



Production and mechanical characterization of prismatic shape machine element by recycling of bronze and cast-iron chips

Abdullah Aslan^{1*}, Emin Salur¹, Aydın Güneş¹, Ömer Sinan Şahin¹, Hakan Burak Karadağ², Ahmet Akdemir³

¹Department of Mechanical Engineering, Selçuk University, 42075, Konya, Turkey

²Department of Metallurgical and Materials Engineering, Necmettin Erbakan University, 42140, Konya, Turkey

³Department of Aircraft Engineering, Necmettin Erbakan University, 42140, Konya, Turkey

Highlights:

- Effects of production parameters on mechanical properties
- A novel recycling method instead of melting process
- Production of porous metal matrix composite material

Keywords:

- Metal Chips
- Isostatic hot pressing
- Metal matrix composite
- Recycling
- Mechanical characterization

Graphical/Tabular Abstract

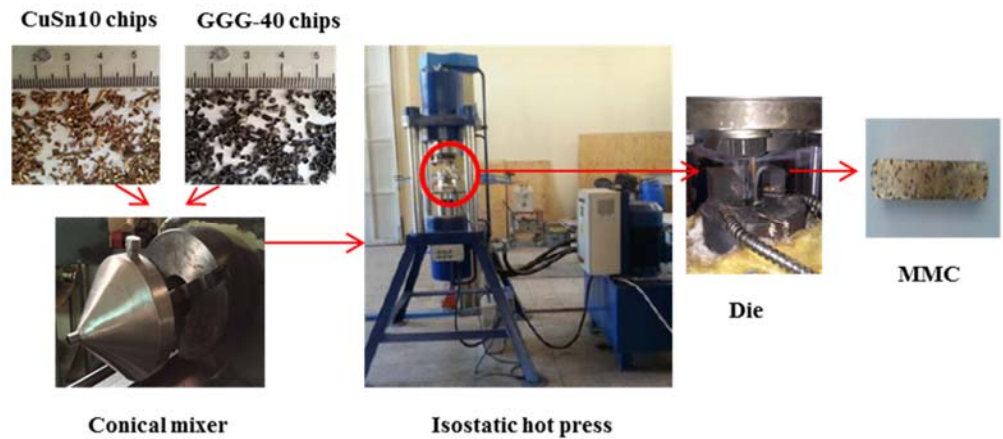


Figure A. Production process diagram and produced MMC specimen

Article Info:

Received: 26.01.2017

Accepted: 03.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416402

Acknowledgement:

This work has been funded by Tubitak (The scientific and technological research council of Turkey) under grant number 113M141 and Selçuk University under grant number BAP-10201039.

Correspondence:

Author: Abdullah ASLAN
e-mail:
aaslan@selcuk.edu.tr
phone: +90 332 223 3383

Purpose: In this study, metal matrix composites (MMCs) materials were produced by isostatic hot pressing at different temperatures pressures and mixture ratio. The producibility and mechanical properties of porous MMCs by recycling of spheroid cast iron chips (GGG-40) and bronze chips (CuSn10) by hot isostatic pressing was investigated.

Theory and Methods:

The metal matrix composites were produced with four different CuSn10 contents, three different pressures and temperatures and effects of production parameters on porosity, hardness, flexure properties were examined. Samples were produced in prismatic shape with specified porosity. The mechanical properties were determined by Brinell and Micro Vickers hardness tests and three-point bending test. The consolidation mechanism of metallic chips was also investigated with optic microscopy. It was examined whether any second phase occurred between metallic chips by the help of XRD test.

Results:

As a result of porosity test, it is found that metal matrix composites can have porosity value of as much as 20%. It is also showed that owing to excessive plastic deformation of CuSn10, the hardness of MMC material can be higher than bulk CuSn10. Three-point bending test showed that the flexure properties of MMC materials are lower than that of bulk CuSn10.

Conclusion:

As a consequence, it was revealed that the metallic chips can be recycled by using hot pressing and the mechanical properties of produced metal matrix composites were close to mechanical properties of bulk CuSn10. XRD and microscopy studies showed that there is no intermetallic compounds formation between metallic chips and the chips were consolidated by mechanical interlocking.



Bronz ve dökme demir talaşlarının geri dönüştürülmesiyle prizmatik şekilli makine elemanı üretimi ve mekanik karakterizasyonu

Abdullah Aslan^{1*}, Emin Salur¹, Aydın Güneş¹, Ömer Sinan Şahin¹, Hakan Burak Karadağ², Ahmet Akdemir³

¹Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 42075, Selçuklu, Konya, Türkiye

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 42140, Meram, Konya, Türkiye

³Necmettin Erbakan Üniversitesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, 42140, Meram, Konya, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Üretim parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi
- Ergitme yöntemlerine alternatif bir geri dönüşüm metodu
- Gözenekli metal matrisli kompozit malzeme üretimi

Makale Bilgileri

Geliş: 26.01.2017

Kabul: 03.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416402

Anahtar Kelimeler:

Metal talaşları,
izostatik sıcak pres,
metal matrisli kompozit,
geri dönüşüm,
mekanik karakterizasyon

ÖZET

Bu çalışmada küresel grafitli dökme demir (GGG-40) ve Bronz (CuSn10) talaşlarının izostatik sıcak presleme yöntemiyle geri dönüştürülmesi ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin (MMK) üretimi ve mekanik davranışları incelenmiştir. MMK malzemeler 4 farklı karışım oranında 3 farklı sıcaklıkta ve 3 farklı basınçta üretilerek üretim parametrelerinin gözeneklilik, sertlik ve eğilme mukavemeti üzerine etkisi incelenmiştir. Prizmatik geometri olarak üretilen numunelerin öncelikle gözeneklilik ve yoğunluk değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra Brinell ve Mikro Vickers ve 3 noktadan eğilme deneyleri ile MMK malzemelerin mukavemeti belirlenmiştir. Optik mikroskopü tekniği ile mikro yapı görüntüleri incelenerek talaşların birleşme mekanizması incelenmiştir. Ayrıca XRD analizi aracılığıyla metalik talaşlar arasında ara faz oluşumu olup olmadığı sorgulanmıştır. Gözeneklilik deneyleri neticesinde %20 mertebelerinde gözeneklilik elde edilmiştir. Aşırı plastik deformasyon gösteren CuSn10 sebebiyle mukavemeti artan CuSn10 talaşları sertlik değerini Bulk CuSn10 ile kıyaslanabilir seviyelere getirmiştir. Eğilme deneyi neticesinde MMK malzemelerin eğilme mukavemetleri bulk CuSn10'dan düşük çıkmıştır. Sonuç olarak metal talaşların başarılı bir biçimde metal matris kompozit haline getirilebileceği gösterilmiştir.

Production and mechanical characterization of prismatic shape machine element by recycling of bronze and cast-iron chips

H I G H L I G H T S

- Effects of production parameters on mechanical properties
- A novel recycling method instead of melting process
- Production of porous metal matrix composite material

Article Info

Received: 26.01.2017

Accepted: 03.10.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416402

Keywords:

Metal chips,
isostatic hot pressing,
metal matrix composite,
recycling,
mechanical characterization

ABSTRACT

In this study, the production and mechanical properties of porous metal matrix composites (MMC's) by recycling of spheroid cast iron chips (GGG-40) and bronze chips (CuSn10) by hot isostatic pressing was investigated. The metal matrix composites were produced with four different CuSn10 contents, three different pressures and temperatures and effects of production parameters on porosity, hardness, flexure properties were examined. Samples were produced in prismatic shape with specified porosity. The mechanical properties were determined by Brinell and Micro Vickers hardness tests and three-point bending test. The consolidation mechanism of metallic chips was also investigated with optic microscopy. It was examined whether any second phase occurred between metallic chips by the help of XRD test. As a result of porosity test, it is found that metal matrix composites can have porosity value of as much as 20%. It is also showed that owing to excessive plastic deformation of CuSn10, the hardness of MMC material can be higher than bulk CuSn10. Three-point bending test showed that the flexure properties of MMC materials are lower than that of bulk CuSn10. As a consequence, it showed that metallic chips were recycled with hot pressing successfully.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: aaslan@selcuk.edu.tr / Tel: +90 332 223 3383

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzeme alanındaki ilerleme teknolojideki gelişmelerin birçoğunun ana sebebi olmasına rağmen bu durumun çevre üzerine önemli oranda olumsuz etkileri vardır [1, 2]. Endüstride kullanılan malzemelerin geri dönüşümü imalat sektörünün önemli problemlerinden birisidir [2]. Metallerin ergitilerek geri dönüştürülmesi için büyük miktarda enerjiye ihtiyaç duyulur [3]. Dökme demir ve bronz gibi ergime noktası nispeten yüksek metallerin yeniden ergitilmesi için ton başına 10 Giga Joule den fazla enerjiye ihtiyaç duyulur [4]. Talaşlı üretim sonucunda elde edilen talaşların oksitlerle kaplı olması [5], talaş boyutlarının nispeten küçük olması [6] ergitme proseslerin verimini oldukça düşürmektedir [7]. Ayrıca bu oksidasyonlar %20 civarında malzeme kaybına neden olur [8]. Geri dönüşüm konusunda ulusal ve uluslararası farkındalığın artması ile beraber [9] geri dönüşüm alanında yapılan araştırmalar ve buna bağlı olarak yapılan yatırımlar artmaktadır.

Geri dönüşüm konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle ergitme prosesleri ile geri dönüşümün sağlandığı görülmektedir [10]. Ergitme prosesleri tek seferde çok fazla sayıda parça üretme ve tekrar tekrar geri dönüştürülebilir gibi bazı avantajlar sağlasa da, düşük verimli, yüksek maliyetli ve çevreye zararlı oluşu [11] sebebiyle araştırmacılar alternatif geri dönüşüm metodlarına yönelmektedirler. Metal malzemelerin geri dönüştürülmesi ile ilgili çalışmalar bronz [6], alüminyum [12], magnezyum [13], demir [14] ve çelik [15], üzerine yoğunlaşmaktadır. Alüminyum talaşlarının geri dönüşüm süreci, sıcak deformasyon ve tavlama yöntemi ile [16], sıcak ekstrüzyon ile [17], ön presleme yaparak ve ardından sıcak ekstrüzyon yaparak [18], sinterleme metodu ile, yüksek basınçlı burulma yöntemi ile [19, 20], sıcak presleme ile soğuk ekstrüzyon ve soğuk haddeleme ile gerçekleştirilmiştir [21, 22]. Magnezyum talaşlarının ve dökme demir talaşlarının geri dönüşümünde de sıcak ekstrüzyon yöntemi, doğrudan ergitme yöntemlerine alternatif olarak kullanılmıştır [23, 24]. Çelik talaşlarının geri dönüşümünde ise soğuk presleme ve sinterleme süreci ile ilgili çalışmalar yapılmıştır [25]. Bu çalışmada bronz (CuSn10) talaşları ile küresel grafitli dökme demir (GGG-40) talaşlarının sıcak presleme yöntemiyle geri dönüştürülmesi sonucu elde edilen prizmatik geometriye sahip metal matrisli kompozit malzemenin mekanik karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. CuSn10 ve GGG-40 talaşları 4 farklı karışım oranında karıştırılarak (%90 Bronz + %10 Dökme demir, %80 Bronz + %20 Dökme demir, %70 Bronz + %30 Dökme demir, %60 Bronz + %40 Dökme

demir), 3 farklı basınç (100 MPa, 133MPa, 170MPa) ve 3 farklı sıcaklıkta (350 °C, 400 °C, 450 °C) sıcak presleme işlemi ile geri dönüştürülerek prizmatik geometriye sahip MMK malzeme üretildi. Üretilen numunelerin yüzeylerinde mekanik özelliklerinin homojen olup olmadığını belirlemek için Brinell sertlik testi, talaşların birleşim bölgelerindeki sertlik dağılımını incelemek için Mikro Vickers sertlik testi, malzeme içerisindeki gözenek miktarını belirlemek için gözeneklilik testi, talaşların birleşme noktalarında ikinci faz oluşup oluşmadığını incelemek için XRD testi uygulanmıştır [26]. Malzemenin çekme davranışı hakkında ve mekanik özelliklerinin iç bölgelerde nasıl değiştiğini anlamak adına 3 noktadan eğilme testi uygulanarak malzemenin mekanik davranışı belirlendi. Mekanik test sonuçlarını daha iyi yorumlamak ve talaşların birleşme mekanizmasını açıklayabilmek için mikro yapı görüntüleri incelendi [27].

2. DENEYSEL METOD (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. Üretim (Production)

Bu çalışmada kalay bronzu CuSn10 ve küresel grafitli dökme demir GGG-40 metallerinin talaşları kullanılmıştır. Kullanılan metallerin kimyasal kompozisyonları Tablo 1’de gösterilmektedir. Boyutları 1-2 mm arasında olan metal talaşları 4 farklı karışım oranında (%90 Bronz + %10 Dökme demir, %80 Bronz + %20 Dökme demir, %70 Bronz + %30 Dökme demir, %60 Bronz + %40 Dökme demir), 3 farklı basınç (100MPa, 133MPa, 170MPa) ve 3 farklı sıcaklıkta (350°C, 400°C, 450°C) preslenmiştir [28]. Karışım homojenliği sağlamak için konik karıştırıcıda German’ın karıştırma prosedürüne [29] uygun olarak karıştırılmış ve karıştırma sonrasında homojenliği kontrol edilmiştir. Üretim, 10 “min” ısıtma ve 15 “min” sabit sıcaklıkta presleme olmak üzere toplam 25 “min” sürmüştür. Metal talaşları ve kalıptan çıkarılan numuneye ait görüntüler Şekil 1’de gösterilmektedir.

2.2. Karakterizasyon (Characterization)

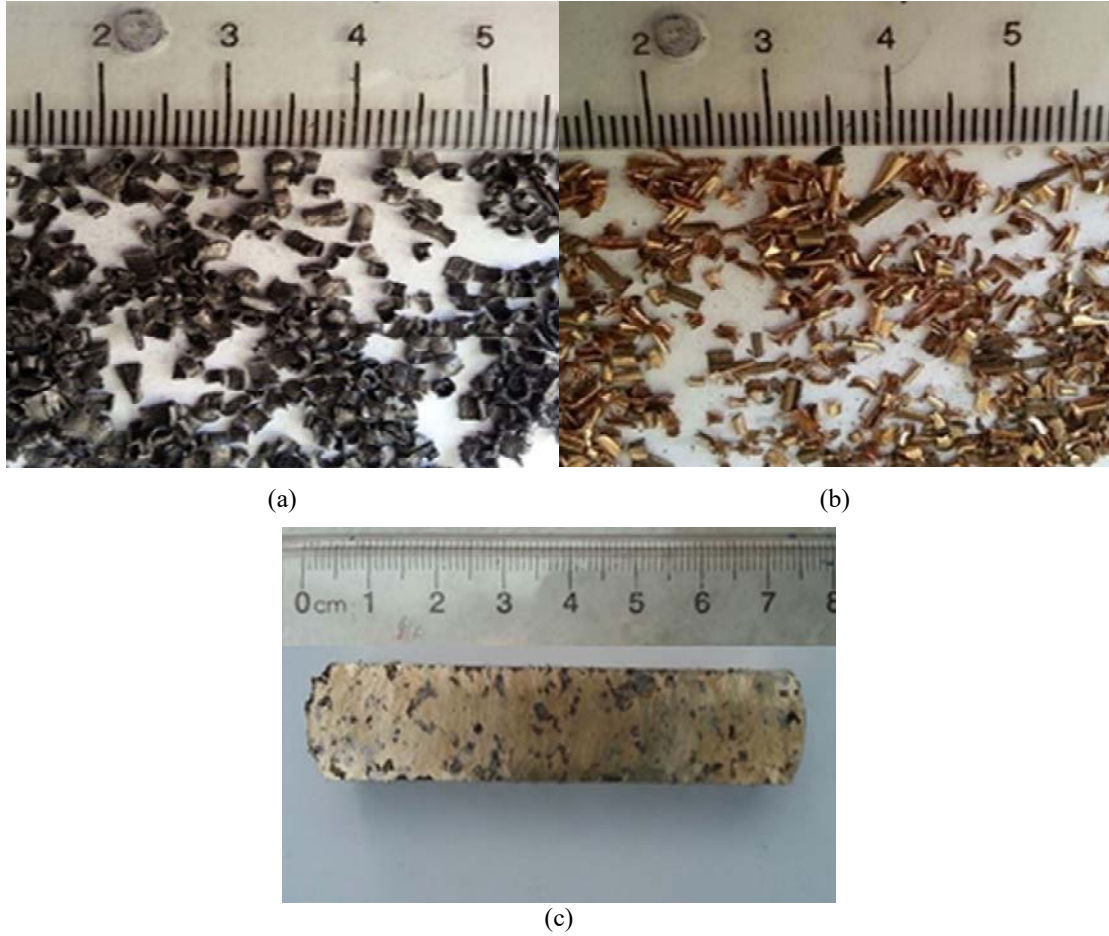
Metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik karakterizasyonu ve talaşların birleşme mekanizmasını belirlemek için, gözeneklilik, Brinell, Mikro Vickers, üç noktadan eğilme ve XRD testleri yapılmış ve numunelerin mikro yapı görüntüleri alınmıştır. MMK malzemelerin yoğunlukları hassas 0,001 g hassasiyetli Arşimet terazisi yardımıyla ölçülmüştür. MMK malzemelerin yoğunlukları tespit edildikten sonra karışım kuralı denklemi yardımıyla gözeneklilik değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 1. GGG-40 ve CuSn10 metallerinin kimyasal kompozisyonları (Chemical composition of GGG-40 and CuSn10)

GGG-40	C	Si	Mn	S	Mg	P
Referans	3,40-3,85	2,30-3,10	0,1-0,3	0,02 max	0,045-0,065	0,1 max
Talaşlar	3,4	2,50	0,13	0,01	0,046	0,08
CuSn10	Cu	Sn		Zn	Pb	
Referans	89-91	9-11		0,5 max	1 max	
Talaşlar	89,2	9,3		0,41	0,01	

MMK malzemelerin mekanik özelliklerinin her yerinde homojen olup olmadığı hakkında fikir sahibi olabilmek adına numunenin farklı konularından Brinell sertlik değerleri alınmıştır. Talaşların birleşim noktalarının etrafındaki dar bölgeden mikro Vickers sertlik ölçümleri alınarak birleşim noktalarındaki birleşme kalitesi ve homojenlik tespit edilmiştir. Test numunesi geometrisi ve sertlik ölçümlerinin alındığı konumlar Şekil 2’de gösterilmiştir. Brinell batıcı küresinin çapı 5 mm dir. Ölçümler, 250 kgf değerinde bir kuvvetin 30 s. boyunca numunelere uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Brinell testi ölçümleri, numunenin alt üst ve yan yüzeylerinden yapılarak ortalamaları alınmıştır. Brinell probunun şematik konumu ve ölçümlere ait görüntü

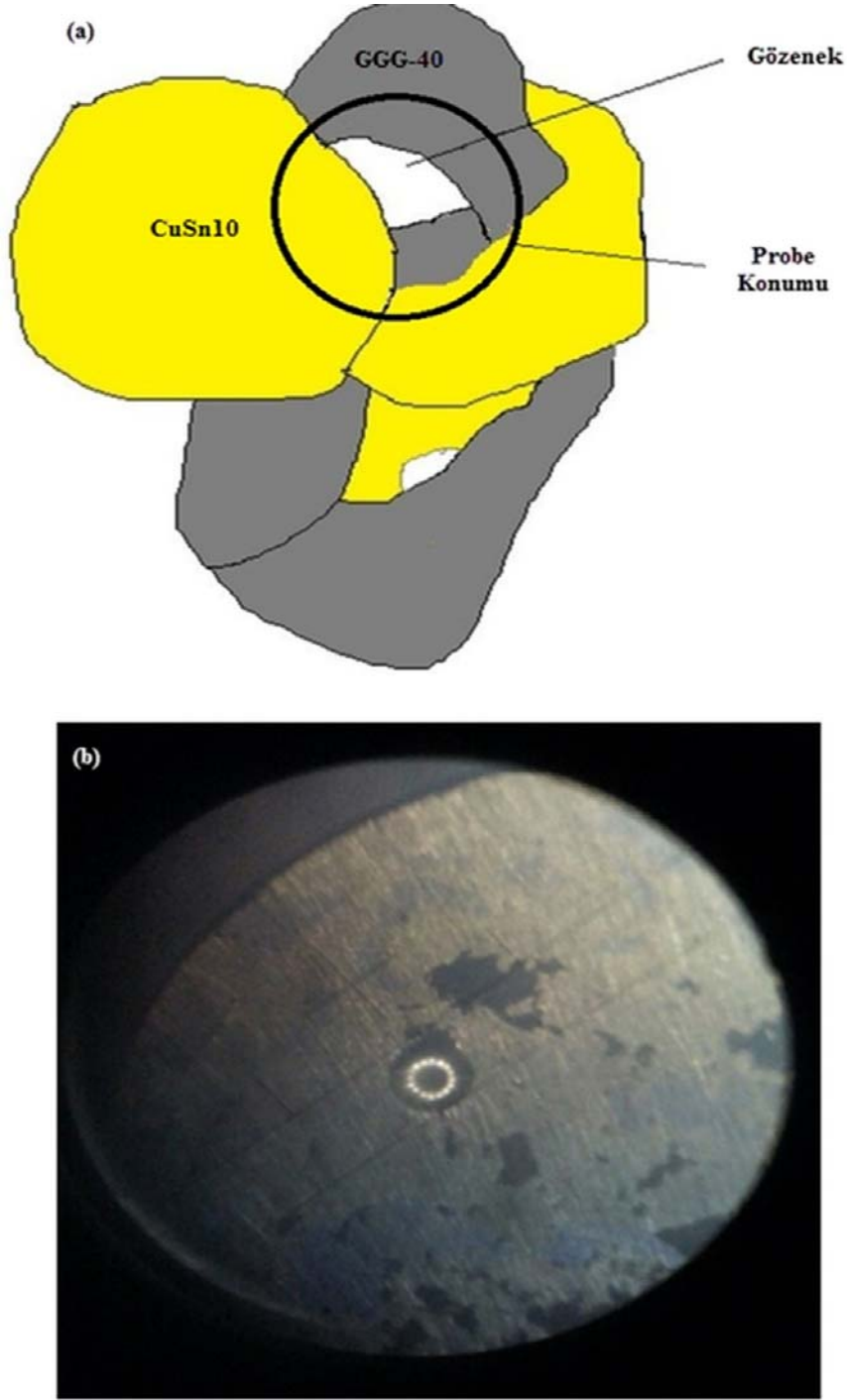
Şekil 3’te gösterilmiştir. Güvenilirlik açısından ölçümler üçer kez tekrar edilmiştir. Brinell ölçümleri neticesinde sertlik dağılımının alt ve üst yüzeylerde homojen olduğunun görülmesi üzerine mikro Vickers ölçümleri tek yüzeyden yapılmıştır. Ölçümler CuSn10 ve GGG-40 talaşlarının birleşim noktasının sağından solundan ve üzerinden yapılmıştır. 100 gramlık ölçüm yükü 20 s. boyunca numunelere uygulanmıştır. Ölçüm konumunun şematik gösterimi Şekil 4’te gösterilmiştir. Güvenilirlik açısından ölçümler üçer kez tekrar edilmiştir. Eğilme testleri talaşlarının iç bölgelerde etkili bir şekilde birleşip birleşmediğini anlamak için uygulanmıştır. Çekme testine uygun geometride malzeme üretilmediği için eğilme testi



Şekil 1. a) GGG-40 talaşları b) CuSn10 talaşları c) Prizmatik numune
(a- GGG-40 chips b- CuSn10 chips c- prismatic specimen)



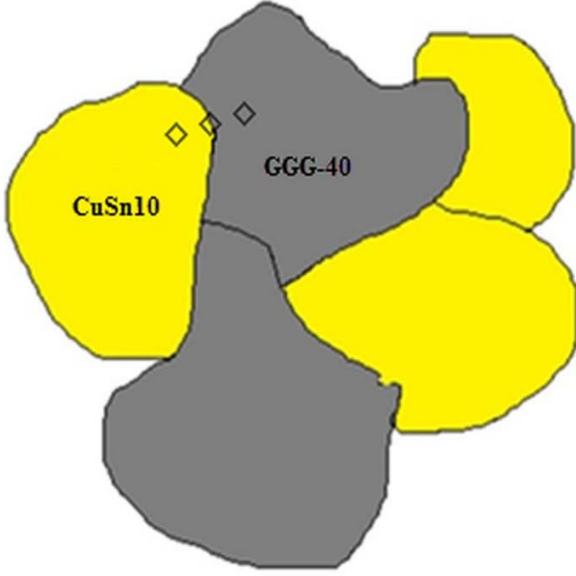
Şekil 2. Prizmatik numune geometrisi ve Brinell sertlik ölçüm konumları
(Geometry of prismatic specimen and locations of brinell hardness measurement)



Şekil 3. a) Prob konumunun şematik gösterimi b) Ölçüm görüntüsü (a) Schematic view of probe position b) Measurement view)

yardımıyla çekme davranışı yorumlanmıştır. Eğilme testleri ASTM (E290-97a) standardına uygun olarak oda sıcaklığında, 3mm/dk. İlerleme hızında, $r=8$ mm yarıçapa sahip mesnetler üzerinde mesnetler arası mesafe $C=55$ mm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneyler neticesinde prizmatik numunelerin kuvvet yer değiştirme grafikleri çizilmiştir. Eğilme testine ait görüntüler Şekil 5’de

gösterilmektedir. XRD testleri üretim neticesinde talaşların birleşme mekanizmasını tespit edebilmek için kullanılmıştır. Talaşlar arasında herhangi bir ikinci faz oluşup oluşmadığı XRD testi ile kontrol edilmiştir. XRD testine ek olarak mikro yapı görüntüleri de incelenerek birleşme mekanizması tespit edilmiştir. XRD sonuçları ve mikro yapı görüntüleri bulgular ve tartışmalar bölümünde gösterilmektedir.



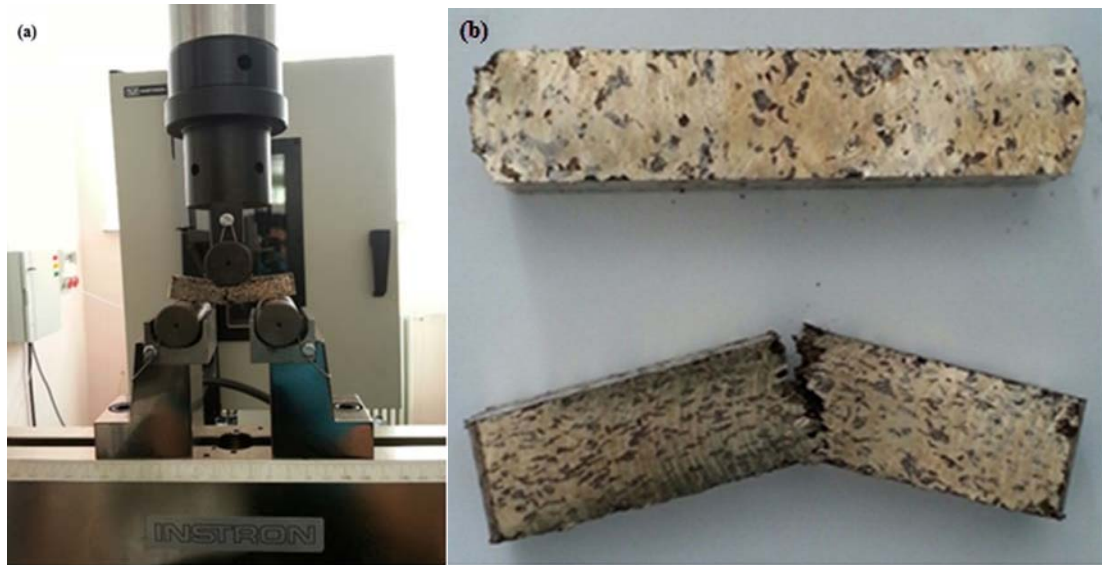
Şekil 4. Mikro Vickers prob konumunun şematik gösterimi (Schematic view of micro vickers probe position)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

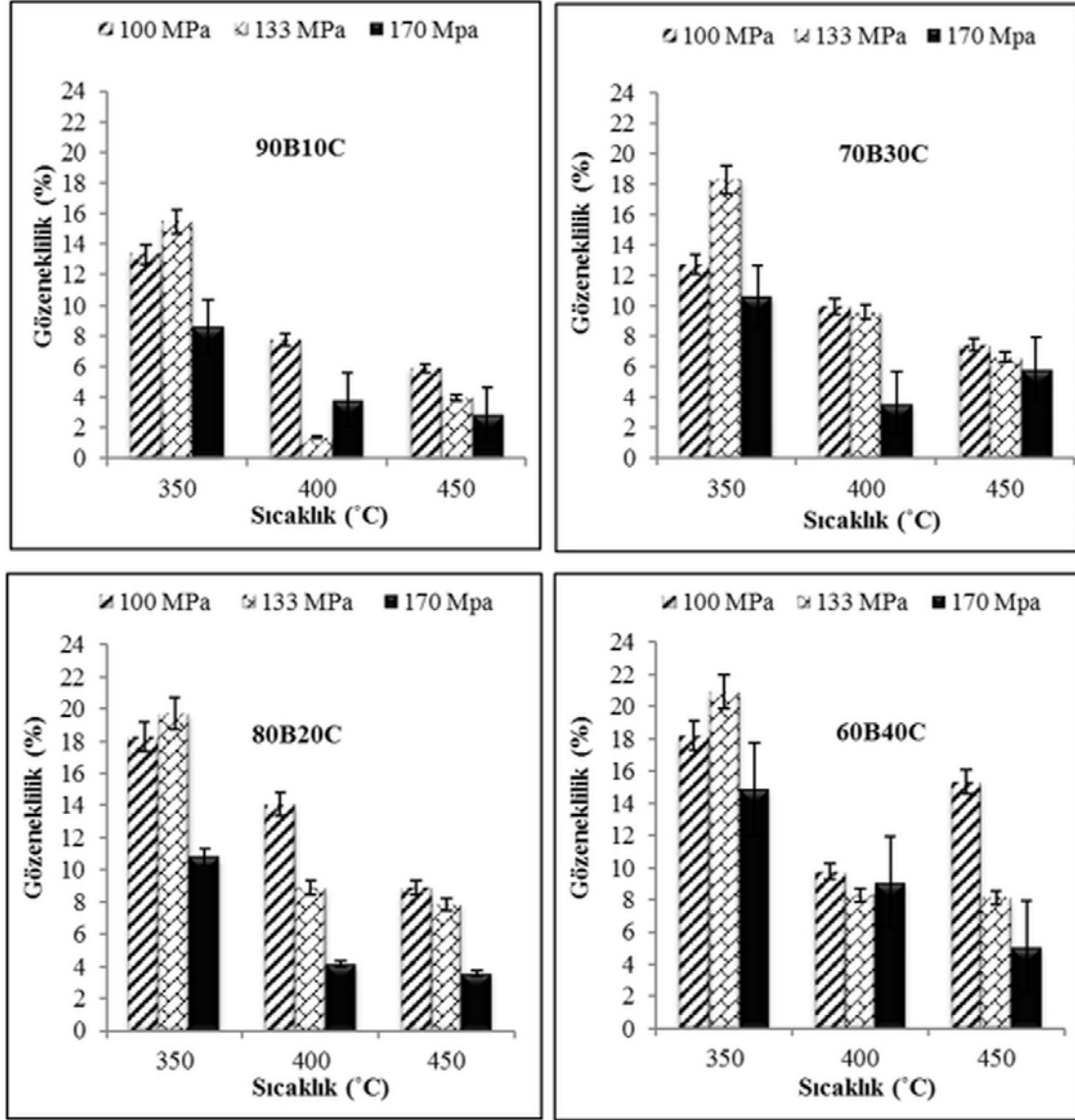
Farklı üretim parametreleri ile üretilen MMK malzemelerin gözeneklilik değerleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Grafiklerde sağ üst köşede yer alan adlandırma (örn:90B10C) %90 CuSn10 ve %10 GGG-40 içeriğine sahip olduğunu göstermektedir. Grafiklerde kompozisyonlar sabit tutulmuş, üretim basıncı ve sıcaklığının etkisi kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Bu çalışmadaki tüm grafikler benzer şekilde çizilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde artan GGG-40 içeriğine bağlı olarak gözeneklilik miktarının arttığı

söylenbilir. CuSn10 talaşlarına göre daha az şekil değiştirebilen GGG-40 talaşları, birleşim noktalarında gözeneklerin oluşmasına sebep olmuştur. Bu durum literatürde bulunan bilgilerle örtüşmektedir [15]. Üretim sıcaklığı arttıkça CuSn10'un plastik deformasyon miktarı artar ve GGG-40 talaşlarının daha iyi kaplanmasına neden olur. GGG-40 talaşlarının büyük bölümünün CuSn10 tarafından kaplanması gözeneklilik miktarında düşüşe neden olur. Ayrıca, sıcaklık artışının plastik deformasyon kabiliyetini artırması sebebiyle gözeneklilik miktarının düştüğü rapor edilmiştir [30]. Üretim basıncının artması ile gözenekliliğin azalması Fogagnolo vd. [31] yaptıkları çalışmada da belirtilmiştir.

Şekil 7'de üretim parametrelerine bağlı olarak GGG-40 talaşlarının üretim sırasında CuSn10 ile kaplanmış olduğu görülmektedir. Söz konusu şekil incelendiğinde 450 °C üretilen numunenin GGG-40 talaşlarının tamamen kaplandığı ve gözeneklerin kapandığı görülmektedir (Şekil 7a). Üretim sıcaklığının 350 °C olması durumunda plastik deformasyon yeterli seviyede olmadığından talaşların birleşim noktalarında gözenekler oluştuğu görülmektedir (Şekil 7b). Şekil 7c ve Şekil 7d' de ise yüksek sıcaklık basınç etkisiyle CuSn10 talaşlarının GGG-40 talaşlarını tamamen kapladığı ve çok dar bölgelere bile plastik deformasyonun gerçekleşebildiği ve gözenekliliğin azalmasına neden olduğu görülmektedir. Öte yandan, Şekil 6 incelendiğinde en düşük gözeneklilik değerlerinin 450 °C'de üretilen numunelerde tespit edildiği görülmektedir. Bu durumda bileşenlerin plastik deformasyon kabiliyetleri ve gözenek oluşumu arasında doğrudan bir ilişki olduğunun göstergesidir. Şekil 7a ve d beraber değerlendirildiğinde, %40 GGG-40 oranına sahip numunelerin daha fazla gözenekliliğe sahip olduğu görülmektedir. Mikro yapı görüntülerinden anlaşılan bu sonuç, gözeneklilik testleri ile de doğrulanmaktadır. Bu



Şekil 5. a) Üç noktadan eğilme testi b) Test öncesi ve sonrası numune görüntüsü
(a) three-point bending test b) View of specimen before and after test

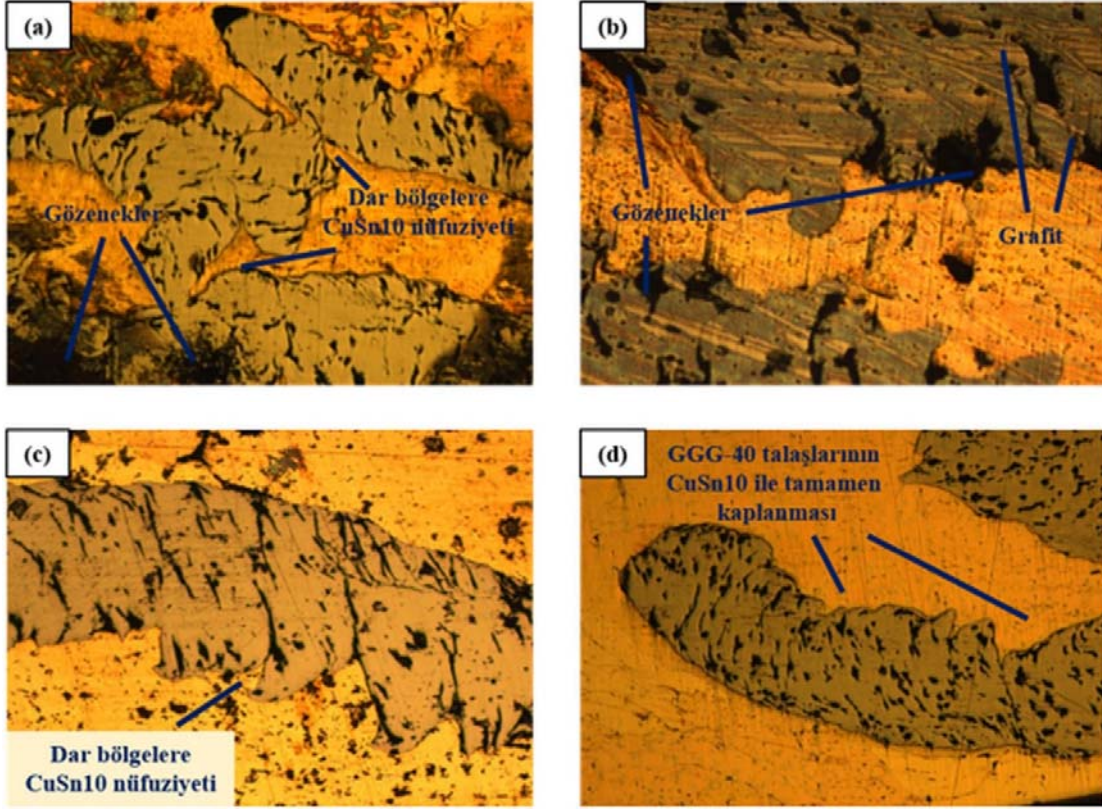


Şekil 6. Gözeneklilik testi sonuçları (Porosity test results)

sebeple MMK malzeme içerisindeki GGG-40 bileşimi arttıkça gözeneklilik miktarının arttığı söylenebilir. Şekil 6 incelendiğinde, üretim basıncının artmasıyla ise genellikle gözenekliliğin azaldığı söylenebilir fakat basıncın gözeneklilik üzerine sıcaklık kadar etkili olmadığı görülmektedir. Farklı kompozisyonlardaki test numunelerinde ölçülen en büyük gözeneklilik değeri %20 olarak tespit edilmiştir. Böylelikle kütle halindeki CuSn10'un yaklaşık 2,5 katı daha gözeneklilik değerine ulaşılmıştır. Sıcak presleme sonucunda elde edilen gözeneklilik değerleri bronzun toz metalürjisi ile üretimi neticesinde elde edilen numunelerin gözeneklilik değerleriyle örtüşmektedir [32].

Şekil 8'de Brinell sertlik değerleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi farklı kompozisyonlara sahip MMK malzemelerin yüzeylerinden ölçülen sertlik değerleri proses parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Genel itibarıyla

proses parametrelerinin sertlik değerlerine etkisi farklı kompozisyonlardaki MMK malzemelerde benzerdir. Proses sıcaklığının 350 °C olduğu durumlarda en düşük 450°C de ise en yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Sıcaklık, üretim süreci için oldukça kritik bir öneme sahiptir [33]. Talaşların yumuşama derecesi ve aynı zamanda plastik deformasyona karşı dirençleri sıcaklıkla ilişkilidir. Uygulanan basınç değeri de benzer etkiye sahip olup yeterli düzeyde basınç uygulanmaması durumunda talaşlarda yeterli düzeyde sertlik elde edilememektedir. Şekilde görüldüğü gibi en yüksek sertlik değerleri 170 MPa basınç değerinde elde edilmiştir. Kompozisyon etkisine bakıldığında, artan GGG-40 oranının sertlik değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. CuSn10 talaşları GGG-40 talaşlarına göre daha çok plastik deformasyon gösterebildiği için daha fazla pekleşmekte, ayrıca MMK malzemenin yapısal bütünlüğünü sağlamaktadır. Bu sebeple artan CuSn10 içeriğinin daha yüksek sertlik değerine sebebiyet



Şekil 7. Mikro yapı görüntüleri a) 60B40C-T450-P100\50X b) 90B10C-T350-P100\200X c) 90B10C-T450-P170\100X d) 90B10C-T450-P170\50X (Microstructure images)

vermesi beklenmektedir. De Oliveira vd. [34] yaptıkları çalışmada artan Cu içeriğinin kompozit malzeme içerisinde daha yüksek sertliğe sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Elde edilen sertlik değerlerinden bazıları kütle halindeki CuSn10 malzemenin sertlik değerinden daha yüksek iken, bazı parametrelerde belirtilen sertlik değerlerine ulaşamamıştır. %90 CuSn10 içerikli 170 MPa ve 450 °C’de üretilen numunede CuSn10 talaşlarının pekleşmesi sebebiyle bulk CuSn10 (108 HB)’un 1,5 katı sertlik değerine ulaşılmıştır. Bulk GGG-40 (158 HB)’ın ise %104’üne ulaşılmıştır.

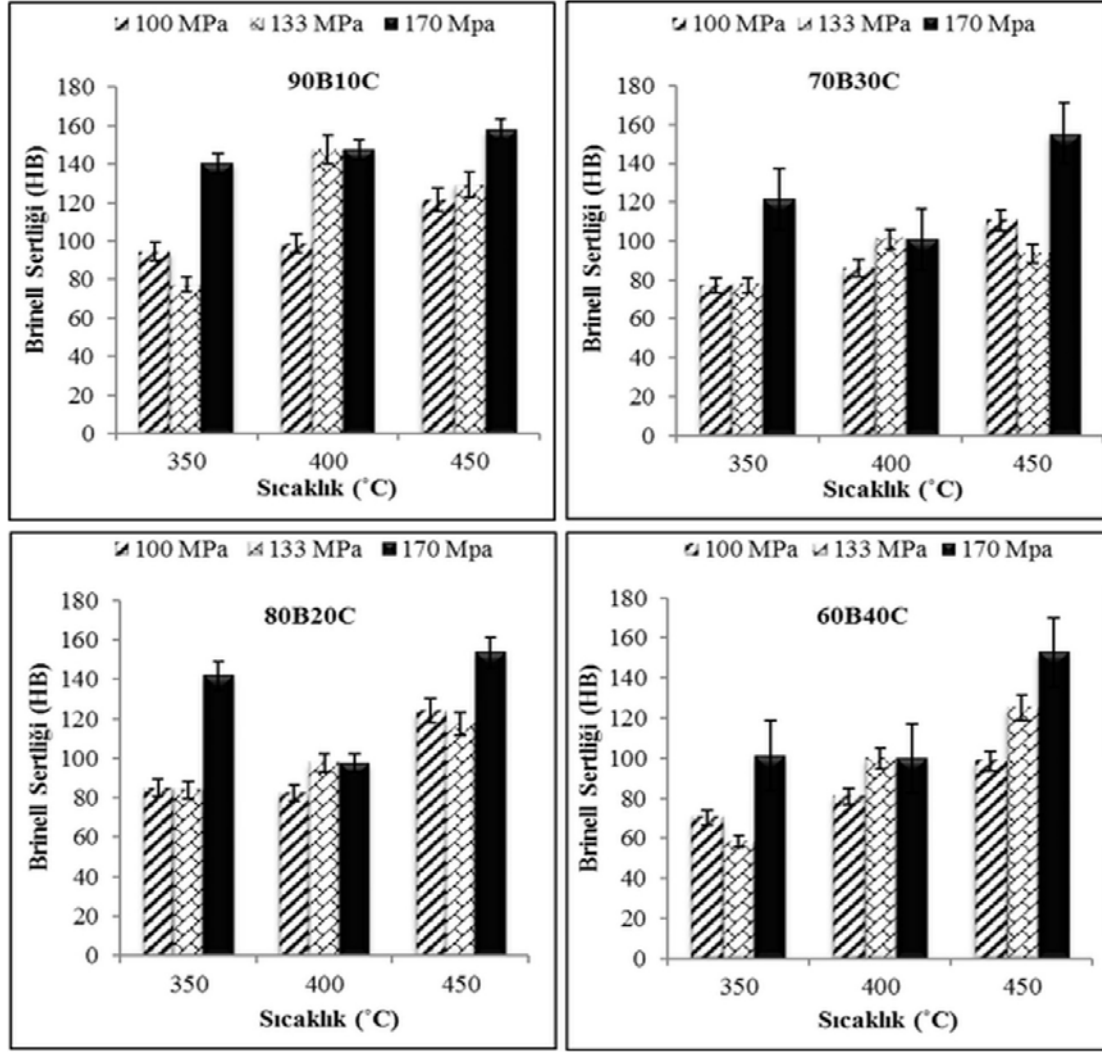
Şekil 9’da Micro Vickers sertlik değerleri gösterilmektedir. Genel olarak sertlik değerinin artışı CuSn10 oranı artışıyla paralellik göstermektedir. Bu durum CuSn10’un birleştirici (matris) görevini yerine getirdiğinin göstergesidir. Sertlik değerlerinin bulk CuSn10’dan yüksek çıktığı durumlarda CuSn1’un plastik deformasyona maruz kalması sonucu sertlik değerlerinin arttığı düşünülmektedir [35].

Sıcaklık ve basınç parametrelerinin sertlik profili üzerindeki etkisini incelediğimizde genelleyici bir sonuçtan bahsedilememektedir. Bazı istisnai durumlar olsa da genel olarak 400°C sıcaklıkta ve 133 MPa basınçta üretilen numunelerin sertlik değerleri birbirine yakındır. Bu durumda bu parametrelerde üretilen numunelerin sertlik profillerinin kompozisyondan bağımsız olduğu düşünülebilir. Bunun yanı sıra her ne kadar genelleyemesek de maksimum sertlikler 100 MPa basınçta üretilen numunelerde görülmüştür. Bu

durumda basınç etkisinin sertlik profili üzerine sıcaklık kadar etkin bir parametre olmadığı söylenebilir.

Şekil 10a da 4 farklı bileşime sahip prizmatik numunelerin üç noktadan eğilme testi neticesinde oluşan hasar gelişimi, Şekil 10b de ise 60B10C ve 90B10C numunelerine ait hasar gelişimi gösterilmiştir. CuSn10’un ve kompozit malzemelerin eğme deneyleri esnasında, uygulanan kuvvetin artışıyla bazı numunelerin orta bölgelerinde, bazılarının ise sağa veya sola daha yakın bölümlerden, alt yüzeyden üst yüzeye doğru zikzaklar çizerek ilerleyen çatlak oluşumu gözlenmiştir [36]. Eğme deneyi numunelerinin sahip olduğu çekme ve basma dayanımları arasındaki fark büyük olduğu için, numuneler daha çok çekme zorlamasına maruz kalacak şekilde kırılmaktadır. Bu durum kırılma yüzeyinin basma taraflarında herhangi bir büzülme görülmemesiyle açıklanmaktadır.

Bu durum Şekil 10a ve b de görüldüğü gibi, çatlakın boydan boya açılma moduyla (mod-I) ilerlemesi sonucunu doğurmuştur. Oluşan çatlaklar incelendiğinde çatlak talaşları keserek değil etraftan dolaşarak veya gözeneklerden (en zayıf olduğu noktalardan) ilerlediği görülmektedir. Şekil 10b’de oluşan zikzaklar incelendiğinde zikzakların ani olarak yön değiştirmesi bu düşüncüyü doğrular niteliktedir. Ayrıca oluşan hasar tipinin, kompozisyona bağlı olarak çok fazla değişmediği de Şekil 10a ve b de gözükmektedir. Şekil 11a’da bulk CuSn10’a ait



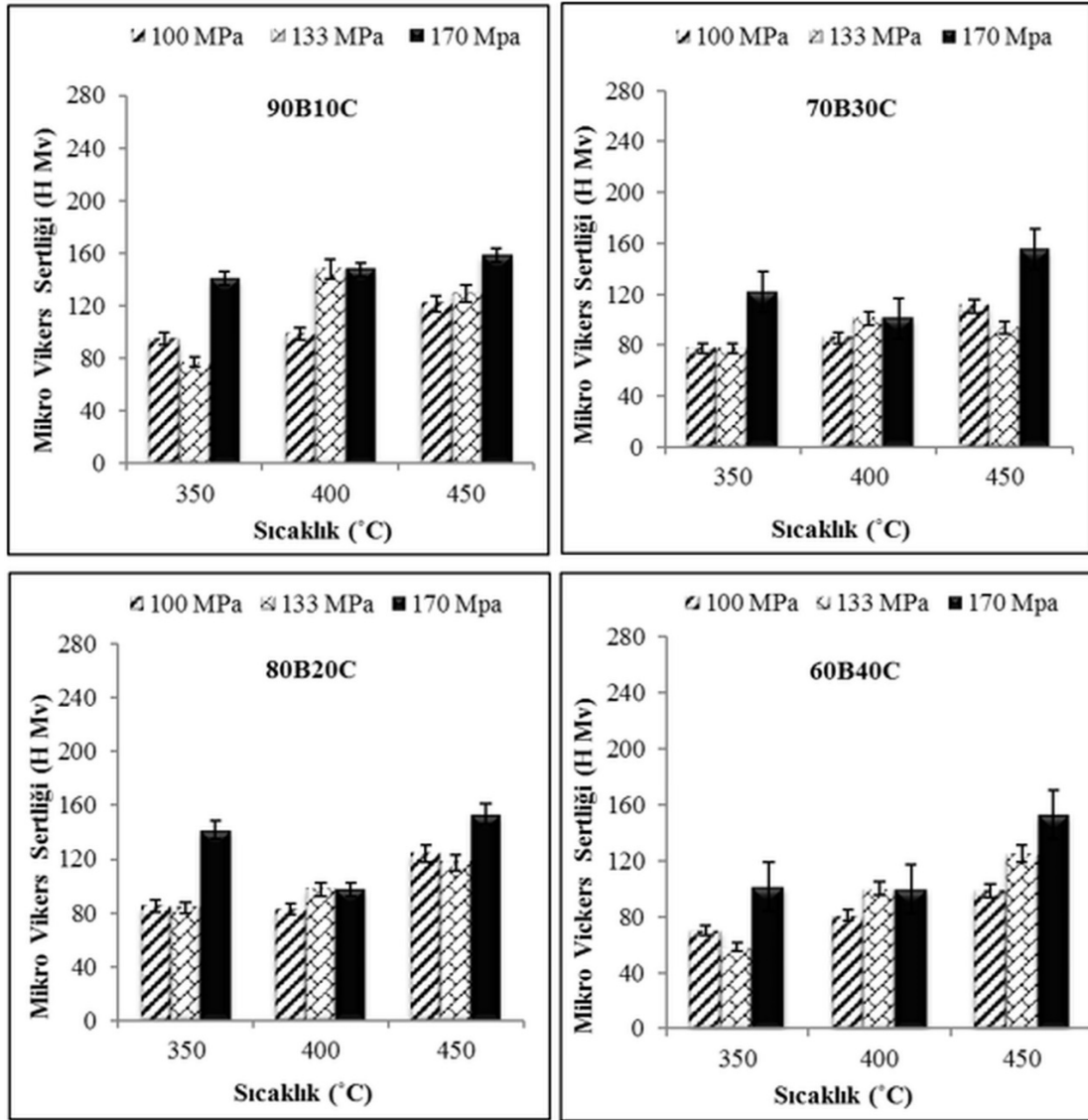
Şekil 8. Brinell sertlik testi sonuçları (Brinell hardness test results)

b'de ise MMK malzemeye ait kuvvet-yer değiştirme grafikleri yer almaktadır. Kütle halindeki CuSn10 malzemeye ait davranış incelendiğinde yapısı gereği ciddi bir süneklığe sahip olduğu ve kırılmadan önce önemli oranda şekil değiştirebildiği görülmektedir. MMK malzemeye ait grafik ile kütle halindeki CuSn10'un davranışları karşılaştırıldığında ciddi farklılıklar olduğu açıkça görülmektedir. Maksimum kuvvet değerinin bulk haldeki CuSn10 malzemenin yaklaşık %70'ine kadar çıkabildiği görülmektedir. Bu durum MMK malzemelerin sahip olduğu %20 oranlarındaki gözeneklilik miktarı ile açıkça ilişkilidir [37]. Söz konusu gözenekler gerilme konsantrasyonu etkisi oluşturarak kırılmayı kolaylaştırmıştır.

Öte yandan, malzeme içerisindeki gözenekler şekil değiştirme kabiliyetini kısıtlar [29]. Dolayısıyla MMK malzemelerin sahip olduğu gözeneklilik sebebiyle süneklilik değerinin düşük olması beklenen bir durumdur. Şekil 11b'de görüldüğü üzere, MMK malzemedeki maksimum direnç noktasına ulaşıldıktan sonra çatlak oluşumu söz konusu olmuş ve takip eden deformasyon çatlak ilerlemesi

biçiminde gerçekleşmiş ve ciddi bir sünek davranış gözlemlenmemiştir. Şekil 12'de prizmatik numunelere uygulanan eğme deneyi neticesinde elde edilen maksimum eğilme kuvvetleri gösterilmektedir. Çizilen grafiklerde kompozisyonlar sabit tutulmuştur ve basınç ile sıcaklığın eğilme üzerine etkisi gösterilmiştir. Her ölçüm üçer kez yapılmıştır ve elde edilen verilerin kendi içlerinde ortalamaları alınarak standart sapmaları hesaplanmış ve sütun grafiklerinin üzerine eklenmiştir. Grafikler incelendiğinde en iyi özelliklere sahip numune için bulk CuSn10'un maksimum eğilme kuvvetinin %70'ine ulaşıldığı görülmektedir. (Bulk CuSn10 maksimum kuvvet= 9100N) MMK malzemeler içerisinde sadece 90B10C numunelerde CuSn10 ile kıyaslanabilir veriler elde edildiği diğer karışım oranlarında ise kıyaslanabilir sonuçlar alınmadığı görülmektedir.

Dolayısıyla artan GGG-40 içeriğinin eğilme mukavemetini olumsuz etkilediği söylenebilir. Diğer taraftan artan CuSn10 içeriğinin malzemedeki matris görevini yerine getirebildiği söylenebilir. Artan GGG-40 içeriğiyle ise gözenekliliğin



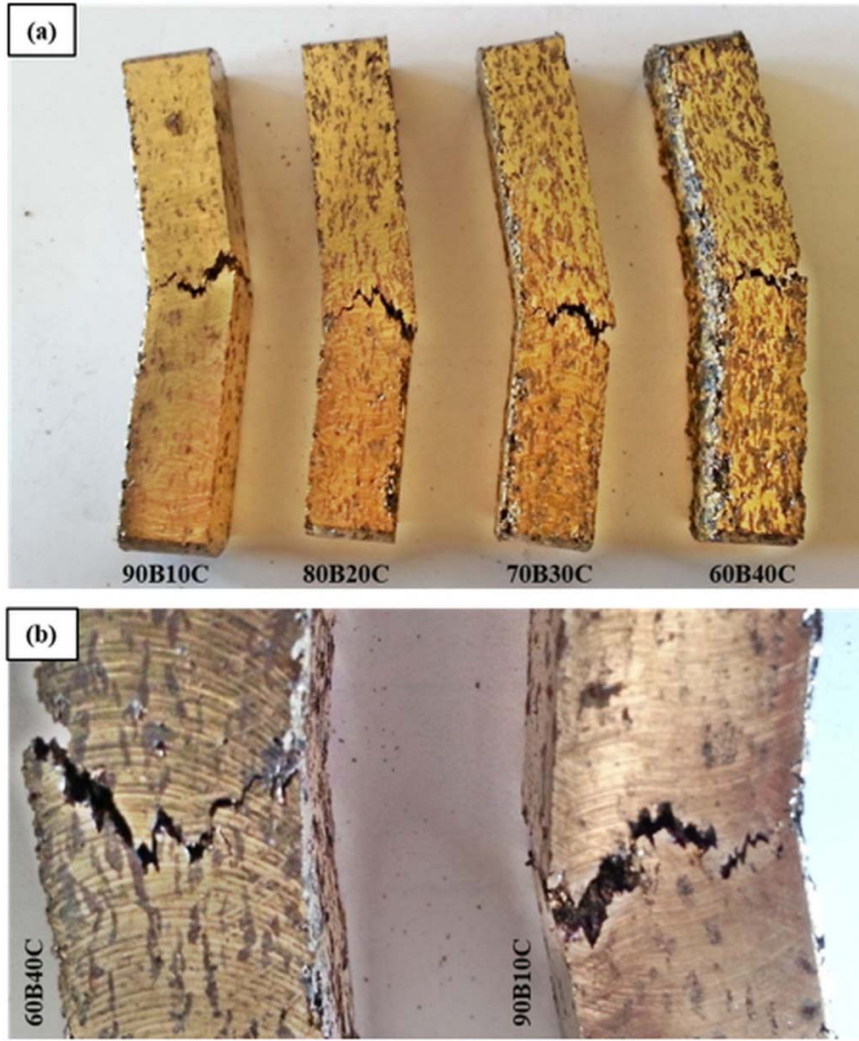
Şekil 9. Mikro Vickers sertlik testi sonuçları (Micro Vickers hardness test results)

arttığı ve mukavemetin azaldığı söylenebilir. Üretim basıncının artışıyla ise eğilme mukavemetinin genellikle arttığı tespit edilmiştir. Şekil 13’de 90B10C kompozisyonlu ve 450°C sıcaklık altında üretilen numuneye ait XRD modeli görülmektedir. Şekil incelendiğinde 31,3°, 36,3°, 42,8°, 44,5°, 50°, 52,2°, 62° ve 73,3° açılarında pikler olduğu görülmektedir.

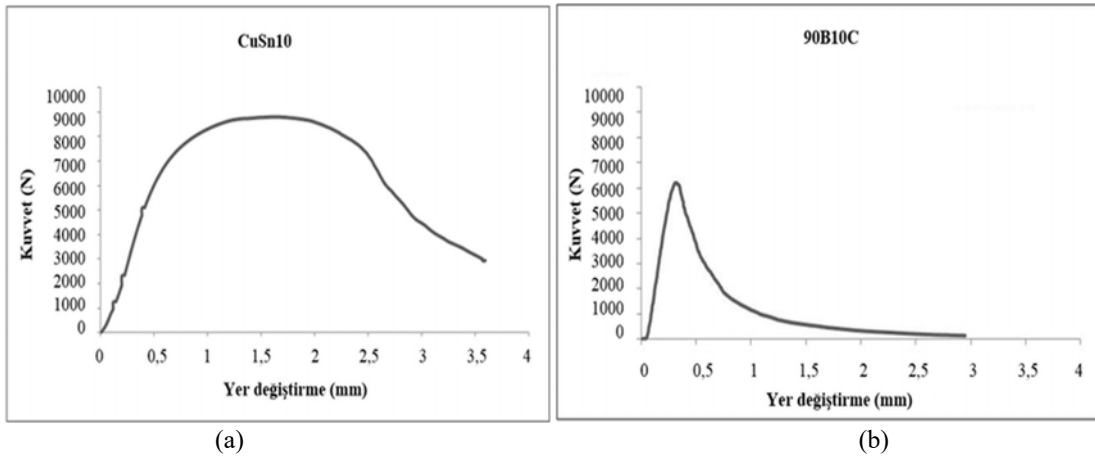
XRD veri tabanında ve literatürde [38-40] bulunan değerlerle karşılaştırıldığında; 42,8°, 50°, 62° ve 73,3°’de görülen piklerin CuSn10 yapısına ait olduğu, 36,3° ve 52,2°’de görülen piklerin bronz yapı içerisindeki kurşun (Pb) yapısına ait olduğu ve 44,5°’de görülen pikin ise demir (Fe) elementine ait olduğu anlaşılmaktadır. Dökme demir içerisindeki grafit yapısının ise 31,3°’de pik gösterdiği görülmüştür. XRD deseninden elde edilen sonuçlara göre bronz ve küresel grafitli dökme demir talaşları arasında herhangi bir intermetalik bileşik oluşmadığı, oluşan fazların büyük çoğunlukla bakır (Cu) içerisinde kalay (Sn)

elementinin oluşturduğu katı eriyik ve demir (Fe) elementi içerisinde serbest grafitten oluştuğu görülmektedir. Bununla birlikte, talaşlar arasındaki birleşme bölgesinde mekanik özellik değişiminin incelenmesi amacıyla Mikro sertlik testleri de uygulanmıştır.

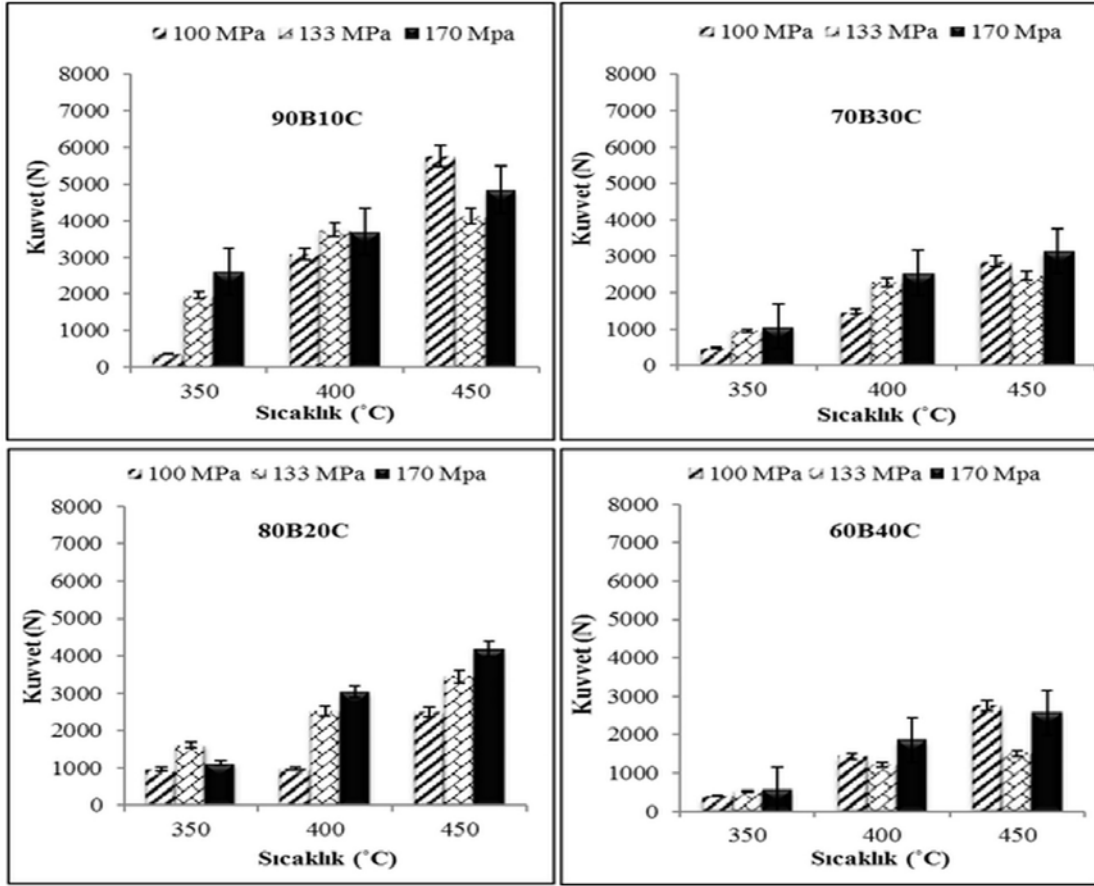
Bu konu ile ilgili detaylar mikro sertlik testi sonuçları bölümünde verilmiş olup üretilmiş olan kompozit malzemelerde birleşen talaş bölgelerinde yapılan mikro sertlik test sonuçları da bronz ve küresel grafitli dökme demir arasındaki geçiş bölgesinde mikro sertlik değerlerinin düzgün bir değişim gösterdiği ve ana yapı haricinde herhangi bir faz oluşumu olmadığı gösterilmiştir. Mikro yapı görüntüleri de bu sonuçları destekler niteliktedir. CuSn10 matris yapı sıcaklık ve basınç etkisiyle GGG-40 yapısını tamamen kapladığı ve dar bölgelere nüfuz edebildiği (Şekil 7) görülmektedir. XRD sonuçları ile mikro yapı görüntüleri beraber değerlendirilerek [41] aktif birleşme mekanizmasının mekanik kilitlenme olduğu ve herhangi bir ikinci faz yapısının oluşmadığı söylenebilir.



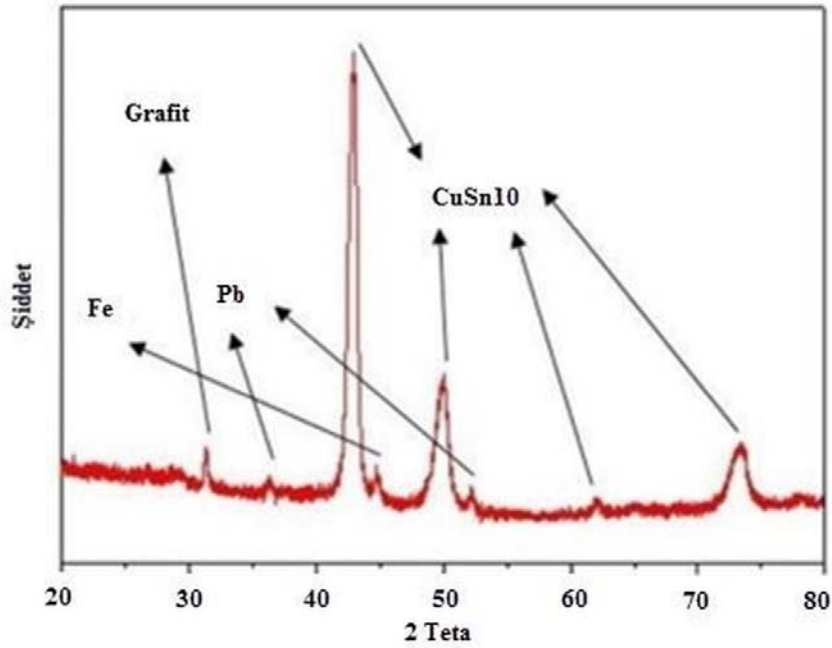
Şekil 10. 170 MPa ve 400 °C de üretilen numunelerin görüntüsü (Produced specimens at 400 °C and 170 MPa)



Şekil 11. a) Bulk CuSn10 malzemenin üç noktadan eğilme testi sonucunda elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği b) MMK malzemenin üç noktadan eğilme testi sonucunda elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği (Force-displacement graphics of bulk CuSn10 and MMC's obtained from three point bending test)



Şekil 12. MMK malzemelerin üç noktadan eğilme deneyi sonuçları (Three-point bending test results of MMCs')



Şekil 13. XRD testi sonuçları (XRD test results)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada CuSn10 ve GGG-40 talaşlarının sıcak presleme metoduyla geri dönüştürülerek metal matrisli kompozit malzeme üretimi incelenmiştir. Farklı proses parametreleri ve karışım oranları seçilerek üretilen malzemelerin mekanik özellikleri detaylı bir biçimde incelenmiştir.

Metal matrisli kompozit malzemelerin içeriğindeki GGG-40 ve CuSn10 arasında herhangi bir ara faz oluşmadığı, bu iki bileşenin birbirleri içerisine sızmadıkları fakat CuSn10'un dökme demir talaşları boşluklarına sızarak talaş etrafının büyük kısmını doldurduğu, mikro yapı görüntüleri yardımıyla tespit edilmiştir. Talaş geometrisi neticesinde bazı yerlere nüfuz edememesi sebebiyle gözenekler oluşmuştur. Bu gözenekler malzeme de istenen bir özellik olmasına rağmen bazı büyük ve düzensiz gözenekler malzeme mukavemetini olumsuz etkilemektedir. Numunelerde ölçülen maksimum gözeneklilik %20,914 tür ve 350 °C de üretilen numunelerde ölçülmüştür. Gözeneklilik değerinin artan sıcaklıkla ve basınçla azaldığı, artan dökme demir içeriğiyle arttığı tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda artan plastik deformasyon GGG-40 talaşlarının daha fazla kaplanmasına ve talaş temas noktalarında daha az gözenek oluşmasına sebep olmuştur.

Ölçülen en yüksek Brinell sertliği 165 HB tir. Böylelikle kütle haldeki CuSn10'un sertlik değeri ile kıyaslandığında %135 ine tekabül etmektedir. Micro Vickers sertliği ise 260 olarak ölçülmüş ve kütle haldeki CuSn10'un %104'üne karşılık gelmektedir. Sertlik değerinin istisnai durumlar olmakla birlikte; genellikle artan CuSn10 oranına, sıcaklığa ve basınca bağlı olarak arttığı söylenebilir. Bu durum CuSn10'un plastik deformasyona uğrayarak mukavemetinin artmasıyla açıklanabilir. Ayrıca Brinell testi sonuçlarına göre CuSn10'un dökme demir talaşları için uygun bir matris oluşturduğu ve etkili bir birleşme sağlandığı söylenebilir.

Mikro Vickers sertlik ölçümleri neticesinde komşu talaşlar arasında efektif bir birleşme sağlanabildiği belirlenmiştir. Eğilme testi neticesinde elde edilen eğilme mukavemeti kütle haldeki CuSn10'un %70'ine karşılık gelmektedir. Üretilen MMK malzemenin çekme yönündeki mukavemeti basma yönündeki mukavemetinden oldukça düşüktür fakat eğer gözeneklilik değerinden feragat edilirse istenilen mukavemete sahip MMK malzeme üretilebileceği söylenebilir.

XRD testi ve mikro yapı görüntüleri beraber incelendiğinde herhangi bir ikinci faz oluşmadığı ve birleşme mekanizmasının mekanik kilitleme olduğu tespit edilmiştir. Mekanik kilitlemeye ek olarak CuSn10 talaşlarının sıvı faza yaklaşacak kadar yumuşaması sebebiyle demir talaşlarının etrafını iyi doldurduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple tam olarak olmasa da bazı bölgelerde sıvı faz sinterlemeye yakın bir birleşme mekanizması olduğu söylenebilir. Başlangıçta difüzyon kaynağı ve sert lehimle (brazing) mekanizmalarının aktif olacağı düşünülmekte olmasına

rağmen difüzyon kaynağının gerçekleşebilmesi için yeterli süre olmaması, lehimleme oluşması içinde yeterli sıcaklık oluşmaması bu mekanizmaların oluşmasını engellemiştir.

Yapılan çalışma neticesinde sıcak presleme ile geri dönüştürme yönteminin döküm yöntemine alternatif oluşturabilecek bir geri dönüşüm metodu olarak endüstride kullanılabileceği söylenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Tübitak tarafından 113M141 numaralı ve Selçuk Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından 10201039 numaralı projeler ile desteklenmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Simon L. Moraes C.A.M., Modolo R.C.E., Vargas M., Calheiro D., Brehm F.A Recycling of contaminated metallic chip based on eco-efficiency and eco-effectiveness approaches, *Journal of Cleaner Production*, 1-8, 2016.
2. Alkaya E., Demirer G.N., Greening of production in metal processing industry through process modifications and improved management practices, *Resources, Conservation and Recycling*, 77, 89–96, 2013.
3. White K.G., Toward R.W., Cleaner production of hot dip galvanizing industry in China, *Journal of Cleaner Production* 18 (10), 1092–1099, 2010.
4. Guley V., Khalifa N.B., Tekkaya A.E., Direct recycling of 1050 aluminium alloy scrap material mixed with 6060 aluminium alloy chips by hot extrusion, *International Journal of Material Forming*, Springer, 3, 853-856, 2010.
5. Barbosa H.P.J., Soares, D.F.S., Ribeiro S., Recycling of aluminium swarf by direct incorporation in aluminium melts, *Journal of Materials Processing technology*, 209, 5195-5203, 2009.
6. Aslan A., Production of metal matrix composites by recycling of waste metal chips and their mechanical properties, Ms Thesis, Selçuk University, Department of Mechanical Engineering, Konya, 2014.
7. Aslan A., Sahin O.S., Salur E., Gunes A., Akdemir A., Karadag H.B., A new method for recycling of metal chips, *Journal of Selçuk University Natural and Applied Science*, 4, 1, 2015.
8. Gronostajski J., Matuszak, A., 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, 1999.
9. Khoeia A.R., Masters I., Gethin D.T., Design optimisation of aluminium recycling processes using Taguchi technique, *Journal of Materials Processing Technology*, 127, 96-106, 2002.
10. Basak C.B., Hari Babu N., Morphological changes and segregation of β -Al₁₉Fe₂Si₂ phase: A perspective from better recyclability of cast Al-Si alloys, *Materials and Design*, 108, 277-288, 2016.

11. Gronostajski J., Marciniak H.A., Matuszak. New methods of aluminum and aluminum alloy chips recycling, *Journal of Materials Processing Technology*, 106, 34-39, 2000.
12. Gronostajski J., Matuszak A., The recycling of metals by plastic deformation: an example of recycling of aluminum and its alloy's chips. *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93, 34-41, 1999.
13. Wu S., Ji Z., Tielei Z., Microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy recycled by solid-state process from different size chips. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 5319–5324, 2009.
14. Costa C.E., Zapata W.C., Parucker M.L., Characterization of casting iron powder from recycled swarf, *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144, 138-143, 2003.
15. Karadağ H.B., Production and mechanical properties of steel/bronze chips composite, PhD Thesis. Selçuk University, Department of Mechanical Engineering, Konya, 2012.
16. Szczepanik S., Sleboda T., The influence of the hot deformation and heat treatment on the properties of P/M Al-Cu composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 60, 729-733, 1996.
17. Gronostajski J.Z., Kaczmar J.W., Marciniak H., Matuszak A., Direct recycling of aluminum chips into extruded product, *Journal of Materials Processing Technology*, 64, 149-156, 1997.
18. Fogagnolo J.B., Ruiz-Navas E.M., Simón M.A., Martínez M.A., Recycling of aluminium alloy and aluminium matrix composite chips by pressing and hot extrusion. *Journal of Materials Processing Technology*, 143–144, 792–795, 2003.
19. Gronostajski J., Chamura W., Gronostajski Z., Bearing materials obtained by recycling of aluminium and aluminium bronze chips, *Journal of Materials Processing Technology*, 125-126, 483-490, 2002.
20. El Aal M.I.A., Yoon E.Y., Kim H.S., Recycling of AlSi8Cu3 alloy chips via high pressure torsion, *Materials Science & Engineering A*, 560, 121-128, 2013.
21. Khamisa S.S., Lajisb M.A., Albert R.A.O., A Sustainable Direct Recycling of Aluminum Chip (AA6061) in Hot Press Forging Employing Response Surface Methodology, *Procedia CIRP 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing*, 26, 477 – 481, 2015.
22. Chiba R., Nakamura T., Kuroda M., Solid-state recycling of aluminium alloy swarf through cold profile extrusion and cold Rolling, *Journal of Materials Processing Technology*, 211, 1878-1887, 2011.
23. Tao Y., Ming-yi Z., Xiao-shi H., Kun W., Recycling of az91 mg alloy through consolidation of machined chips by extrusion and ECAP. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20, 604-607, 2010.
24. Chino Y., Iwasaki H., Mabuchi M., Solid-state recycling for machined chips of iron by hot extrusion and annealing, Institute for Structural and Engineering Materials, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Moriyama-ku, Nagoya 463-8560, Japan, 2011.
25. Guluzade R., Avcı A., Demirci M.T., Erkendirici Ö.F., Fracture toughness of recycled AISI 1040 steel chip reinforced ALMG1SICU aluminium chip composites, *Materials and Design*, 52, 345–352, 2013.
26. Gorji R.R., Alizadeh A., Jafari H., Microstructure and mechanical properties of stir cast ZX51/Al2O3p magnesium matrix composites, *Materials Science & Engineering A* 674, 413–418, 2016.
27. Omar M.Y., Xiang C.,a, Nikhil Gupta N., Strbik O.M., Kyu Cho K., Syntactic foam core metal matrix sandwich composite under bending conditions, *Materials and Design* 86, 536–544, 2015.
28. Hu M., Ji Z., Chen X., Zhang Z., Effect of chip size on mechanical property and microstructure of AZ91D magnesium alloy prepared by solid state recycling, *Materials Characterization* 59, 385 – 389, 2008.
29. German R.M., Powder metallurgy & particulate materials processing, prentice-hall. Ttmd, 2007.
30. Jabur A.S., Effect of powder metallurgy conditions on the properties of porous bronze, *Powder Technology* 237, 477–483, 2013.
31. Fogagnolo J.B., Ruiz-Navas E.M., Simón M.A., Recycling of aluminium alloy and aluminium matrix composite chips by pressing and hot extrusion. *Journal of Materials Processing Technology*, 143–144, 792–795, 2003.
32. Kurt A. Boz M., Wear behaviour of organic asbestos based and bronze based powder metal brake linings, *Materials Design* 26, 717-721, 2005.
33. Erçetin A., Aslantaş K., Perçin M., Micro milling of tungsten-copper composite materials produced through powder metallurgy method: Effect of composition and sintering Temperature. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2018.
34. Oliveira L.J.D, Bobrovnitchii G.S., Filgueira M., Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 25, 328–335, 2007.
35. Barbosa A.P., Bobrovnitchii G.S., Skury A.L.D., Structure, microstructure and mechanical properties of pm fe–cu–co alloys. *Materials and Design*, 31, 522–526, 2010.
36. Yumak N., Aslantaş K., Investigation of effect of austempering process on mechanical strength and fatigue crack growth behaviour of ductile iron material, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (1), 199-209 2018.
37. Kayacan M.C., Delikanlı Y.E., Duman B., Özsoy K., Examining of mechanical properties of transitive (variable) porous specimens produced by SLS using ti6Al4v alloy powder, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (1), 127-143, 2018.
38. Juskenas R., Mockus Z., Kanapekaite S., Stalnionis G., Survila A., XRD studies of the phase composition of the

- electrodeposited copper-rich Cu–Sn alloys, *Electrochimica Acta*, 52, 928–935, 2006.
- 39.** Binh H.B., Sunjung K., Preparation of Cu-Sn Alloy Foam by Electrodeposition in Acid Solution, *Journal of The Electrochemical Society*, 162, D15-D19, 2015.
- 40.** Lei W.X.Y., Pan Y.C. Zhou W. Zhou M.L. Peng, Ma Z.S., CNTs–Cu composite layer enhanced Sn–Cu alloy as high performance anode materials for lithium-ion batteries, *RSC Advances*, 4, 3233-3237, 2014.
- 41.** El-Daly A.A., Abdelhameed M., Hashish M., Daoush W.M., Fabrication of silicon carbide reinforced aluminum matrix nanocomposites and characterization of its mechanical properties using non-destructive technique, *Materials Science & Engineering A* 559, 384–393, 2013.

