 4.14'de verilen p50d50 numunesinin XRD analiz sonucuna göre kompozit yapıyı oluşturan dökme demir ve pirinç metalleri arasında herhangi bir intermetalik bileşik oluşmadığı görülmüştür. Ayrıca, kompozit yapıda bulunan metallere ait herhangi bir oksit bileşenine rastlanmamıştır. Yapıda oksit bileşik oluşmamasında, ultrasonik temizliğin ve borik asidin etkili olduğu düşünülmektedir.



a) p50d50 numunesinin EDX görüntüsü



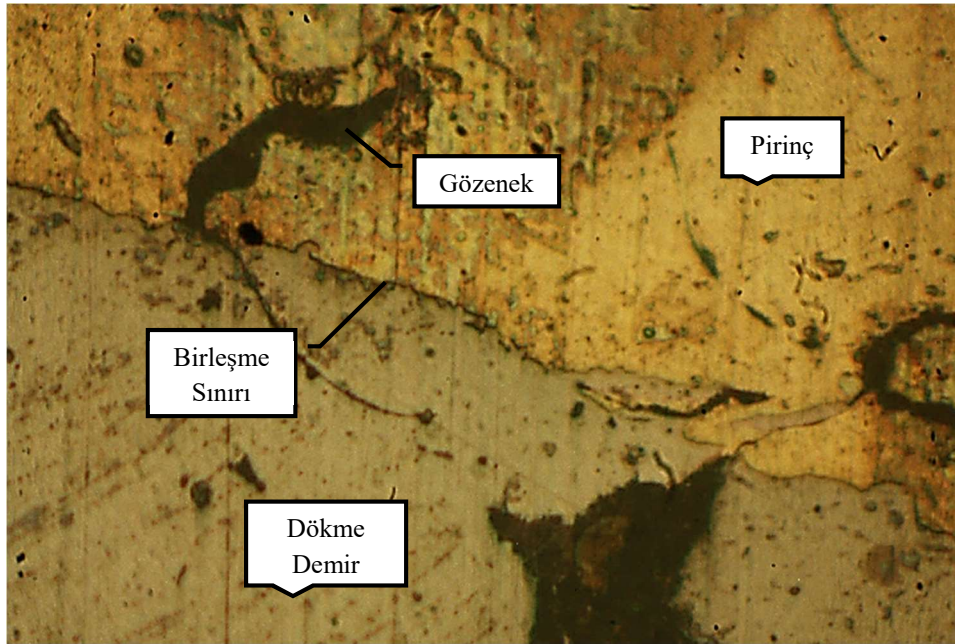
b) p50d50 numunesinin EDX grafiği

Şekil 4.15. p50d50 numunesinin EDX spektrumu

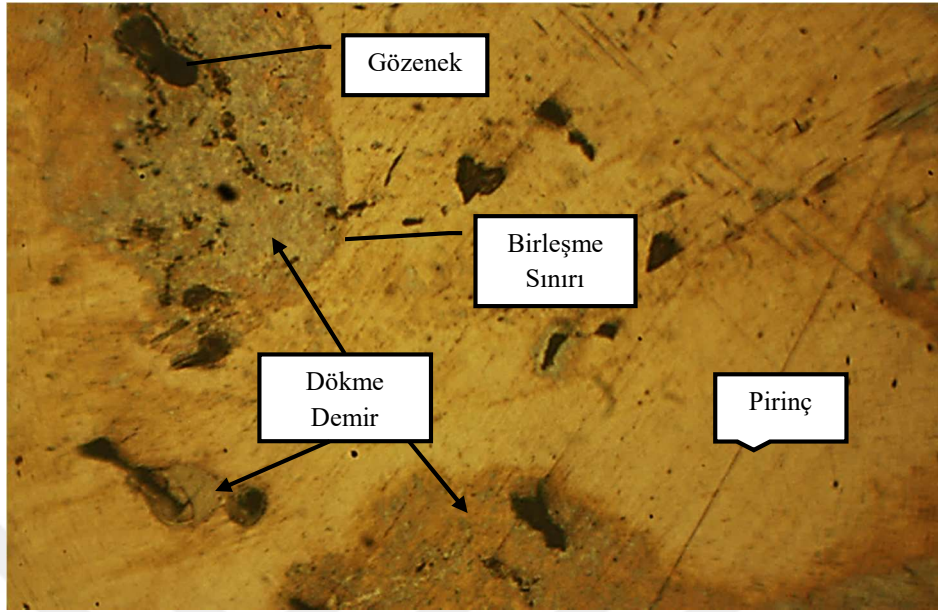
Şekil 4.15’de verilen p50d50 numunesinin EDX spektrumuna göre, MMK malzemeleri oluşturan bileşenlerden biri olan dökme demirin, pirinç bileşeni içerisine difüze olduğu belirlenmiştir. Oda sıcaklığında HMK yapıya sahip olan dökme demire, 942 °C sıcaklıkta ve 45 dk. süresince sinterleme işlemi uygulanması sebebiyle YMK yapıya geçmiştir. Böylece, dökme demirin, YMK kristal yapısına sahip olan pirinç içerisine difüzyonu gerçekleşmiştir.

Şekil 4.15'deki EDX grafiğinde, sınırın sağ tarafı GGG-40, sol tarafı ise CuZn31Si1 bileşenidir. Sınırdan sağ tarafa doğru uzaklaştıkça ağırlıkça demir oranının artmakta olduğu ve sınırın sağ tarafında bakır ile çinko oranının yok denilebilecek kadar az miktarda olduğu bulunmuştur. Sınırdan sol tarafa doğru uzaklaştıkça ise ağırlıkça bakır ve çinko oranının artmakta, demir oranının ise azalmakta olduğu bulunmuştur. Bir başka deyişle, demirin CuZn31Si1 pirinç içerisine difüze olduğu fakat çinko ve bakırın GGG-40 dökme demir içerisine difüzyonunun yok denilebilecek kadar az miktarda olduğu bulunmuştur. Bu durumun oluşmasında, demir (126 pm) elementinin atom yarıçapının, bakır (132 pm) ve çinko (135 pm) elementlerinin atom yarıçaplarından daha düşük olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir.

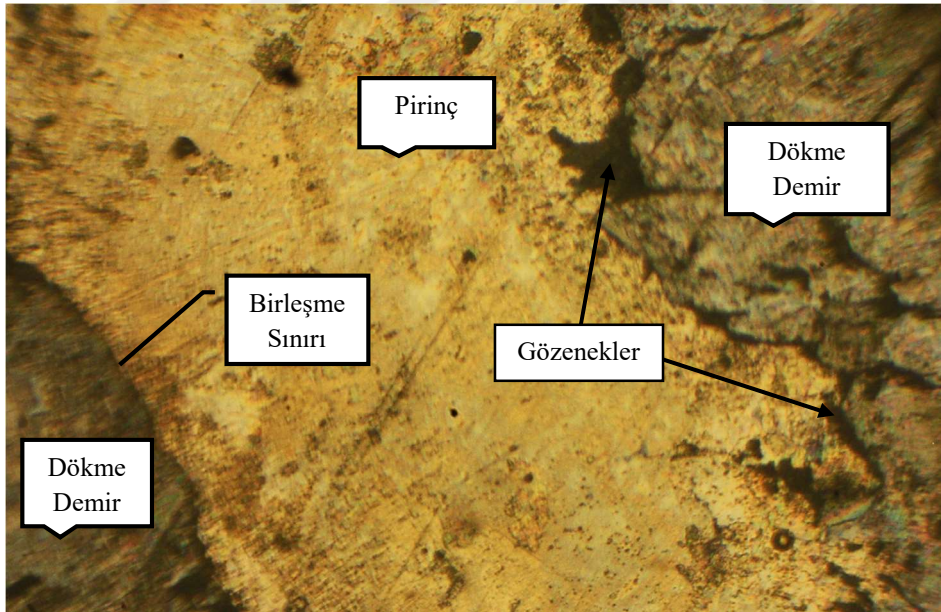
Kompozit numunelerin optik mikroskopla elde edilen görüntüleri Şekil 4.16'da verilmiş ve en fazla gözenekli yapıya sahip numunenin sırasıyla p50d50, p60d40 ve p70d30 olduğu gözlenmiştir. Presleme esnasında pirinç oranı fazla olan numunelerin sıkıştırılabilirliğinin daha fazla olması ve sinterleme esnasında pirinç oranı fazla olan numunelerdeki ergiyen pirincin yapıdaki gözenekleri daha fazla doldurması sebebiyle p70d30 numunesinin diğer numunelere oranla daha az gözenekli yapıya sahip olduğu düşünülmektedir.



a) p50d50-200X



b) p60d40-200X



c) p70d30-200X

Şekil 4.16. MMK numunelerinin optik mikroskop görüntüleri

Şekil 4.16'da verilen optik mikroskop görüntülerinde, piriç ile dökme demir bileşenleri ve birleşme sınırları gözlenmiştir. Kompozit yapının bazı yerlerinde ise,

talaş geometrisinden dolayı ergiyen pirincin boşlukları dolduramadığı ve yapıda gözenekler oluştuğu gözlenmiştir. Bu gözenekler malzemede istenen bir özellik olmasına karşın bazı düzensiz ve büyük gözenekler malzemenin mukavemetini olumsuz yönde etkilemektedir.

4.3. Maliyet Analizi

Bu bölümde, S.Ü Teknoloji Fakültesi Atölyesi'nde ve N.E.Ü. Malzeme ve Makine Mühendisliği Laboratuvarları'nda üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemenin maliyet analizi yapılmıştır. Atık pirinç ve dökme demir talaşlarının öğütülmesi, elenmesi ve ultrasonik temizlenmesinden sonra oda sıcaklığında preslenip, sinterleme işlemi yapılmasıyla üretilen MMK malzemenin üretiminde takip edilen her bir işlem aşamasında kullanılan atık talaşlar, sarf malzemeler, işçilik maliyetleri ve tüketilen enerji hesaplanmıştır.

Atık metal talaşların 2017 yılı için güncel birim fiyatları aşağıda ismi verilen firmalarla telefon görüşmeleri ve internet siteleri üzerinden yapılan araştırmalar sonucu elde edilmiştir.

- Alkor Döküm Ltd. Şti. (Konya)
- Ah-metal Geri Dönüşüm Ltd. Şti. (Ankara)

Dökme demir ve pirinç talaşlarının birim fiyatları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Atık dökme demir ve pirinç talaşlarının birim fiyatları

Malzeme	Birim Fiyatı (TL/kg)
Atık dökme demir talaşı	0,4-0,5
Atık pirinç talaşı	8,0-9,0

MMK malzeme üretiminde kullanılan pres kalıbı ve diğer sarf malzemelerin 2017 yılı güncel birim fiyatları aşağıda ismi verilen firmalarla telefon görüşmeleri ve internet siteleri üzerinden yapılan araştırmalar sonucu elde edilmiştir.

- Kurşunel Kalıp Ltd. Şti. (Konya)
- Geçgel Makine Ltd. Şti. (Konya)
- Molar Kimya Ltd. Şti. (İstanbul)
- Altan Endüstriyel ve Laboratuvar Cihazları Ltd. Şti. (İstanbul)

Kullanılan malzemelerin ortalama birim fiyatları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Malzeme birim fiyatları

Sarf Malzeme Türü	Birim Fiyatı
Toz Borik Asit	5,6 TL/Kg
Pres Kalıp Malzemesi	410 TL
Kalıp İşleme Maliyeti	240 TL
Etil Alkol	10 TL/Litre
Silindirik Karıştırıcı	8 TL

Çalışmada kullanılan halkalı değirmenin gücü 1,1 kW, elek cihazının gücü 0,125 kW, ultrasonik temizleme cihazının gücü 0,2 kW, pres makinesinin gücü 6 kW, sinterleme fırınının gücü 8 kW, karıştırma işlemi için kullanılan torna tezgahının gücü 4 kW'tır. Meram Elektrik Dağıtım A.Ş. (MEDAŞ) verilerine göre, elektrik birim fiyatı 1kWh için 0,44 TL'dir.

Hesaplamalar, laboratuvar ortamında üretilen 83 gr ağırlığındaki bir adet numune için yapılmıştır. Üretimi yapılan bir adet silindirik MMK malzemenin maliyet analiz tablosu Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Kompozit parça başına üretim maliyeti

Malzeme / İşlem	Kullanılan malzeme, süre ve enerji miktarı	İşlem maliyeti (TL)	Toplam tutar (TL)
Pirinç-dökme demir talaşı	40 gr pirinç-40 gr dökme demir	0,34+0,01	0,35
Talaşların etil alkolle temizlenmesi (400 gr talaş için 400 ml etil alkol)	80 ml	0,8	0,8
Borik asitin etil alkol ile karıştırılması (14 gr borik asit için 100 ml etil alkol)	100 ml	1,0	1,0
Toz borik asit	14 gr	0,07	0,07
Pres kalıp malzemesi (ortalama 1000 numune için)	Kalıp	0,65	0,65
Silindirik karıştırıcı	Karıştırıcı	İhmal edilebilir	İhmal edilebilir
Halkalı değirmen enerji tüketimi (bir numune için)	0,33 h	0,33 h*1,1*0,44	0,15
Elek cihazı enerji tüketimi (bir numune için)	0,25 h	0,25 h*0,125*0,44	0,01
Ultrasonik temizleme cihazı enerji tüketimi (bir numune için)	0,33 h	0,33 h*0,2*0,44	0,03
Torna tezgâhında talaşların karıştırılması (bir numune için)	0,25 h	0,25 h*4*0,44	0,44
Pres makinesi enerji tüketimi (bir numune için)	0,05 h	0,05 h*6*0,44	0,13
Sinterleme fırını enerji tüketimi (Aynı anda sekiz numune için)	1 h (ısıtma) 0,75 h (bekleme sıc.)	1,75 h*8*0,44/8	0,77
TOPLAM MALİYET			4,40 TL/adet

Bu çalışma, S.Ü Teknoloji Fakültesi Atölyesi'nde ve N.E.Ü. Makine ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarları'nda bulunan cihazlar kullanılarak yapılmıştır. MMK malzemenin endüstride seri üretiminin gerçekleşmesi halinde, tasarlanan üretim yeri ve kapasitesi gibi şartlara bağlı olarak çok daha düşük fiyatlarda üretilmesi mümkündür.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Dökme demir ve pirinç malzemelerinin talaşlı işlenmesi sonucunda oluşan talaşlar, ağırlıkça üç farklı oranda hazırlanarak her bir karışıma borik asit ilave edilmiştir. Sonrasında karışımlar çift etkili preste oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve atmosfer kontrollü tüp fırın içerisinde sinterlenmiştir. Bu prosesler sonucu üretilen MMK malzemelerin mikro yapıları ve mekanik özellikleri incelenmiş, elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- MMK malzemeleri oluşturan bileşenlerden biri olan dökme demirin pirinç bileşeni içerisine difüze olduğu EDX spektrum sonucunda belirlenmiştir. Oda sıcaklığında HMK yapıya sahip olan dökme demire 942 °C sıcaklıkta ve 45 dk. süresince sinterleme işlemi uygulanması sebebiyle YMK yapıya geçmiştir. Böylece, dökme demirin, YMK kristal yapıya sahip olan pirinç içerisine difüzyonu gerçekleşmiştir. EDX spektrumunda görüldüğü üzere, demirin CuZn31Si1 pirinç içerisine difüze olduğu fakat çinko ve bakırın GGG-40 dökme demir içerisine difüzyonunun yok denilebilecek kadar az miktarda olduğu bulunmuştur. Bu durumun oluşmasında, demir elementinin atom yarıçapının, bakır ve çinko elementlerinin atom yarıçaplarından daha düşük olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir.
- XRD analiz sonucuna göre kompozit yapıyı oluşturan dökme demir ve pirinç metalleri arasında herhangi bir intermetalik bileşik oluşmadığı görülmüştür. Ayrıca, kompozit yapıda bulunan metallere ait herhangi bir oksit bileşenine rastlanmamıştır. Yapıda oksit bileşik oluşmamasında, ultrasonik temizliğin ve borik asidin etkili olduğu düşünülmektedir.
- Kompozit karışımların her birinin, presleme sonrası deneysel yoğunlukları, karışım kuralına göre bulunan teorik yoğunlukları ile kıyaslandığı zaman, p70d30 numunesinin deneysel yoğunluğunun, teorik yoğunluğunun %78,7'si kadar olduğu, p50d50 numunesinin ise deneysel yoğunluğunun, teorik yoğunluğunun %71,5'si kadar olduğu bulunmuştur. Karışım içerisindeki pirinç oranının artmasıyla, karışımın

sıkıştırılabilirliğinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, dökme demir talaşlarının pirinç talaşlarına göre daha sert olmasından kaynaklanmaktadır.

- MMK malzemelerin içerisinde sinterleme sonrası, en fazla toplam gözeneklilik oranına %29,55 ile p50d50'nin ve en az toplam gözeneklilik oranına %23,29 ile p70d30'un sahip olduğu bulunmuştur. Sinterleme sonrası toplam gözeneklilik oranının, karışım içerisindeki dökme demir oranının artmasıyla arttığı belirlenmiştir. Bu durum, öğütme işlemi sonucu sertliği artan dökme demir talaşlarının sinterleme esnasında yapıda geri yaylanmaya sebep olmasından kaynaklanmaktadır.

- MMK malzemelerin tümünün, sinterleme sonrası toplam gözeneklilik oranları, presleme sonrası toplam gözeneklilik oranlarına göre arttığı belirlenmiştir. Toplam gözeneklilik oranı en fazla artan numune %9,34 artış ile p70d30 numunesi, toplam gözeneklilik oranı en az artan numune ise, %3,64 artış ile p50d50 numunesidir. Kompozit karışımı oluşturan bileşenlerden biri olan pirincin içerisinde bulunan bakır metalleri, sinterleme esnasında dökme demir partikülleri arasına girerek yapıda şişme olayı gerçekleştirmiştir. Böylece, pirinç oranı fazla olan kompozit numunede, bakır metalleri, dökme demir partiküllerinin birbirlerinden ayrılmasına daha fazla neden olmuştur. Dolayısıyla bu durum, sinterleme sonrası gözeneklilik oranının presleme sonrası gözeneklilik oranına göre, daha fazla artmasına sebep olmuştur.

- MMK malzemelerinin ve CuZn31Si1 pirincinin yüzey sertlikleri Brinell sertlik metoduna göre belirlenmiştir. CuZn31Si1 malzemesinin yüzey sertlik değerinin, çalışmada üretilen kompozit malzemelere oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun sebebi, CuZn31Si1 malzemesinin döküm yöntemiyle üretilmiş olmasından dolayı sahip olduğu gözeneklilik oranının çok düşük olmasından dolayıdır. MMK kompozit malzemelerinin yüzey sertlikleri kendi aralarında kıyaslandığı zaman en sert numunenin 59 BSD değeri ile p50d50'ye ait ve CuZn31Si1 malzemesinin yüzey sertliğinin %40'ı kadar olduğu bulunmuştur. Kompozit malzemelerin yüzey sertliğinin, karışımdaki dökme demir oranının artmasıyla arttığı belirlenmiştir. Bu durumun sebebi, dökme demirin sertliğinin pirincin sertliğinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

- MMK malzemelerinin ve CuZn31Si1 pirinç malzemesinin basma dayanımları birbirleriyle kıyaslandığı zaman, CuZn31Si1 malzemesinin basma dayanımının,

üretileen kompozit malzemelere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerin basma dayanımları kendi aralarında kıyaslandığı zaman, en yüksek basma dayanımına 180 MPa değeri ile p70d30'a ait ve döküm CuZn31Si1 malzemesinin basma dayanımının %28,9'u kadar olduğu bulunmuştur. Kompozit numunelerin basma dayanımlarının karışımındaki pirinç oranının artmasıyla arttığı belirlenmiştir. Bu durum, sinterleme sırasında pirinç oranı fazla olan karışım da ergiyen pirincin dökme demir partiküllerinin etrafını daha fazla sarmasını sağlamakta ve gözeneklilik oranını azaltmaktadır. Böylece, daha mukavemetli bir yapının elde edilmesi sağlanmıştır.

- MMK malzemelerinin ve CuZn31Si1 pirinç malzemesinin rezilyans ve tokluk değerleri birbirleriyle kıyaslandığı zaman, CuZn31Si1 malzemesinin rezilyans ve tokluğu, üretileen kompozit malzemelere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerin rezilyansı kendi aralarında kıyaslandığı zaman, en yüksek rezilyansa 2,64 J/mm³ ile p70d30'a ait ve CuZn31Si1 malzemesinin rezilyansının %34,7'si kadar olduğu bulunmuştur. Kompozit malzemelerin tokluğu kendi aralarında kıyaslandığı zaman, en yüksek tokluğa 58,5 J/mm³ ile p70d30'a ait ve CuZn31Si1 malzemesinin tokluğunun % 66,4'ü kadar olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, üretileen kompozit numunelerin elastik özelliklerinin, CuZn31Si1 malzemesine göre daha zayıf olduğu bulunmuştur.

- MMK malzemelerinin ve CuZn31Si1 pirinç malzemesinin kırılma anına kadar olan kılalma oranları birbirleriyle kıyaslandığı zaman, CuZn31Si1 malzemesinin kılalma oranı, üretileen kompozit malzemelere oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerin kılalma oranları kendi aralarında kıyaslandığı zaman, en yüksek kılalma oranının %39,6 ile p70d30'a ait ve CuZn31Si1 malzemesinin kılalma oranının %233'ü kadar olduğu bulunmuştur. Bu durumda, kompozit karışımındaki pirinç oranı artmasıyla numunelerin kırılma anına kadar olan kılalma oranının artmakta olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, MMK malzemelerinin yapısında bulunan pirinç bileşeninin dökme demir partiküllerini kaydırıcı bir unsur olmasından ve yapıda gözeneklerin kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- MMK malzemelerin optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, kompozit yapının bazı yerlerinde talaş geometrisinden dolayı ergiyen pirincin boşlukları

dolduramadığı ve yapıda gözenekler oluştuğu gözlenmiştir. Bu gözenekler malzemede istenen bir özellik olmasına karşın bazı düzensiz ve büyük gözenekler malzemenin mukavemetini olumsuz yönde etkilemektedir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada, borik asit katkılı pirinç ve dökme demir talaşlarının kullanımıyla MMK malzeme üretimi yapılmıştır. Sonrasında MMK malzemelerin mikro yapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi yapılmış, ilerleyen zamanlarda yapılabilecek diğer araştırma önerileri aşağıda verilmiştir.

1. Bu çalışmada, soğuk presleme ve sinterleme metodu kullanılmıştır. Üretimde kullanılabilir diğer bir yöntem ise, sıcak presleme yöntemidir. Sıcak presleme yönteminde, yüksek sıcaklık ve basınç etkisiyle numunede meydana gelen iç gerilmeler giderilerek birbirlerine daha kolay yapışması sağlanarak mekanik özellikler açısından daha üstün bir yapı elde edilebilir. Diğer bir kazanım da, istenilen yoğunluk değerlerinin daha düşük sıkıştırma basınçlarında elde edilebilmesidir. Ayrıca sıcak presleme prosesinde, soğuk preslemeden sonra yapılan sinterleme işlemine ihtiyaç duyulmadığı için üretim daha ucuz ve hızlı olur. Sıcak presleme yönteminde dikkat edilmesi gereken husus ise, sıcak presleme işleminin, numunelerde oksitlenme oluşmasını önleyecek şekilde yapılmasını sağlamaktır.
2. MMK malzemelerinin gözenekli yapıya sahip olması ve yapıyı oluşturan bileşenlerden pirincin tribolojik, dökme demirin ise hem tribolojik hem de yağlayıcı özelliklerinin tatminkâr olması sebebiyle ileriki çalışmalarda MMK malzemelerinin mikro sertlik ve aşınma testlerinin yapılmasıyla kaymalı yatak elemanı olarak kullanılabilirliği incelenebilir.
3. Bu çalışmada, borik asit katkılı pirinç ve dökme demir talaşlarının kullanılmasıyla kompozit malzemelerin üretimi yapılmıştır. İleriki çalışmalarda, pirinç ve dökme demir talaşlarının kullanımıyla kompozit malzemeler üretilerek borik asidin mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.
4. Bu çalışmada, ultrasonik temizleme işlemi yapılmış talaşların kullanılmasıyla MMK malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarda, ultrasonik temizleme

işlemi yapılmamış talaşların kullanılmasıyla MMK malzeme üretimi gerçekleştirilerek ultrasonik temizliğinin mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.

5. Bu tez çalışmasında, bir adet MMK numune üretiminin maliyet analizi yapılmıştır. MMK malzemenin endüstride seri üretiminin gerçekleşmesi halinde, tasarlanan üretim yeri ve kapasitesi gibi şartlara bağlı olarak maliyetler azaltılarak daha düşük fiyatlarda kompozit malzeme üretilmesi mümkündür.

6. MMK malzemelerinin üretim parametreleri değiştirilerek daha gözenekli yapı elde edilebilir ve filtre elemanı olarak kullanılabilirliği incelenebilir.

7. Üretilen kompozit malzemeler gözenekli bir yapıya sahip olduğu için darbe absorbe elemanı olarak kullanılabilir. Bu sebeple ileriki çalışmalarda darbe dayanım değerleri bulunabilir.

8. Üretilen kompozit malzemelerin, talaşlı işlenebilirlik parametreleri incelenerek makine elemanı olarak kullanılabilirliği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

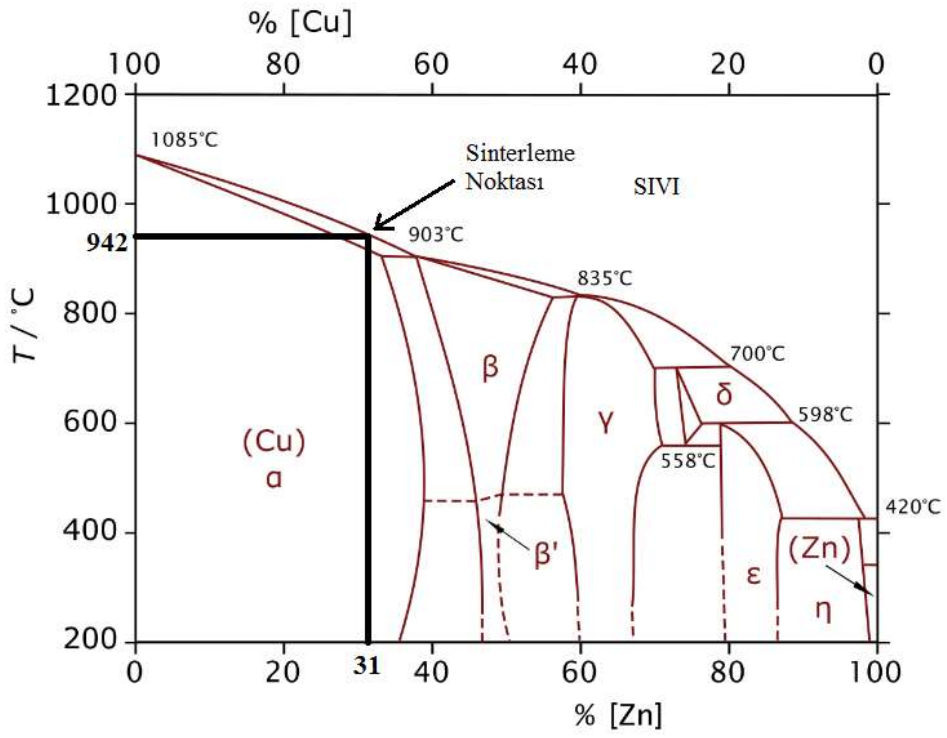
- Alsaran, A., 2013, Talaşlı imalat ders notları, *Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Erzurum.
- Aslan, A., 2014, Atık metal talaşların geri dönüştürülmesiyle metal matris kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- ASTM- E 9-89a, Standard Test Methods for Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature, American Society for Testing and Materials.
- Anık, S., Dikicioğlu A., Vural, M., 1997, İmal Usulleri : kaynak tekniği metal üretim tekniği döküm tekniği plastik şekil verme tekniği talaşlı imalat tekniği toz metalürjisi, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 279-283, 308-311.
- Babalık, F. C., 2009, Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri, *Dora Yayıncılık*, Bursa, 389-487.
- Baker, H., Okamoto, H., 1992, ASM Handbook, vol. 3, Alloy Phase Diagrams, ASM International, *Materials Park*, Ohio, USA.
- Belevi, M., 2013, Lehim ve yapıştırma ders notları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, İzmir.
- Callister, W.D., 2014, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, *Nobel Yayıncılık*, Ankara, 150-195, 626-672.
- Chen, P., Shen, Q., Luo, G., Li, M. Zhang, L., 2013, The Mechanical Properties of W-Cu Composite by Activated Sintering, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Volume 36 ,220-224.
- Çiğdem, M., 1996, İmal Usulleri, *Çağlayan Kitapevi*, İstanbul, 329-357.
- Eker, A., 2008, Metal matrisli kompozit malzemeler ve üretim yöntemleri ders notları, *Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü*, İstanbul.
- Eker, A., 2014, Kompozit Malzemeler ders notları, *Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü*, İstanbul.
- Ersoy, H. Y., 2001, Kompozit Malzeme, *Literatür Yayınları*, İstanbul, 11-15.
- Durak, E., 2003, Borik asitin katkı maddesi olarak yağlama yağında kullanılmasının araştırılması, *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1) 121-129.

- German, R. M., 2007, Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, *TTMD*, Ankara.
- Gronostajski, J., Matuszak A., 1999, The recycling of metals by plastic deformation: an example of recycling of aluminium and its alloys chips, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93,35-41.
- Gronostajski, J., Marciniak, H., Matuszak, A., Samuel, M., 2001,Aluminium-ferro-chromium composites produced by recycling of chips, *Journal of Materials Processing Technology*, 119 ,251-256.
- Gronostajski, J., Chmura, W., Gronostajski, Z., 2002, Bearing materials obtained by recycling of aluminium and aluminium bronze chips, *Journal of Materials Processing Techonology*,125-126, 483-490.
- Groover, P.M., 2010, Fundamentals of Modern Manufacturing; Materials, Processes an System 4. Edition, *John Wiley and Sons, Inc.*, 491-492.
- Karadağ, H. B., 2012, Çelik / Bronz talaş kompozitin üretimi ve mekanik özellikleri, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Kato, H., Takama, M., Iwai, Y., Washida, K., Sasaki, Y., 2003, Wear and mechanical properties of sintered copper–tin composites containing graphite or molybdenum disulfide, *14th International Conference on Wear of Materials*, Part 1, 2003, Washington, DC, US ,255, 573–578.
- Kaw, A.K., 2006, Mechanics of Composite Materials Second Edition, *Crc Press*, 1-59.
- Kocakuşak, S., Akçay, K., Ayok, T. , Köroğlu, J., Savaşçı, T. ve Tolun, R., 1998, Akışkan Yatakta Bor Oksit Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi, *Tübitak Araştırma Merkezi*, Rapor No: KM 323.
- Kondoh, K., Imai, H., Umeda, J.Kosaka, Y., Kojima, A., 2009, Machinable Cu-40%Zn Composites Containing Graphite Particles by Powder Metallurgy Process, *Hindawi Publishing Corporation Journal of Metallurgy*, Volume 2009, 4 pages.
- Kurt, A.O., 2004, Toz üretim yöntemleri ve sinterleme ders notları, *SAÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği*, Sakarya.
- Öztürk, S., İcin, K.,2015, Toz metalurjisi deneyi laboratuvar föyü, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği*, Trabzon.
- Parucker M. L., C. E. Da Costa,2003, Study of the recycling grey cast iron swarf by powder metallurgy: an alternative for the development of new materials, *Materials Science Forum*, Volumes 530-531,3-9.

- Pepelnjak, T., Kuzman, K., Kačmarčik, I., Plančak, M., 2012, Recycling of AlMgSi1 aluminium chips by cold compression, *Metalurgija*, Volume 51(4), 509-512.
- Philip, P.K., Basheerkutty, Y., 1991, Reclamation of Metal Cutting Brass Chips Using Powder Metallurgy, *Powder Metallurgy*, 34(1),45-52.
- Samuel, M., 2002, A new technique for recycling aluminium scrap, *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 135(1), 117-124.
- Smith, R., 1990, Encyclopedia of Chemical Technology., *Kirk-Othmer*, Boric Oxide, Boric Acid, and Borates, Vol 1, No:4.
- Smith, W.F., 2006, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 451-533.
- Şahin, Y., 2000, Kompozit Malzemelere Giriş, *Gazi Kitapevi*, Ankara, 1-17, 67-79.
- Şahin, Y., 2000, Talaş kaldırma prensipleri cilt 1, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 163-173.
- Şahin, Y., 2007, Tribological behaviour of metal matrix and its composite, *Materials and Design*, 28 (4), 1348-1352.
- Uzun, H., Kılıç, İ., 2002, Demir esaslı T/M parçaların kırılma tokluğu, sertliği ve mikro yapısal karakterizasyonu, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 6 (1), 76-83.
- Ünlü, B.S., 2006, Bakır Esaslı CuSn10 ve CuZn30 Yataklardaki Alaşım Elementlerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklere Etkisi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 11-17.
- Ünlü, B.S., Yılmaz, S.S., Varol, R., 2005, Borlanmış Demir Esaslı FeCu-Grafit T/M Malzemenin Aşınma ve Mekanik Özellikleri, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 11-21.
- Ünlü, B.S., Yılmaz, S.S., Kurgan, N., 2009, Bronz-Demir, T/M-Döküm Yatakların Mikroyapı, Aşınma ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, *IATS'09 Karabük Üniversitesi*, Karabük.
- Yamanoğlu, R., Karakulak, E., Zeren, M., 2012, Mechanical And Wear Properties of Pre-Alloyed molybdenum P/M Steels With Nickel Addition, *J. Min. Metall. Sect. B-Metall*, 48 (2), B.251–258.
- Zeren, M., 2010, Toz metalürjisi ders notları, *Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği*, Kocaeli.

EKLER

EK-1 Cu-Zn Denge Diyagramı (Baker,1992)



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İbrahim ASLAN
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya - 23.12.1989
Telefon : 0542 331 40 89
Faks :
e-mail : ibraslan11@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Muhittin Güzelkılınç Lisesi, Meram /KONYA	2006
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu /KONYA	2011
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram / KONYA	-
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
01.12.2011-30.06.2012	Arlı Otomotiv	Makine Mühendisi
16.03.2013-01.06.2013	Aslan Kardeşler Tarım	Satış ve Pazarlama

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER