



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK METAL TALAŞLARININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİYLE METAL MATRİS KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Abdullah ASLAN

YÜKSEK LİSANS
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2014
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ATIK METAL TALAŞLARININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİYLE METAL MATRİS KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Abdullah ASLAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ömer Sinan Şahin

2014, 116 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR
Doç. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Yrd. Doç. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

Bu tez kapsamında GGG-40 (Küresel grafitli dökme demir) ve Bronz (CuSn10) talaşlarının çift etkili sıcak presleme yöntemiyle geri dönüştürülmesi sonucu elde edilen metal matrisli kompozit malzemenin mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Atık metal talaşlarının değerlendirilmesi ve/veya yeniden kazanımı konusunda bugüne kadar bir çok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu talaşların ergitme prosesleri yardımıyla faydalı hale getirilmesi üzerinedir. Ergitme prosesinin yüksek enerjiye ihtiyaç duyması ve çevreci olmaması sebebiyle alternatif geri dönüşüm metotları üzerinde çalışmalar artmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde çalışmaların bronz, pirinç, ve alüminyum talaşları üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Yapılan literatür incelemesinde dökme demir talaşlarının metal matrisli kompozit malzeme üretiminde kullanıldığını gösteren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın literatürdeki eksikliğe katkı yapması umulmaktadır.

Bu tez çalışmasında belirli bir kimyasal bileşimde döktürülen ve tornada işlenen çubuklardan üretilen CuSn10 ve GGG-40 talaşları kırıldıktan ve elendikten sonra 4 farklı kompozisyonda karıştırılmıştır. Elde edilen karışımlar 3 farklı sıcaklık ve basınç değerinde silindirik ve prizmatik olarak kapalı kalıp içerisinde çift etkili pres yardımıyla preslenerek metal matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen numunelere gözeneklilik, Brinell sertlik, mikro sertlik, basma ve üç noktadan eğme testleri yapılarak, sıcaklık, basınç, karışım oranı, ve ultrasonik temizlik işlemlerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir ve tüm numunelerde işlem süresi, sabit tutulmuştur.

Yapılan tez çalışması sonucunda, atık bronz ve dökme demir talaşlarından, döküm yöntemiyle üretilen saf CuSn10 malzemeden daha yüksek mukavemetli ve gözenekli malzeme elde edilmiştir. Bunun yanı sıra uygulanan yöntemin döküm yönteminden daha çevreci ve daha düşük maliyetli olması yöntemin önemini artırmaktadır. Bunlara ek olarak deneyde kullanılan üretim parametrelerinin mekanik özelliklere ne ölçüde etki ettiği tüm mekanik özellikler için değerlendirilmiştir. Ayrıca EDX analizi ve SEM mikroskop görüntüleri yardımıyla talaşlar içerisindeki oksit miktarı belirlenmiş ve oksijenin bağlanmaya etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık talaş, Bronz, geri dönüşüm, izostatik sıcak presleme, Mekanik özellikler, Küresel grafitli dökme demir

ABSTRACT

MS THESIS

PRODUCTION OF METAL MATRIX COMPOSITES BY RECYCLING OF WASTE METAL CHIPS AND THEIR MECHANICAL PROPERITIES

Abdullah ASLAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ömer Sinan Şahin

2014, 116 Pages

Jury
Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR
Assoc. Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Asst. Prof. Dr. Hakan Burak KARADAĞ

In this study, metal matrix composite material (MMC) consisting of spheroidal graphite cast iron (SGCI) and bronze (CuSn10), were produced by isostatic hot pressing and their mechanical properties were researched.

There are a number of studies about recycling of metal chips in technical literature. Many of these studies are related to recycling of metal chips by means of melting. There is an upward trend in alternative recycling process owing to casting processes are not eco-friendly and it results in high energy consumption. Literature review revealed that, almost all studies have been concentrated on bronze, brass and aluminum. It has not been encountered a study which is relevant to production of MMC which is compose of SGCI as of this writing.

In this study, bronze and cast iron chips, which are produced by spinning under constant spin parameters, were grinded in tumbling ball mill. MMC materials, which were composed of four different composition, have been produced in cylindrical and prismatic mould by the aid of isostatic hydraulic press in 3 different temperatures (350˚C , 400˚C , 450˚C) and pressures (480 MPa,640MPa, 820MPa)

According to relevant ASTM standards, density tests, Brinell hardness tests, Microvickers hardness tests, compression tests and three point bending tests were carried out. Effects of temperature, pressure and mixture composition, have been scrutinized by means of mechanical tests. Also, the effect of ultrasonic cleaning upon bond quality and mechanical properties were searched. Effect of ultrasonik cleaning is search by EDX analyze and SEM microscope, which can detect the amount of O_2 on metals surface.

.

As the aforementioned points show, it has been proved that the new MMC materials, which are manufactured bronze and cast iron chips, are more resisting, tough than pure bronze, which is manufactured by casting. On the other hand, some of MMC materials has low mechanical properties when it compares to other samples. All things considered, it can be mentioned that this method is more eco-friendly, low-cost in spite of the fact that these new samples manufactured new method have high mechanical properties.

Keywords:, Bronze, Isostatic hot pressing, Recycling , Metal chips, Mechanical properties, MMC, spheroidal graphite cast

ÖNSÖZ

Hızla artan dünya nüfusuna paralel olarak doğal kaynaklar da hızla tükenmektedir. Sanayi devrimiyle başlayan makineleşme çağı, enerji ve hammadde gibi iki büyük kavramın doğmasına sebep olmuştur. Enerji ve hammadde ihtiyacı sanayileşmenin temelini oluşturmaktadır. En temel enerji kaynağı olan fosil yakıtlar ve geçmişten günümüze en temel hammadde olan demirin kullanımı artan insan sayısı ve talebi doğrultusunda hızla artmaktadır. Artan talep, hem doğal kaynaklarda azalmaya sebep olmakta hem de çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sebeplerle 21.yy içerisinde bu durumun farkına varan insanoğlu alternatif ham madde ve enerji kaynaklarına, bunun yanı sıra da alternatif üretim metotlarına ihtiyaç duymuştur. Bu sebeple tüm bilim insanlarının özelikle de endüstriyel alanlarda görev alan bilim insanlarının bu konuya ehemmiyet göstermeleri ve gelecek nesillere de yaşanılabilir bir dünya bırakmak için üzerine düşeni yapmaları gerekmektedir. Bu tez çalışması da tam olarak bu sebeple ortaya çıkmıştır. Günümüzde kullanılan geri dönüşüm metotlarının yeterince çevreci olmaması sebebiyle bu metotlara alternatif olarak daha çevreci ve daha düşük maliyetli yeni bir metot geliştirme fikri ortaya çıkmış ve bu fikir endüstride en çok kullanılan malzemelerden olan dökme demir ve bronz üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Yapılan tez çalışması temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. İlk olarak atık talaşlarla söz konusu yeni metot yardımıyla metal matrisli kompozit malzemeler üretilmiş, sonrada üretilen malzemelerin mekanik özellikleri geleneksel yolla üretilen malzemelerin mekanik özellikleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmada ilk olarak literatür çalışması yapılmış ve ilgili konuyla alakalı literatürdeki eksiklik tespit edilmiştir. Daha sonra sırasıyla, çalışmayla doğrudan ilgisi olan kompozit malzemeler, toz metalürjisi, izostatik presleme hakkında bilgiler verilmiş ve kullanılan malzemeler, ekipmanlar tanıtılmıştır. Daha sonra numunelerin üretimi hakkında bilgiler ve numuneye uygulanan mekanik testler yer almaktadır. Söz konusu mekanik testlerin sonuçları ve tartışma bölümleri yer almaktadır. Son olarak sonuçlar ve öneriler bölümünde çalışma ile ilgili elde edilen sonuçlar maddeler haline verilmiş ve ileriki çalışmalara referans olması amacıyla bazı öneriler sunulmuştur.

Bu çalışmanın iki temel amacı bulunmaktadır. Bu amaçlar, literatürdeki eksikliği doldurarak konuyla ilgilenen akademik camiaya katkıda bulunmak, endüstriyel kuruluşlara alternatif bir geri dönüşüm metodu sunmaktır. Bu doğrultuda söz konusu amaçların gerçekleşip gerçekleşemeyeceği planlanan metodun uygulanabilirliğine bağlıdır. Yapılan bu çalışma neticesinde böyle bir metot uygulanarak müspet sonuçlar alınabileceği ispatlanarak çalışma amacına ulaştırılmıştır.

Bu çalışmada, 113M141 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi yürütücüsü olan ve beni çalışmasına dahil ederek bu tezi yapmamı sağlayan ve yüksek lisansa başladığım ilk günden bugüne kadar gerek akademik gerekse sosyal anlamda desteğini esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN ‘e, daha önceden yaptığı tez çalışmasıyla kazandığı tecrübeyi bu çalışmada bana aktararak çalışmamda kolaylık sağlayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan Burak KARADAĞ ’a, problem yaşadığımız noktalarda kıymetli fikirleriyle çalışmaya destek olan sayın Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR ’e, çalışmanın başından beri her aşamasında desteğini esirgemeyen sayın Arş. Gör. Aydın GÜNEŞ ’e, her türlü atölye işlerimizde gerek fikir bazında gerekse uygulama bazında desteğini esirgemeyen bölümümüz teknisyeni sayın Halit TUTAR ’a, mekanik testlerin yapımında ve yorumlanmasında desteğini esirgemeyen sayın Arş. Gör. Okan DEMİR ’e , deney düzeneğinin tasarımında ve yapımında yardımlarını esirgemeyen Kurşunel Çelik şirketi sahipleri sayın Mustafa KURŞUNEL ve Muzaffer

KURŞUNEL'e, Brinell sertlik ölçümleri için cihazlarından faydalandığımız Teknik ısıl işlem şirketine, çalışma boyunca cihazlarından istifade ettiğimiz sayın Arş. Gör Mahmut ÜNALDI ve sayın Doç. Dr. Recai KUŞ 'a, çalışmanın bir çok aşamasında desteğini esirgemeyen ve yanımda olan değerli meslektaşım proje asistanı sayın Emin SALUR 'a ve tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmada da desteğini esirgemeyerek motivasyonumu artıran aileme sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

Abdullah ASLAN
KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

ÖNSÖZ ..... **iii**

İÇİNDEKİLER ..... **v**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **vii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **10**

3.1. Kompozit malzemeler 10
3.1.1. Tanımı ve sınıflandırılması 10
3.1.2. Metal matrisli kompozit malzemeler 20
3.2. Toz Metalürjisi ve İzostatik sıcak presleme yöntemlerinin karşılaştırılması 25
3.2.1 Toz metalürjisi yönteminin tanımı ve özellikleri 25
3.2.2. İzostatik sıcak presleme ile klasik(toz metalürjisi) yöntemin kıyaslanması 29
3.3. Talaş oluşumu 30
3.4. Kullanılan malzemeler ve özellikleri 31
3.4.1. Küresel Grafitli dökme demir (GGG-40) 32
3.4.2. Bronz (CuSn10) 34
3.5. Ultrasonik temizlik etkisi 36
3.6. İmalat düzeneği ve numune üretimi 41
3.6.1. İmalat Düzeneği 41
3.6.2. Numune üretimi 50
3.7 Malzeme Karakterizasyonu 58
3.7.1. Gözeneklilik testi 58
3.7.2 Sertlik testi 60
3.7.3. Basma testi 68
3.7.4. Üç noktadan eğme testi 70

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **73**

4.1. Mekanik Testlerin sonuçları 73
4.1.1. Gözeneklilik testi sonuçları 73
4.1.2. Sertlik testi sonuçları 78
4.1.3. Basma testi sonuçları 82
4.1.4. Eğme testi sonuçları 92
4.2. Mikro yapı 98

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **105**

5.1 Sonuçlar 105
5.2 Öneriler 108

KAYNAKLAR 111

ÖZGEÇMİŞ.....116

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

S : Sekant Modülü

S/S_0 : Bağıl Sekant Modülü

R : Rezilyans Modülü

HB : Brinell Sertliği

HV : Vickers Sertliği

σ_b : Basma Mukavemeti,

σ_T : Gerçek Gerilme

ε_T : Gerçek Şekil Değiştirme

ε_f : Epsilon Final

d_{ort} : Ortalama çap

D : Bilya Çapı

D : İz Çapı

P : Yük

Kısaltmalar

EDX : Energy Dispersive X-Ray

SEM : Scanning Electron Microscope

MMC : Metal Matrix Composite

MMK : Metal Matrisli Kompozit

SGCI : Spherodial graphite cast iron

ASM : American Society for Metals

ASTM : American Society for Testing and Materials

KGDD : Küresel Grafitli Dökme Demir

ECAP : Eşit Kanal Açılı Basma

HPT : Sıcak Burulma Presi

BSD : Brinell Sertlik Değeri

1. GİRİŞ

Geçmişten bugüne günlük hayatta kullanılan malzemeler insanlık tarihini doğrudan etkilemiş ve insan medeniyetinin gelişmesinde önemli bir rol üstlenmiştir. Tarih sayfalarında yer alan ilk medeniyetler tasnif edilirken o dönemde efektif olarak kullanılan malzemelerin isimleri verilmiştir. (Ör: Taş devri, bronz çağı, demir çağı, tunç devri.)

İnsanlar ilk olarak doğada hazır olarak bulunan malzemeleri kullanabiliyorken, zamanla artan ihtiyaçlar ve keşifler sonucu çeşitli metaller kullanılmaya başlandı. Çünkü insanlar, malzemelerden kullanım yerine göre farklı özellikler beklemeye başladılar ve böylelikle malzeme bilimi gelişim göstermeye başladı. Artan ihtiyaçların yeni kullanım alanları doğurmasıyla beraber doğada hazır olan malzemeler istenen özellikleri sağlayamadı ve böylelikle hazır bulunan elementlerin farklı metotlarla birleştirilmesiyle yeni malzemeler üretilmeye ve kullanılmaya başlandı.(Metal, polimer, seramik)İlerleyen teknoloji neticesinde doğan yeni ihtiyaçlar birden fazla malzemenin en iyi özelliklerinin bir araya getirilmesi (polimerin hafifliği ile metalin sağlamlığının bir araya gelmesi gibi) ile oluşturulan malzemelere ihtiyaç duyulması sonucu kompozit malzemeler literatüre dâhil oldu.

Artan dünya nüfusu ve yaşam standartları sebebiyle hızla azalan doğal kaynaklar, mukavemet, süneklik, aşınma, korozyon gibi malzeme özelliklerinin yanı sıra maliyet mefhumunun da gündeme gelmesine hatta en belirleyici unsurlardan birisi olmasına neden olmuştur. Gerek maliyet unsuru, gerekse aşırı tüketime bağlı olarak bozulan doğal denge neticesinde alınan çevresel önlemler sebebiyle geri dönüşüm konusu bilim ve endüstri dünyasının en önemli başlıklarından birisi haline gelmiştir. Çeşitli sivil toplum örgütleri ve ilgili yönetimlerin ulusal ve uluslararası çalışmaları neticesinde birçok sektörde geri dönüşüm zorunlu tutulmuş ve bu gelişme geri dönüşüm adı altında yeni bir sektör doğmasına neden olmuştur.

Geri dönüşüm, sıfırdan malzeme üretilmesinden daha düşük maliyetli olduğundan dünya genelinde günden güne önemi artmaktadır. Geri dönüşüm prosesleriyle beraber birçok endüstriyel uygulamada atık halde doğaya bırakılan malzemeler yeniden kullanıma kazandırılmaktadır. Bu malzemelerin başında da metaller gelmektedir. Böylelikle atık miktarı azalır, doğal kaynaklar korunur, büyük enerji tasarrufları sağlanır ve tüm bunlarda malzeme maliyetleri üzerinde önemli rol oynar.

Sanayileşme ile başlayan süreçte en çok kullanılan malzemeler olan metallerin özellikle alüminyum, çelik ve demirin en yaygın geri dönüşüm metodu ergitme yöntemleridir. Fabrikalardan toparlanan hurdalar kullanım alanlarına göre ve istenilen özelliklere göre, çeşitli ocaklarda (potada ergitme, kupol ocakta ergitme, alevli ocakta ergitme, elektrikli ark ocaklarında ergitme, endüksiyon ocaklarında ergitme elektrik direnç ocaklarında ergitme) ergitilerek yeniden kullanıma kazandırılmaktadır. Fakat bu prosesler çok büyük enerji gerektirir ve bunun yanında son derece verimsiz bir prosestir. Bu verimsizliğin en büyük sebeplerinden birisi yüzeyde oluşan oksit tabakalarının malzeme üzerinde ısıl yalıtkan olarak davranması ve ısı iletimini azaltmasıdır. Bunun yanı sıra malzeme arasında bulunan hava boşlukları da ısı iletimini oldukça zorlaştırır. Buda malzemeyi ergitmeyi zorlaştırır. Enerji verimsizliğinin yanı sıra ergime sonucu açığa çıkan zehirli gazlar (talaşlı işlem sırasında kullanılan kesme sıvıları) doğrudan atmosfere salınmakta ve bu da ekolojik dengeyi olumsuz etkilemektedir. Bir ergitme prosesinde kullanılan talaşların ortalama olarak %10' u cürufa %8'i döküm artıklarına, %18i ekstrüzyon kayıplarına ve %10'u ergitme kayıplarına dönüştüğü için ancak %54 oranında malzeme geri kazanımı mümkündür.(Karadağ H.B. 2012)

Bu yöntemlere alternatif olarak geliştirilen yeni metotta gerek çevre açısından gerekse uygulanabilirlik açısından önemli farklar vardır. Bahsedilen bu yeni metotla, talaşlı imalat sonucu elde edilen talaşlar sıcaklık altında izostatik (çift etkili pres ile) olarak preslenerek geri dönüşümü sağlanmaktadır. Bu yöntem ile malzeme % 95 oranında geri kazanılabilmekte (%5 ekstrüzyon ve çeşitli kayıplar) ve bu geri kazanım, dökümle kıyaslandığında son derece düşük enerjilerle ve çevreci bir şekilde yapılmaktadır. Prosesin kapalı kalıpta gerçekleşiyor olması ve her hangi bir ergitme işleminin gerçekleşmemesi hem çalışma şartlarını kolaylaştırmakta, hem enerji ihtiyacını düşürmekte hem de zehirli gazların atmosfere salınımını engellemektedir.

Bu tez çalışmasında söz konusu geri dönüşüm prosesi hakkında öncelikle teorik bilgiler verilmektedir. Verilen bilgilerin yanı sıra prosesin uygulaması, izlenilen yollar, kullanılan cihazlar anlatılmıştır. Söz konusu proses ile 4 farklı karışım oranına sahip küresel grafitli dökme demir (GGG-40) talaşları ile Bronz (CuSn10) talaşları farklı sıcaklar altında birleştirilmiş ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına uygun olarak basma, üç noktadan eğme, Brinell sertlik testi, mikro sertlik testi, gözeneklilik testi uygulanmıştır. Ayrıca kullanılan talaşların üzerindeki oksit tabakaları ultrasonik banyo yardımıyla giderilerek, mekanik birleşmeye olan etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında;

- Presleme sıcaklığının mekanik özelliklere etkisi
- Presleme basıncının mekanik özelliklere etkisi
- Talaşların kompozit malzeme içerisindeki rölatif oranlarının mekanik özelliklere etkisi
- Talaşlara uygulanacak kimyasal ve ultrasonik temizliğin mekanik özelliklere etkisi

incelenerek, elde edilen veriler birbirleriyle kıyaslanarak optimum üretim parametreleri belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür çalışmasında literatürdeki boşluk sebebiyle konu ile alakalı doğrudan bilgi elde edilememiştir. Doğrudan bilgi elde edilemediği için dolaylı yoldan yardımı olacağı düşünüldüğünden atık talaş, geri dönüşüm, bronz, dökme demir, izostatik sıcak presleme, difüzyon kaynağı, toz metalürjisi konularında araştırmalar yapılmış ve elde edilen bulgular aşağıda anlatılmıştır. Bu tez çalışmasıyla literatürde tespit edilen eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

Guluzade ve ark. (2013) , yaptıkları çalışmada AISI 1040 ile $AlMg_1SiCu$ kullanmışlardır. Çelik ve alüminyum malzemeler 250 MPa basınç ile ön preslenmiş ve 650℃ de 2 saat sinterlenmiştir. Sinterleme azot ortamında yapılmıştır. Sonuç olarak bu malzemenin mekanik özellikleri ve kırılma tokluğu incelenmiştir. Testler sonucunda çelik talaşlarının basma mukavemetini sertliği artırdığı fakat kompozitin kırılma tokluğunu çelik oranı artışının düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca artan çelik içeriği ile kompozitin kırılma tokluğunu, çelik oranı artışının düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Chmura ve Gronostajski (2000) yaptıkları çalışmada geri dönüştürülmüş alüminyum ve bronz talaşlarından üretilen yatak malzemelerinin üretimini ve özelliklerini incelemişlerdir. Oluşturulan talaşlar düşük ekstrüzyon hızında 520˚C de sıcak ekstrüze edilmiştir ve ekstrüzyon sonrası mekanik özellikler araştırılmıştır. Düşük ekstrüzyon hızının talaşlar arasında güçlü difüzyon bağı olmasına sebep olduğu ve gözenekler içinde matris malzemesinin plastik akmasını sağladığı belirtilmiştir. Sonuç olarak çekme ve basma testlerine göre partikül boyutu küçüldükçe kompozitin mekanik özelliklerinden çekme testi sonuçları daha iyi basma testi sonuçları daha kötü olduğu belirlenmiştir.

Gronostajski ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada Alüminyum, $AlMg_2$ ve $AlCu_4$ talaşlarını kullanarak soğuk presleme ve sıcak ekstrüzyon ile 500- 550 ˚C aralığında üretim gerçekleştirmişlerdir. En yüksek sertlik değeri en yüksek tungsten içerikli kompozit malzemeden elde edilmiştir ve alüminyum matrisli kompozit için 37 HB, $AlMg_2$ matris alaşımlı kompozitten 63 HB ve $AlCu_4$ matris alaşımlı kompozitten 100 HB elde edilmiştir. Sinterleme atmosferinin kompozitin mekanik özelliklerine etkisi ihmal edilebilir bulunmuştur.

Fogagnolo ve ark.(2003) yaptıkları çalışmada Al_2O_3 ile takviyelendirilmiş alüminyum AA6061 matrisli kompozit malzeme soğuk ekstrüzyon ve sıcak ekstrüzyon

ile geri dönüştürülmüştür. Sıcak presleme ile üretilen kompozitin daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğunu; ancak işlem maliyeti ve süresinin bu malzemenin, soğuk presleme ile üretilen kompozite göre dezavantaj olduğunu tespit etmişlerdir. Ekstrüzyon prosesi mikro yapının incelmesi ve alüminyum oksitin dağılmasına neden olmuştur. Geri dönüştürülen malzemenin nihai çekme mukavemeti(UTS) ve sertliği eski kompozitlere göre daha yüksektir. Presleme basıncı ve presleme zamanı arttıkça üretilen kompozitin mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık ve en uzun presleme zamanında en iyi alüminyum alaşım bileşimi üretilmiştir.

Chmura ve Gronostajski (2006) yaptıkları çalışmada alüminyum ve alüminyum bronzunun soğuk preslendikten sonra sıcak ekstrüzyon ile metal talaşlarının geri dönüşümü ile üretilen yatak malzemesinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yağlayıcı olarak çinko sterat ve grafit karışımı kullanılmıştır. Talaşlar üzerinde oluşan oksit tabakasının difüzyon kaynağını olumsuz etkilememesi için yüksek sıcaklık ve basınçta çalışılmıştır. Ekstrüzyon sonrasında ısıl işlem uygulanarak(0,5-10 saat arasında) difüzyon bağlarının olduğu yerlerde sert fazlar oluşturulmuştur ve bu sert fazların mekanik özelliklere olumlu etki yaptığı gözlemlenmiştir.

Gronostajski ve Matuszak (1999) işlemeden gelen yarı bitmiş ürün olan alüminyum ve alüminyum alaşımı talaşlarının geri dönüşümü üzerine yeni bir metot üzerinde çalışmışlardır. Bu metoda göre eritme işlemi olmaksızın talaşlar direk bitmiş ürüne çevrilmiştir. Toz metalürjisi tekniği kullanılarak ekstrüzyon ile kompozit malzeme üretimi yapılıp iyi özellikleri karakterize edilmiştir. Tozlar 210-400 MPa altında soğuk preslenmiş ve 500-550 derecede farklı açılardaki konik kalıplar kullanılarak sıcak ekstrüzyon yapılmıştır. Yağlayıcı olarak grafit kullanılmıştır. Takviye malzemesinin %15-30 arasında eklenmesi çekme ve akma mukavemetini azaltmıştır. Basma testinde ise her iki değerde de artış gözlemlenmiştir. Takviye malzemenin partikül boyutunun artması mukavemeti artırırken şekillendirebilirliği azalttığı belirtilmiştir.

Chumura ve Gronostajski (2007) yaptıkları çalışmada alüminyum ve alüminyum bronzu talaşlarının karıştırılması ile yatak kompoziti üretiminin basınçlı kalıplama, ekstrüzyon ve ısıl işlem ile geliştirilmesi incelenmiştir. Alüminyum ile alüminyum bronzunun difüzyon bağlama prosesinde Cu-Al fazının oluşmasına yol açmıştır. Bu fazlar alüminyum ve alüminyum bronzu karışımının soğuk pres sonrası ekstrüzyonu sırasında küçük miktarlarda oluşmuştur ve asıl ekstrüzyon sonrası uygulanan ısıl işlem sırasında oluşmuştur. Bu yolla metalürjik yöntemler katılmadan iyi yatak malzemesi

üretimi yapılabileceği tespit edilmiştir. Partiküllerin yüzeylerindeki oksit tabakası büyük kayma deformasyonu ile yıkılmıştır.

Ho-Sung Leea, ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada kitlesel difüzyon bağı (MDB) düşük basınç uygulayarak ve inert gaz altında katı-hal bağı ile ağır titanyum parçaları üreterek yeni bir metot geliştirmişlerdir. Partiküller yüksek saflıktaki bir çözücü içine saf su eklenerek ultrasonik olarak temizlenmiştir. Temizlenen yüzeyler filtrelenmiş hava ile kurutulmuştur.

Fillabi ve ark.(2008) yaptıkları çalışmada dövme karbon çelikleri ile Fe-%5 Cu katkılı demir tozlarının oluşturduğu difüzyon bağını ve preslenerek üretilen kompozit malzemeden kesit alınarak ara yüzey sertlik profilini incelemişlerdir. Katı bileşenlerdeki demir partikül boyutu ve karbon içeriğinin bağ mukavemetine etkisi ve ara yüzey de ayrılma elde etmek için ne kadar kayma gerilmesine ihtiyacın olduğu belirlenmiştir. Karbon oranı arttıkça kayma gerilmesinin arttığı, partikül boyutunun artması ile ise maksimum kayma gerilmesinin düştüğü saptanmıştır. Ara yüzeydeki sertliğin düşük olmasının sebebinin karbonsuzluk olduğu belirtilmiştir.

Abdoos ve ark. (2009) Yaptıkları çalışmada %0,3 ve %0,5 karbon oranlarında distaloy AE tozları ile %0,8 çinko sterat yağlayıcıyı karıştırarak 600 MPa ile presleyip 1120 derecede yarım saat %90 N_2 - %10H_2 atmosferinde sinterlemişlerdir. Bütün yükleme modlarında %0,5 Karbon C' lu numunenin yorulma performansı %0,3 C' lu numunenin yorulma performansından daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Anderson ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada Fe-Cu-Co tozlarını çeşitli oranlarda karıştırarak 350 MPa basınçta soğuk presleyerek 1150˚C'de 25 dakika ve 10^{-2} mbar basınç altında sinterleyerek karışımdaki bakır oranın yoğunluk, sertlik ve mikro yapıya etkisini incelemişlerdir. Fe-Cu-Co alaşımlarının mikro yapılarının Cu içeriğine çok hassas olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Cu içeriği, yoğunluk ve büzülmenin artması ile boşlukların kapanmasına yol açmıştır. Sertlik Cu eklenmesi ile iyileştiği tespit edilmiştir. Buda gözeneklerin kapanması ile birlikte katı eriyik oluşumu mekanizmaları ile açıklanmıştır.

Özdemir ve ark.(2003) yaptıkları çalışmada gri dökme demir ile nodüler dökme demirin vakum difüzyon bağına grafit şeklinin etkisi araştırılmıştır. Malzemeler 900, 950 ve 1000 derecelerde, 15 MPa altında ve atmosfer kontrollü fırında difüzyon bağı yapılmıştır. Her bir bağ sıcaklığında 50, 100, 150 dakika tutulmuş ve fırında oda sıcaklığına soğutulmuştur. Bağlar şekillendikten sonra bağ bölgesinde mikro yapı

incelemesi ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlara göre grafitlerin yüzey alanlarının ve şekillerinin malzemenin difüzyon davranışı üzerine etki etmektedir.

Xiandong ve ark. (1997) ve Ouyang Liuzhang'in yaptıkları çalışmada Grafit takviyeli dökme alüminyum ve çinko alaşım matrisli kompozit malzeme santrifüj döküm yöntemiyle üretilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Takviye olarak kullanılan seramik tozları aseton ile ultrasonik olarak temizlenmiştir.

Yıng Tao ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada AZ91 magnezyum alaşımını ECAP (eşit kanal açılı basma) yöntemiyle geri dönüştürerek, sıcak ekstrüzyon ile üretilmiş AZ91 ile kıyaslamışlardır. Yapılan geri dönüşüm neticesinde tane yapısının önceki numuneye göre daha ince olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çekme testi neticesinde ECAP ile geri dönüştürülen numunelerin akma mukavemeti sıcak ekstrüyonla üretilen numunelerden daha yüksek çıktığı belirtilmiştir.

Wen-Ya Li ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada soğuk püskürtme yöntemiyle paslanmaz çelik üzerini toz bronzla kaplayarak ısıl işlem uygulayarak mikro sertlik değişim profilini incelemişlerdir. Sertliğin difüzyon bağından kaplama yüzeyine doğru azaldığı belirlenmiştir. Difüzyon tabakası içinde sertliğin fazla yüksek olması, sert faz çökelmesi ile açıklanmıştır.

Wu Shu-yan ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada AZ31B magnezyum alaşımlı talaşları soğuk presleyerek, sıcak presleyerek, sıcak ekstrüzyon ve çift ekstrüzyon yöntemleriyle geri dönüştürmüş ve elde edilen numunelerin mekanik özelliklerini ve mikro yapılarını birbirleriyle kıyaslamışlardır. Sıcak presleme ve çift ekstrüzyon ile geri dönüştürülen numuneler soğuk presleme ile geri dönüştürülmüş numunelerden daha ince tanelere sahip olduğu fakat gözenekliliğinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak ta Sıcak presleme ve çift ekstrüzyon ile üretilen numunelerin daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu belirtilmiştir.

Szezepanik ve Sleboda (1996) yaptıkları çalışmada alüminyumun ham mukavemetinin düşüklüğünden dolayı, mekanik özelliklerini iyileştirmek için seramik tozlarıyla takviye ederek sıcak kalıpta dövme yoluyla üretmişlerdir. Bu proses için sıcak kalıpta dövme işleminin izostatik presleme işleminden daha düşük maliyetli olduğu vurgulanmıştır.

Cesar Edil ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada gri dökme demir talaşları toz metalürjisi yöntemiyle geri dönüştürmüşlerdir ve tozların mekanik öğütme verimliliğini

incelemişlerdir. Ayrıca öğütülen tozların karakterizasyonunu yaparak sinterleme ve preslenebilirlik özelliklerini incelemişlerdir.

Shuyan Wua ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada Az31B magnezyum alaşımı ingotlarından tornada 3 farklı boyutta talaş elde ederek talaş boyutunun geri dönüştürülmüş malzeme üzerine etkisini araştırmışlardır. 3 farklı boyutta üretilen talaşlar soğuk preslendikten sonra farklı sıcaklıklarda sıcak ekstrüzyon yapılmıştır. Talaş boyutunun değişimi ile geri dönüşümlü malzemedeki talaş toplam yüzey alanı ve oksit miktarı farklılık gösterdiği bildirilmiştir. Toplam yüzey alanı yüksek olan geri dönüşüm numunelerinde daha yüksek nihai kopma mukavemeti gözlemlenmiştir.

Ryoichi Chibaa ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada soğuk ekstrüzyon ve soğuk haddeleme ile alüminyum alaşımı talaşların katı hal geri dönüşümünü incelemişlerdir. Kesme sıvıları yüzünden oksitlenen talaşlar asetonla ultrasonik banyo ile temizlenmiştir. Kullanılan kesme sıvılarının mekanik özellikler üzerine etkisinin ihmal edilebilir olduğu belirtilmiştir.

Abdela ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada $AlSi_8Cu_8$ alaşımı talaşlarının sıcak burulma presi ile geri dönüştürülmesini araştırmışlardır. Talaşlar üretilirken kesme sıvısı kullanılmadığı için talaşların temizlenmesine ihtiyaç duyulmamıştır. HPT (sıcak burulma presi) prosesi sonrası relatif yoğunluk %99,6 dır. Yüksek basınç ve kayma gerilmesinin etkisi ile talaşlar arsındaki bağlar artmış ve boşluklar azalmıştır. Geri dönüşüm sonrasında elde edilen numunelerin bulk numunelerden daha iyi mekanik özellikler gösterdiği saptanmıştır.

Hirotaka ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, yatak malzemesi olarak, toz metalürjisi metodu ile ürettikleri bakır esaslı kompozit malzeme içerisine yağlayıcı olarak yüzeyi bakır kaplı molibdendisülfit (MoS2) ve grafit partiküller ilave etmişlerdir. Bakır kaplama sayesinde, sinterlemede bu yağlayıcıların bakır partiküllere daha iyi bir biçimde bağlandığını tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonraki aşamalarında da toz metalürjisi ile üretilen bu kompozit malzemenin sertliğini, mikro yapısını ve eğmedeki dayanımını test etmişlerdir. Ayrıca silindir-plaka test cihazında kuru ortamda, oda sıcaklığında gerçekleştirdikleri deneylerle, malzemenin sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, kompozit yapıya yağlayıcı olarak kattıkları grafit ve MoS_2'nin kompozit malzemenin eğme dayanımını oldukça düşürdüğünü; ancak bu yağlayıcıların Cu kaplanarak yapıya ilave edilmesi halinde ise eğme dayanımının arttığını tespit etmişlerdir.

Şahin, (2001), yaptığı çalışmada, talaşların şekli, talaş tipleri ve talaş kaldırma prensipleri hakkında bilgi vermiş, özellikle talaş üretim tekniklerini detaylı şekilde incelemiştir.

Aydın (2008), Yaptığı çalışmada gözenekli seramik malzeme ile paslanmaz çeliğin difüzyon kaynağı yöntemiyle birleştirilmesini incelemiştir. Birleştirilecek olan malzemelerin yüzeyleri alkol ile temizlenmiştir. Birleşme temas noktasındaki malzemenin takviye malzemesini ıslatabilme kabiliyetinin önemli olduğu, dolayısıyla bu ıslatma sıcaklığının hassas bir şekilde belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Sıcaklığın ergime noktasına yakın (düşük basınçta çalışılıyorsa) seçilmesiyle etkin bir difüzyon olacağı vurgulanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde sırasıyla kompozit malzemeler, toz metalürjisi, sert lehimleme, lehimleme, difüzyon kaynağı, talaş oluşumu konularında bilgi verilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılacak GGG-40 ve CuSn10 malzemeleri, çalışmada üretilen metal matrisli kompozit malzemenin üretim yöntemi ve üretim sırasında kullanılan cihazlar tanıtılmıştır. Son olarak üretim neticesinde elde edilen numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için uygulanan mekanik testler hakkında temel bilgiler verilmiştir.

3.1. Kompozit Malzemeler

3.1.1. Tanımı ve sınıflandırılması

Herhangi bir amaç için tek başına kullanımı uygun olmayan, iki ya da daha fazla malzemenin makro boyutlarda bir araya getirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir. Esas amacı, yapımında kullanılan malzemelerin karakteristik özelliklerini tek bir malzemenin bünyesinde toplayarak daha efektif bir kullanım sunmasıdır. Kompozit malzemeler, metalik, organik, ya da inorganik bileşen ihtiva edebilir ve kendini meydana getiren malzemelerin her birinin taşıdığı özelliklerinden, daha iyi özelliklere sahiptirler.

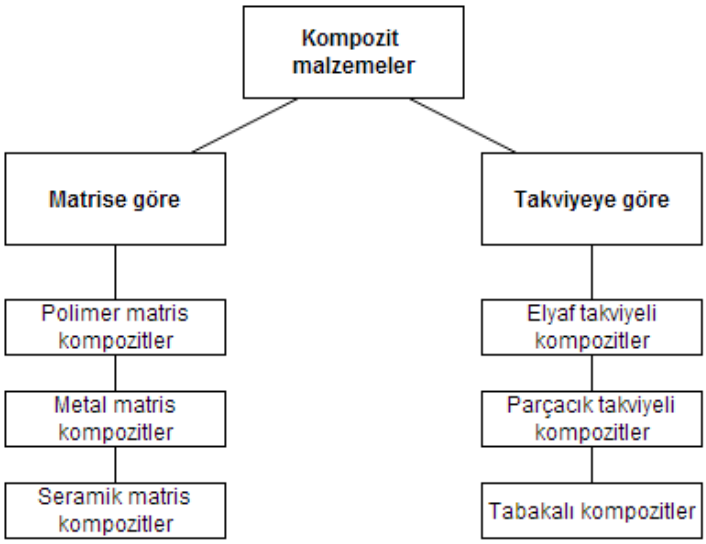
Günümüz şartlarıyla değerlendirildiğinde, kompozit malzeme yaklaşımının hiçbir monolitik (tek bileşenli) metal alaşımı, seramik ve polimerin sahip olmadığı geniş bir malzeme özelliği kombinasyonu imkânı sağladığı herkes tarafından kabul edilmiştir. İleri teknoloji uygulamalarında özel ve sıra dışı özelliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin uçak mühendisleri artan bir şekilde düşük yoğunluklu yüksek dayanımlı, rijit, aşınma ve darbeye karşı dirençli aynı zamanda korozyona uğramayacak yapısal malzemelere ihtiyaç duyarlar. Bu özellikler çoğunlukla bir araya gelemeyecek özellik kombinasyonlarıdır ve ancak kompozit malzeme teknolojisi ile bir araya getirilebilirler. Son yıllarda ki hızlı teknoloji gelişiminin en önemli sebeplerinden birisi malzeme alanında yaşanan gelişme ve ilerlemedir. Malzeme alanındaki bu gelişim ise istenilen amaca uygun malzeme tasarımına imkan sunan kompozit malzemelerin geliştirilmesi ile gerçekleşmektedir.

Kompozit malzemelerin yapımında malzemenin özelliklerini iyileştiren takviye malzemesi ile bu takviye malzemesini bir arada tutan matris malzemesi kullanılır. Matris malzemesi hacimce daha fazladır. Yapıyı bir arada tutmanın yanında malzemeye gelen darbeleri veya yükleri takviye elemanlarına aktarmak, kırılma tokluğunu iyileştirmek, takviye elemanı ile uyum sağlamak, takviye elemanlarını aşınmaya ve korozyona karşı koruma görevleri de vardır. Takviye, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. (Hashim ve ark,1999).

Kompozit malzeme bileşenleri birbirleri içerisinde genellikle çözünmezler, ancak özellikle metalik sistemlerde, düşük oranlarda bir miktar çözünme, kompozitin özelliklerine doğrudan etki edebilen ara fazlar görülebilmektedir (Donald 1988, Doğanay ve Ulcay, 2007).

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, matris ile takviye elemanı arasındaki bağ oluşturabilme kabiliyeti ile doğrudan ilişkilidir. Matris ile takviye temas noktalarında oluşan ara yüzeyler ve ara fazlar kompozit malzemeden istenilen özellikleri önemli ölçüde etkiler. Çünkü bu temas noktaları malzemede oluşan kuvvetlerin takviye elemana aktarıldığı bölgelerdir. Bu temas bölgelerinde gerçekleşebilecek olası bir güçlü birleşme kompozit malzemenin katı ancak gevrek davranış göstermesine neden olur. Temas noktasındaki zayıf bağlantı ise malzemenin esnek aynı zamanda tok olmasını sağlar. Ara yüzey, matris yapıdan daha zayıf olursa, kırılma ve tabaka ayrılması meydana gelir. Çünkü taşınan yük doğrudan ara yüzey üzerinden ara faza aktarılır, dolayısıyla takviye elemanı matristen ayrılmış olur. Genel olarak ara yüzeyin sert ve zayıf sınırlar arasında bulunması istenir.

Kompozit malzemeler temel iki bileşeni olan matrislerine ve takviyelerine göre olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması şekil 3.1 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Kompozit malzeme çeşitleri (Callister, 2001)

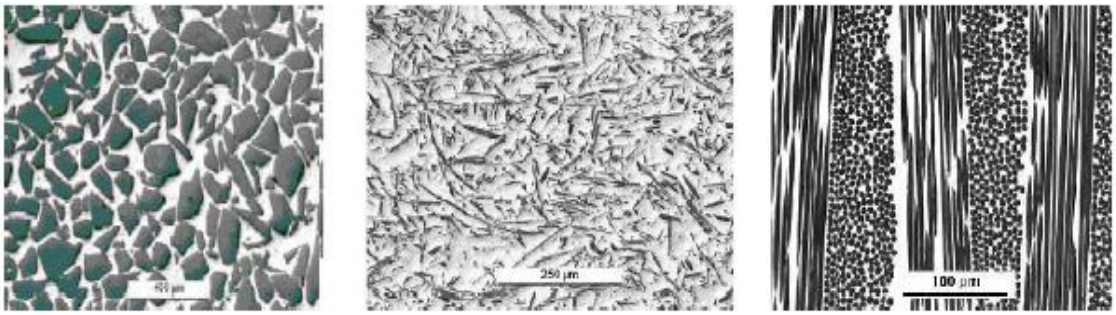
Tüm malzemelerde olduğu gibi kullanım alanlarına bağlı olarak kompozit malzemelerin de avantajları ve dezavantajları vardır. Bu avantajlar ve dezavantajlar çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Yüksek dayanım	Daha yüksek maliyet
Yüksek rijitlik	İşleme güçlükleri
Düşük ağırlık	Geri dönüşümün genellikle olmayışı
Yüksek yorulma dayanımı	Kırılma uzamasının az olması
Yüksek aşınma direnci	Bazı kompozitler için üretim zorluğu
Yüksek korozyon direnci	
İstenen yönde ısıl ve termal özellikler	
Estetik görünüm	

3.1.2. Metal matrisli kompozit malzemeler

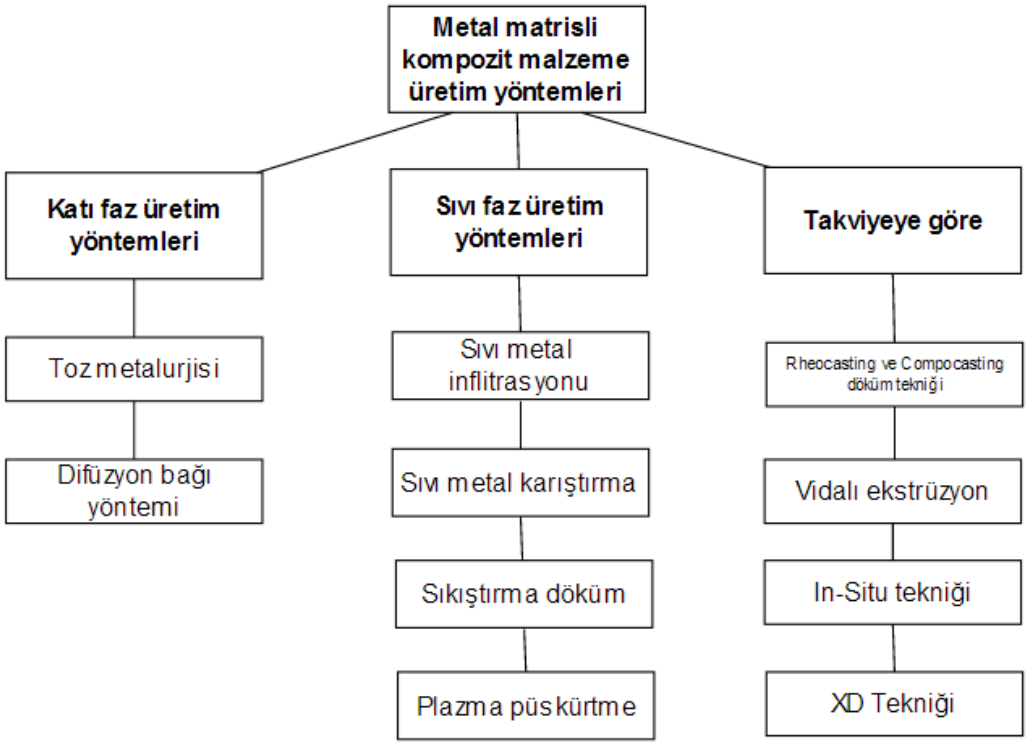
Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler, istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin sistematik bileşimiyle elde edilen yeni malzemelerdir. Metal matrisli kompozit malzemeler tek bileşenli alaşımlarla elde edilemeyen özellikleri sağlamak üzere, bir metal matris içinde sürekli veya kısa fiber, whisker veya partikül şeklinde takviye fazı içerir. Bu yapılar şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Takviye fazına göre mikro yapılar (Eker A.)

Kullanılacak olan takviye ve matris malzemesinin özelliklerini iyi bilmek, istenilen özellikte ve kullanım amacına uygun kompozit malzeme üretebilmek için oldukça önemlidir. Takviye elemanının cinsi, şekli, boyutu, dağılımı, yüzey özellikleri, kimyasal kompozisyonu, dağılım miktarı ve homojenliği gibi özgün ve yapısal özellikleri çok önemlidir.

Metal matrisli kompozit malzeme üretim yöntemlerine göre katı faz üretim yöntemleri, sıvı faz üretim yöntemleri ve takviye malzemesine göre üretim yöntemleri olmak üzere üçe ayrılır ve bu sınıflandırma şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 MMK malzeme üretim metotları (Eker A.)

Üretim yönteminin seçiminde üretilmesi planlanan malzemenin özellikleri dikkate alınarak üretim yöntemi seçilir. Bu seçim esnasında şu parametreler dikkate alınabilir.

- Çalışma sıcaklığı aralığı
- Takviye malzemesi
- Matris malzemesi ile takviye malzemesinin uyumu
- Matris malzemesi ile takviye malzemesi arasında oluşabilecek reaksiyonlar
- Elde edilecek üründen istenen boyut tamlığı
- Takviyenin matris malzemesi içindeki dağılımının homojen olması
- Matris ve takviye malzeme arasındaki ara yüzey bağının tam olarak sağlanabilmesi

*** Difüzyon bağı yöntemi:**

Difüzyon kaynağı, birleştirilmek üzere eşleşmiş iki yüzeyin, malzemelerin ergime sıcaklıkları altındaki bir sıcaklıkta, malzemelerde makroskobik plastik deformasyon oluşturmayan bir basınç altında, katı hal difüzyonu yoluyla malzemeler arasında metalürjik bir bağ oluşuncaya kadar bekleyerek uygulanan birleştirme işlemidir. (Taşkın M., 2000)

Difüzyon kaynağı 4 farklı durum için gerçekleştirilebilir. Bunlar;

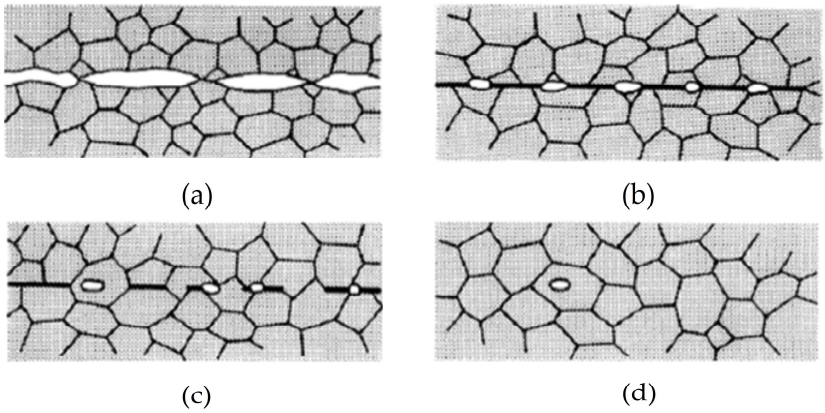
- Benzer metallerin birleştirilmesi; Birleştirilecek olan metallere uygun sıcaklık ve basınç metallerin kimyasal karakterizasyonuna ve yüzeylerine göre belirlenerek işlem uygulanır.
- Benzer metaller arasına üçüncü bir dolgu malzemesi eklenerek daha hızlı ve daha sağlam bir birleşme elde edilebilir.
- Farklı iki metal üçüncü bir dolgu metali kullanılmadan birleştirilebilir.
- Farklı iki metal üçüncü bir dolgu materyali kullanılarak birleştirilebilir.

Sıcaklık, basınç ve süre gibi parametreler difüzyon kaynağını önemli ölçüde etkiler. Difüzyon kaynağında belirlenen sıcaklık atomların hareketini ve birleştirilecek yüzeyin temizlenmesini kolaylaştırır. Gereğinden yüksek sıcaklıklar tane irileşmesine neden olup malzeme mukavemetini düşürürken, düşük sıcaklıklar da difüzyonun gerçekleşmesini zorlaştırır (Madeleine Durand-Charre 2003). Yüksek sıcaklıkta etkiyen basınç, malzeme yüzeylerindeki engebeli yapının plastik deformasyona uğramasını sağlayarak birleşen yüzeylerin birbirine uyumlu hale gelmesini sağlar. Bu şekilde artırılan yüzey teması, birleşecek olan malzemeler arasında kimyasal bağ oluşmasını sağlar. Kaynak süresi genellikle ara yüzeydeki difüzyonu engellemeyecek şekilde karşılıklı kimyasal bağların meydana gelmesini sağlayacak şekilde seçilir (Garmong G. 1975).

Difüzyon kaynağı temel olarak dört adımda gerçekleşir.

- Yüzeylerin yalnız pürüzlü noktalardan temas etmesi
- Deformasyon ve sınır tabakanın oluşumu
- Tane sınırlarının hareketi ve boşlukların yok oluşu
- Hacimsel difüzyon ve boşlukların yok oluşu

Şekil 3.4'te gösterildiği gibi pürüzlü noktalarından temas eden yüzeyler sıcaklık ve basınç etkisiyle plastik deformasyona uğrayarak aralarındaki gözenekleri kapatırlar. Temas eden yüzeyler birbiri içerisine difüze olarak gerekli birleşmeyi gerçekleştirirler.



Şekil 3.4 Difüzyon bağı oluşumu (Madeleine Durand-Charre, 2003)

Efektif bir difüzyon kaynağı oluşabilmesi için seçilen sıcaklık matris malzemesinin ergime sıcaklığının minimum %40'ın dan daha büyük olmalıdır. Aksi takdirde difüzyon mekanizması çok yavaş çalışır. Dolayısıyla seçilen sıcaklık ve basıncın bekleme süresiyle ters orantılı olduğu söylenilebilir. Ama eğer çok yüksek seçilirse de difüzyon kaynağı temas noktalarında ara faz oluşma ihtimalini artırır ki bu da malzeme mukavemeti açısından istenmeyen bir durumdur. Ayrıca sıcaklık ve basınç, gözeneklilik (porozite) ile de ters orantılıdır. Dolayısıyla sıcaklık ve basınç belirleme işlemi istenilen porozite ve mukavemete göre seçilmelidir. Diğer bir deyişle sıcaklık ve basınç değeri kullanım malzemenin kullanım amacına göre optimize edilmelidir.

***Lehimleme**

Sert lehimleme (Brazing) ve lehimleme (Soldering) işlemleri kaliteli ve güvenilir bir birleşme yapılması gereken bir çok bilim ve mühendislik uygulamasında sıkça kullanılır. Sert lehimleme prosesi çok az bir ergime veya plastik deformasyonla 2 malzemenin birleştirilmesi işlemidir. Lehimleme işlemi tanım ve içerik olarak sert lehimleme işlemine benzerdir fakat aralarındaki temel fark işlem sıcaklığından kaynaklanır. Sert lehimleme 450˚ C'nin üzerinde sıcaklıklarda gerçekleşirken lehimleme işlemi ise 450˚ C'nin altında gerçekleşir. İşlem sıcaklığına ek olarak, birleşme noktası tasarımı, birleştirilecek materyal, dolgu materyali, ısıtma tipi ve birleşme yüzeyi hazırlanması açısından da farklılık arz edebilirler. Aşağıdaki Çizelge 3.2'de kaynak, lehimleme ve sert lehimleme işlemlerinin temel farklılıkları gösterilmektedir.(ASM Handbook Vol.6 1993)

Çizelge 3.2 Kaynak, lehimleme ve sert lehimleme işlemlerinin kıyaslanması (ASM Vol.6 1993)

PARAMETRE	Proses		
	Soldering	**Brazing**	**Welding**
Birleşim noktası şekli	Mekanik	Metalurjik	Metalurjik
Dolgu metali erime sıcaklığı	< 450˚C	> 450˚C	> 450˚C
Matris malzeme	Erir	Kısmi erir	Erir
Takviye malzeme	Erimez	Erimez	Erir

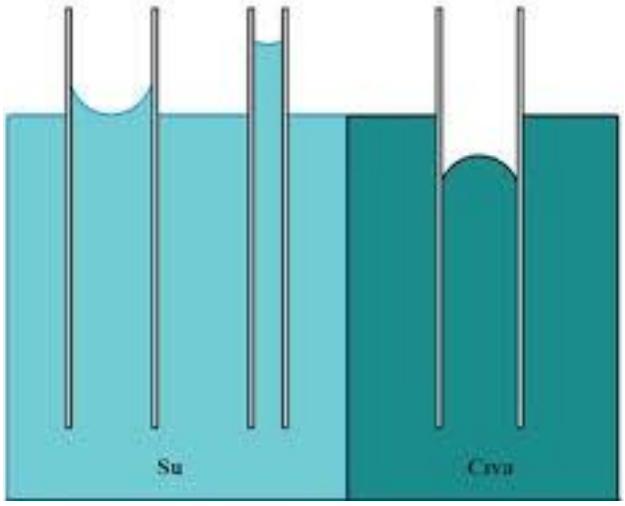
Lehimleme işleminde ise sert lehimleme işleminin aksine dolgu malzemesi sıvı faza geçer. Dolayısıyla hem lehimleme işlemi için hem de sert lehimleme işlemi için ıslatabilirlik kavramı ortaya çıkar. Islatabilirlik ise doğrudan kılcallık etkisi (capillarity phenomena) ile ilişkilidir.

Bir sıvı ile bir başka maddenin moleküler seviyedeki çekiminin, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetinden daha büyük olması sonucunda kılcallık etkisi oluşur. Kılcallık etkisi mikroskobik olarak; kohezyon kuvvetlerini (su-su çifti gibi benzer moleküller arasındaki çekim kuvvetleri) ve adhezyon kuvvetlerini(su ve cam gibi birbirinden farklı moleküller arasındaki çekim kuvvetleri) dikkate almak suretiyle açıklanabilir. Katı sıvı ara yüzeyindeki sıvı molekülleri, hem diğer sıvı molekülleri tarafından uygulanan kohezyon kuvvetlerine hem de katı moleküller tarafından uygulanan adhezyon kuvvetlerine maruzdur. Bu kuvvetlerin birbirlerine göre büyüklükleri, sıvının katıyı ıslatıp ıslatamayacağını belirler. Su molekülleri cam molekülleri tarafından diğer su moleküllerinin uygulandığından daha güçlü şekilde çekilir. Bu nedenle su, cam yüzey boyunca yükselme eğilimindedir. Islatamayan bir sıvı için, cam çeper civarında sıvı yüzeyinin basık bir şekil almasına yol açacak şekilde bunun tersi olur. Bu durum şekil 3.5'de gösterilmiştir. (Y.Çengel, 2008)

Islatma kabiliyeti 3 faktöre bağlıdır.

- Yüzey temizliği
- Dolgu malzemesinin yüzey gerilmesi
- Dolgu malzemesinin yüzeyini aktive edebilecek bir dekapan

Bu şartlar neticesinde dolgu malzemesi ana malzemeyi bir miktar ıslatarak iki malzeme arasında metalürjik bağ oluşturur.



Şekil 3.5 Kapilar etki (Çengel Y., 2008)

Yapılan incelemeler neticesinde hem dökme demirin hem de CuSn10 un ıslatma kabiliyetlerinin iyi olduğu belirlenmiştir. (ASM) Bu çalışmada kullanılan malzemeler kesme sıvısı kullanılmadan talaşlı işlem gördüğünden dolayı yüzeyleri üzerinde kesme sıvısı atıkları bulunmamaktadır. Sürtünme etkisi ile oluşan yüksek sıcaklık talaş yüzeylerinin oksitlenmesine sebep olur. Ön deneylerde üretilen numunelerde, yüzeydeki oksitlerin bronzun ıslatabilirliğini ve bronz ve dökme demir arasındaki bağı engellediği gözlemlenmemiştir. Dolayısıyla oksitlerin temizlenerek üretimin gerçekleşmesi işlemi çalışmanın tamamına uygulanmamıştır fakat oksitlerin ne kadar etkisinin olabileceği konusu da araştırılmıştır ve ultrasonik temizlik etkisi bölümünde açıklanmıştır.

3.2. Toz Metalürjisi ve İzostatik Sıcak Presleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

3.2.1 Toz metalürjisi yönteminin tanımı ve özellikleri

Toz metalürjisi en genel anlamda çeşitli boyutlarda partikülleri (0.1-200µm) bağlayıcılar veya yağlayıcılarla karıştırarak sıcaklık ve basınç yardımıyla yekpare parça haline getirme işlemidir. Bu yöntemle metal, seramik, plastik veya bunların karışımından oluşan tozlar preslenerek bir araya getirilir ve uygun bir sıcaklık altında sinterlenerek mukavemetlendirilir.

Toz metalürjisi, küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların üretimi için son derece elverişlidir. Malzeme kaybı çok azdır ve imalat şekli sebebiyle yağlama, süzme ve enerji dağıtımında faydalanılan, gözenekli yapı üretimi için

elverişlidir. Ham haldeki malzemeyi son şekline getirebilmek, karmaşık şekilli parçalar için maliyetli olabilmektedir. Bu tip parçalarda toz metalürjisi yöntemi gerek işçilik anlamında gerekse maliyet anlamında önemli avantajlar sağlar. En önemli avantajlarından biriside hassas mikro yapı kontrolüdür. İstenilen mikro yapıya uygun olarak proses belirlenebilir.

Dövme ve dökümle kıyaslandığında zaman zaman mekanik özellikleri daha kötü olabilir. İlave ikincil işlemlerle mekanik özellikler iyileştirilebilir fakat bu da maliyeti artırır. Kalıp maliyetinin yüksek olması sebebiyle minimum 10.000 parça üzerinde üretimler için uygundur. Özellikle üniform şekilli olmayan parçalarda, parça içerisinde kesit boyunca yoğunluk değişebilir. Çünkü üretim esnasında uygulanan basınç malzeme içerisine homojen olarak dağılamaz. Eşit olarak sıkıştırılamayan tozlar arasında oluşan bağ kuvveti de eşit olmaz. Bu da malzemenin gözenek miktarının konuma bağlı olarak değişmesine neden olur. Gözeneklilik miktarının farklılığı, yoğunluk miktarının da konuma bağlı olmasına sebep olur. Bunlar da toz metalürjisi üretimi sırasında dikkat edilmesi gereken noktalar olarak sıralanabilir.

Toz metalürjisi ile üretilen ürünler pek çok yerde kullanılır. Diş dolguları, yataklar, otomobil transmisyon milleri, zırh delici mermiler, elektrik temas elemanları, nükleer güç yakıt çubukları, ortopedik protezler, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, jet motoru türbinleri toz metalürjisi ile üretilen ürünlere örnek olarak verilebilir.

Metal tozların şekilleri ve boyutları şüphesiz farklılık arz eder. TM üretim tekniğinde kullanılan tozların partikül boyutları 1-200 mikron arasında değişmektedir. Partikül boyutlarındaki dağılımı tespit etmek için, elek analizi, mikroskobik muayene, sedimantasyon gibi farklı yollar kullanılmaktadır. Homojen olarak dağıtma işlemi parçacık boyutu azaldıkça bir o kadar güçleşir. Özellikle 100 μm'den daha küçük parçacıklar, dağıtma işlemine direnç gösteren yüksek çekim kuvvetine sahiptirler (Sarıtaş, 1994). Önemli derecede topaklanmaya neden olan kılcal kuvvetler, ağırlıkça %0,1 gibi oldukça küçük nem düzeylerinde oluşur. Nem topaklanmaya neden olduğu için, toz kurutma işlemi genellikle iyi bir ilk adımdır. Tozu su, alkol veya diğer bir çözücü ile tamamen doyurmak başka bir seçenektir. Daha sonra dağıtıcı sıvılar, tozları birbirinden uzaklaştırmak için sulu çamura eklenir (Cerit A.A.). (Bu çalışmada kullanılan tozlar 100 mikrondan büyük olduğu için toz dağıtma işlemi uygulanmamıştır)

Toz metalürjisi ile imal edilen parçaların özelliklerini, büyük oranda, bu parçaların imalinde kullanılan partiküllerin sahip olduğu özellikler belirlemektedir. Toz

metalürjisi üretim sürecinde elde edilecek ürünlerin mekanik özellikleri, yüzey kalitesi, boyut hassasiyeti yüzey pürüzlülüğü ve presleme basınçları gibi üretim esnasında kullanılacak birçok parametre, kullanılacak metal tozunun özellikleri ile değişiklik gösterdiğinden metal tozlarının özelliklerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. (Kurt, 2001). Bu doğrultuda, kullanılacak tozların kimyasal özelliklerini ve fiziksel yapılarını bilmek gerekir. Kimyasal yapı incelenirken kullanılan tozların kimyasal kompozisyonlarına ve safsızlıkalrına dikkat edilir. Fiziksel yapı belirlenirken ise en önemli parametreler tane boyutu, dağılımı, şekli ve yoğunluğudur. Parçacık şeklini sayısal olarak ifade etmek zor olduğundan; şeklin bir anlam ifade etmesi için, nitelikle ilgili tanımlayıcılar sıkça kullanılır. (German, 2007).



Şekil 3.6 Parçacık şekilleri ve isimleri (German, 2007)

***Metalik partiküllerin üretim yöntemleri**

Bir tozun nasıl üretildiğinin bilinmesi, o tozun boyutu ve şekli gibi özelliklerinin başlangıçta tahmin edilmesini sağlar. Birçok malzeme toz haline getirilebilir ancak belirli bir malzemeyi toz haline getirmek için seçilen yöntem; maliyet, tepkimeler ve istenen özellikler gibi faktörlerin göz önünde bulundurulmasıyla belirlenir (Öveçoğlu, 1997). Toz üretiminde kullanılan ana yöntemler;

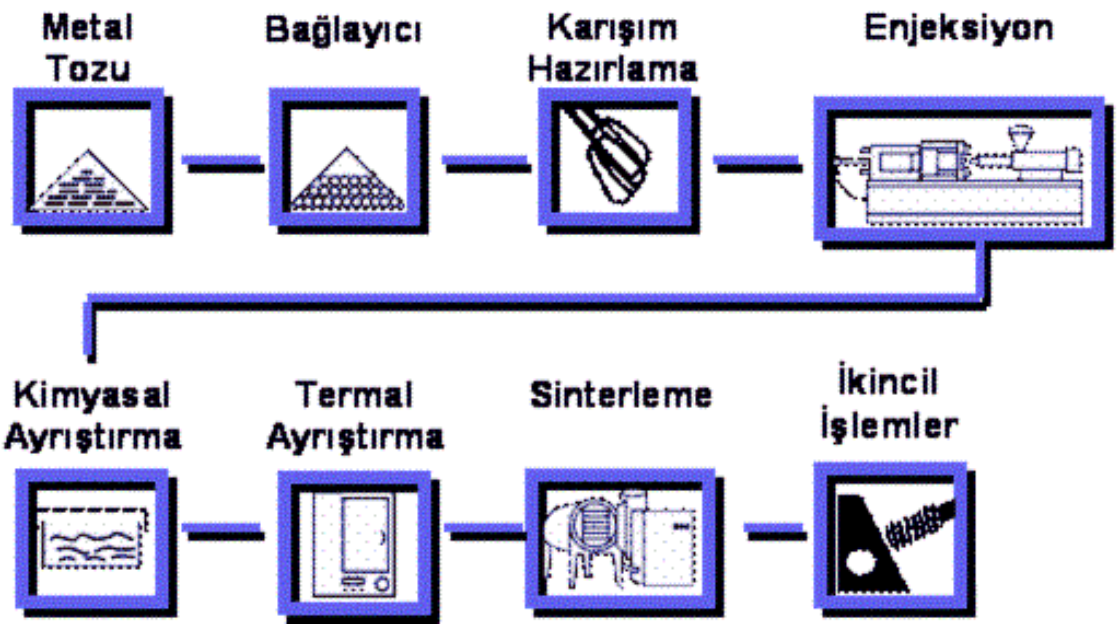
- Mekanik üretim yöntemleri

- Elektrolizle üretim yöntemi
- Kimyasal üretim teknikleri
- Atomizasyon teknikleri
- Buharlaştırma teknikleridir.

Mekanik üretim yöntemleri dört farklı şekilde gerçekleştirilir; darbe, aşındırarak öğütme, kesme ve basma. Darbe, malzemeye çekiçle vurma gibi çok hızlı, anlık uygulamaları içerir ve malzeme küçük parçalara ayrılır. Aşındırarak öğütme, aşındırıcıların bir biri üzerinde sürtünme hareketi ile sayesinde parçacıkların boyutunun küçültülmesidir. Kesme, talaşlı imalatta olduğu gibi kesme işlemi ile malzemenin parçalanmasıdır. Diş dolgu malzemesi amalgamlarda kullanılan gümüş gibi pek çok metal tozu önceki yıllarda, tornalama ile elde ediliyordu. Kesme ile oluşturulan tozların büyük olma eğilimi vardır. Sonuncu olarak, basma kuvvetleri ile bir malzeme kırılma noktasına kadar deforme edilerek toz haline getirilir.

Haddelenmiş malzemelerin talaşlı imalatında, kesme ile düzensiz şekillerde iri tozlar elde edilmektedir. Metal işleme tekniklerinde ortaya çıkan bol miktarda talaş hurdası metal tozu için büyük bir kaynaktır. Bu hurdalar, kimyasal tekniklerle temizlenir ve boyut küçültmek için öğütülürler. Aslında, öğütme ile parçacık boyutunu veya şeklini değiştirmek çok yaygın bir metottur. Ancak hava ve işleme sıvılarından kaynaklanan oksitlenmeler ve kimyasal kirlilikler toz özelliklerinin kontrol edilmesini olumsuz etkiler (German, 2007).

Mekanik yöntemlerle üretilen metalik tozların şekilleri, küresel olamamaktadır. Elyaf şeklinde olan partiküllerin kenarları, kıvrımlı görünüm arz ederler ve genellikle genişlikleri ve uzunlukları, kalınlıklarından daha büyüktür.(German, 2007).



Şekil 3.7 Toz metalürjisi aşamaları (www.cncteknoloji.net)

Yukarıdaki şekilde toz metalürjisi yönteminin uygulama adımları gösterilmiştir. Bu adımlar arasında toz metalürjisi imalat yönteminin maliyetini artıran 2 önemli işlem vardır. Bunlar toz elde etme ve sinterleme işlemidir.

3.2.2. İzostatik sıcak presleme ile klasik(toz metalürjisi) yöntemin kıyaslanması

İzostatik sıcak presleme prosesi, birleştirilmek istenen tozların kapalı kalıp içerisinde çift etkili (basıncı pistonlarına eşit olarak dağıtan) pres yardımıyla sıcaklık altında belirli bir süre presleyerek malzeme üretme işlemidir (Çiğdem, 2006). Bu çalışmada uygulanacak olan yöntemin klasik toz metalürjisi tekniğine göre 2 büyük avantajı vardır. Birincisi kullanılacak olan tozlar talaşlı imalat neticesinde atık olarak toplanan talaşlardan oluşur. İkincisi ise presleme işlemi sıcaklık altında yapıldığı için presleme sonrasında sinterleme işlemine ihtiyaç duyulmaz. Hem tozların hazır alınması, hem de sinterleme işlemine ihtiyaç duyulmaması önemli bir zaman, enerji ve işçilik tasarrufu sağlar ki bu da ürün maliyetini önemli oranda etkiler.

Sağladığı maliyet, enerji ve işçilik avantajına ek olarak, tek yönlü presleme ile kıyaslandığında, malzeme içerisindeki yoğunluk değişiminin daha homojen olduğu söylenebilir. Tek yönlü preslenen malzemelerde basınç doğrultusunda, pres temas noktasında uzaklaştıkça sıkıştırma miktarının azaldığı buna bağlı olarak gözenekliliğin arttığı ve sertliğin azaldığı tespit edilmiştir.(Karadağ, 2012) Çift etkili pres kullanılması,

sertlik profilinin, malzeme içerisinde homojen dağılmasına sebep olacağı öngörülmüş ve üretim sonrasında elde edilen sertlik sonuçları, bu öngörünün doğruluğunu ispatlamaktadır.

3.3. Talaş Oluşumu

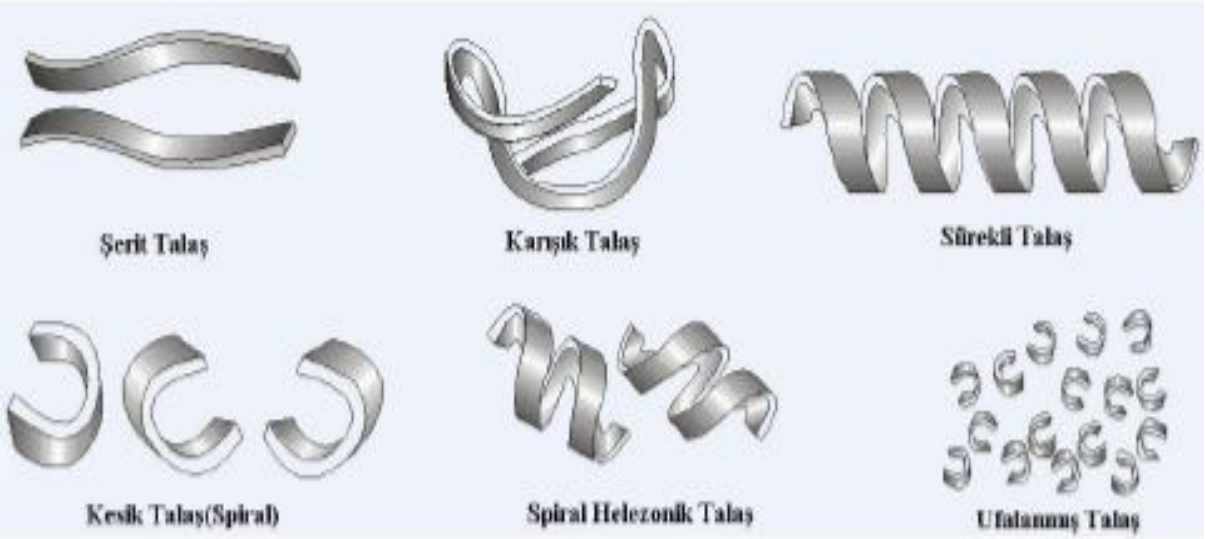
Metal işleme, küçük bir bölgede kayma gerilmesi ile gerçekleştirilen bir operasyon olarak değerlendirilebilir. Kesici takım önünde oluşan radyal basma zonunda yüksek deformasyon hızı ile yüksek oranda gerinime uğratılmış plastik bölge bulunmaktadır. Bütün plastik deformasyon proseslerinde olduğu gibi radyal basma zonu elastik ve plastik basma bölgelerinden meydana gelmektedir. Elastik basma bölgesi sınırının bitiminde plastik basma bölgesi başlar. Plastik basma bölgesinde, talaşlı işlem başlangıcında tavlanmış koşulda olan malzemede aşırı dislokasyon çoğalması, dislokasyon çakışması ve dislokasyon ağı meydana gelir. Şekil değiştirme sertleşmesi oranı bir limit değere ulaştığı anda malzemenin kesilme veya makaslanma dışında şansı kalmamaktadır.

Bilindiği üzere metalik malzemelerin hemen hepsi şekil değiştirme esnasında sertleşme gösterirler. Kayma düzlemi genişleyerek genellikle primer kayma zonu olarak adlandırılan sahayı oluşturur. Kayma zonunun kalınlığı yüksek deformasyon sertleşmesi hızına sahip (yüksek n değerli) malzemelerde artar. Yüksek n değerlerinde kayma zonu genişleyerek uzar ve enerji gereksinimi de artar. Kayma için harcanan enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüştüğünden sıcaklık yükselir ve bu nedenle işlenen malzemenin akma gerilimi düşer. Deformasyon sertleşmesi kayma zonunun önüne ve altına doğru yayılır ve yeni teşekkül eden parça yüzeyi de deformasyon sertleşmesine uğrar.

Takım ile talaş arasındaki ara yüzey basıncı yüksektir. Ara yüzey basıncı ve sürtünme katsayısı çarpımı malzemede şekil değişimini sağlayan kayma kuvveti değerini aştığı zaman iş parçasının takım üzerinde kayması önlenir ve yapışma meydana gelir. Takım yüzeyinde herhangi bir hareket olmadığından ikinci kayma zonunda, talaş yukarıya doğru akar. Bu yoğun kayma ikinci ısı kaynağıdır. Kayma teması kısa bir mesafe ile sınırlı olup talaşın kıvrılarak uzaklaşmaya başladığı noktada sona ermektedir.

Talaşın şekli, kesme koşullarına (kesme hızı, ilerleme hızı, talaş açısı, eğim açısı, kesme derinliği takım geometrisi ve malzemesi vb.) ve işlenen parçanın malzemesine bağlıdır. Torna, freze veya benzer diğer takım tezgâhlarında yapılan talaş kaldırma işlemlerinde farklı şekillerde talaş oluşmaktadır. Meydana gelen değişik talaş çeşitleri şekil

3.8’ de gösterilmiştir. Çoğunlukla karşılaşılan talaş tipler; süreksiz (kesintili) talaş, yığma talaş, segment tipi talaş, sürekli (akma) talaş ve dalgalı talaştır (Şahin, 2001).



Şekil 3.8 Talaş şekilleri (Şahin, 2001)

Bu çalışmada hem GGG-40 hem de CuSn10 malzemenin talaşları tornalama prosesiyle elde edilmiştir. Tornadan elde edilen talaş geometrileri ufalanmış, spiral, kesik talaş şeklindedir. Elde edilen talaşların tamamı 1 mm ve 2mm gözenekli elek ile elenerek iki elek arası talaşlar kullanılmıştır. 1 mm eleğin altındaki talaşlar kullanılmamış, 2mm’ nin üzerindeki talaşlar ise bilyalı değirmende 2 farklı parametrede kırılarak istenilen boyutlara getirilmiştir. GGG-40 talaşları 3000 devir (1devir/saniye hızla), bronz talaşları 9000 devir (saniyede 1 devir) döndürülerek kırılmıştır. Yapılan kırma işlemi sırasında dökme demir talaşlarının hemen hemen tamamının kırılarak istenilen boyuta gelmesine rağmen, bronz talaşlarının kırılma veriminin oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir.

3.4. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Yapılan çalışmada matris malzemesi olarak CuSn10 (bronz) malzeme, takviye malzemesi olarak ta küresel grafitli dökme demir (GGG-40) talaşları kullanılmıştır.

3.4.1. Küresel Grafitli dökme demir (GGG-40)

Döküm öncesinde, dökme demire küçük oranlarda yapılan magnezyum (Mg) ve/ veya Seryum(Ce) elementi ilavesi çok farklı mikro yapılar ile buna bağlı olarak da farklı mekanik özelliklerin elde edilmesine yol açar. Bu işlem neticesinde oluşan grafitler küresel geometridedir. Dolayısıyla bu dökme demir türüne küresel grafitli dökme demir veya sfero dökme demir denir. Mikro yapılarına bakıldığında dört tipi olduğu söylenebilir; ferritik KGDD, perlitik KGDD, beynitik KGDD, martenzitik KGDD. Oluşan grafit kürelerini mutlaka uygun bir oranda tutmak gerekir. Bu oran geniş tutulursa grafitlerin çentik etkisine sebep olması sebebiyle mekanik değerler olumsuz etkilenir. Bu oranın dengelenmesi karbon yüzdesini minimumda tutmakla sağlanabilir. Birinci hedef bu olmalıdır. Diğer sfero dökümlerde karbon yüzdesi % 3.6-3.7 iken GGG 40'ın karbon yüzdesi % 3-3.3 olarak aşağılara çekilir. Dikkat edilmesi gerek bir diğer husus ise yapının ferritik olmasıdır. Bunun içinde yapıdaki % Si oranını arttırmaktır. Bu yapıya ulaşırken ferritin kırılganlık özelliği dikkate alınarak silisyum yüzdesinin % 1.90-2 aralığında tutulması gerekmektedir. Bu hususlar neticesinde döküm sonrası oluşan yapı ferritik bir yapıdır fakat ısıl işlem neticesinde yapı perlitik hale getirilebilir. Dolayısıyla kullanılan malzeme kimyasal olarak GGG-40 yapısında olsa da gördüğü ısıl işlemler ve imalat adımları malzemenin mekanik özelliklerini etkiler. (Callister, 2001)

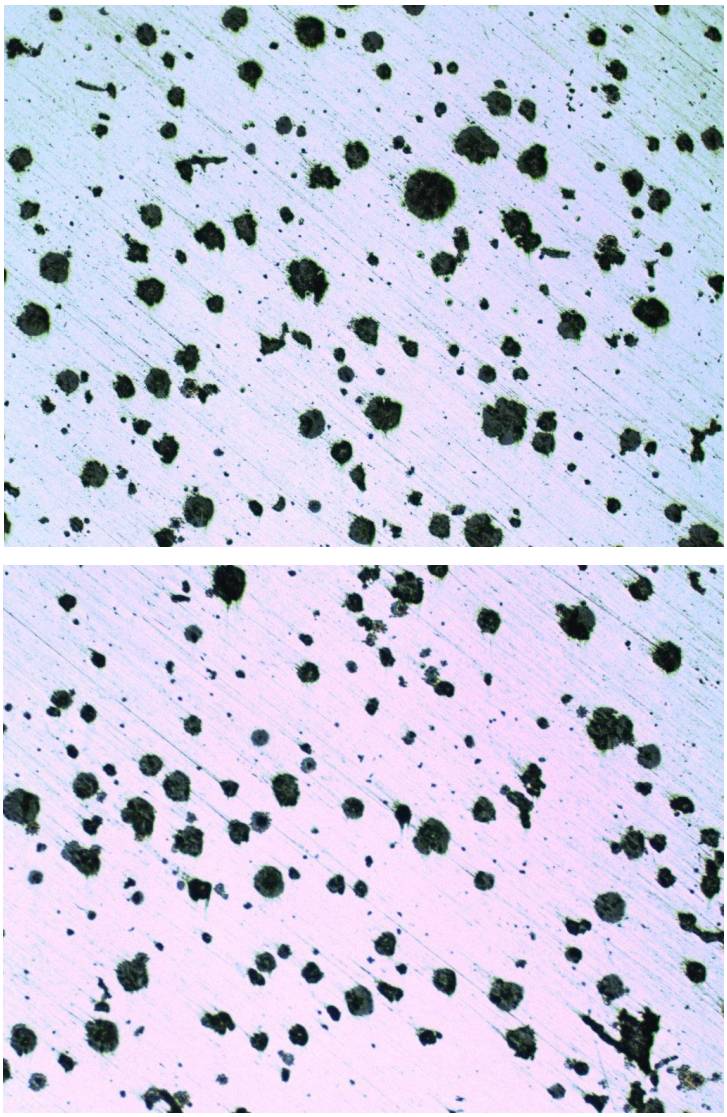
GGG-40 dökme demirin mekanik özellikleri çeliklere son derece yakındır. Ferritik bir küresel grafitli dökme demirin çekme dayanımı 380-480 MPa, kopma uzaması cinsinden sünekliği ise %10-%20 arasında değişir. Talaşlı işlenebilirliği de son derece iyidir. Valfler, silindir gömleği, pompa gövdesi ve darbeye dayanıklı parçalar, dişliler, kamlar, yatak gövdeleri, pistonlar ve krank milleri, akslar, kamalar, tekerlek göbekleri , bilezikler , volanlar , egzoz manifoldları , traktör ve diğer ziraat aletleri bu malzemenin kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada kullanılacak olan GGG-40 malzemesinin kimyasal kompozisyonu çizelge 3.3'te verilmektedir. Herhangi bir ısıl işlem ya da plastik deformasyon görmediğinden emin olmak ve kimyasal kompozisyonunu deneysel çalışmaya uygun olarak belirlemek için çalışmada kullanılan GGG-40 özel olarak döktürülmüştür. Verilen kimyasal kompozisyon tablosundaki element yüzdelerinin, küresel grafitli dökme demir kimyasal kompozisyonunun aralığına uygun olduğu görülmektedir. Buna ek olarak grafit yapısını ve nodülarite oranını belirlemek için 100X büyütme altında mikro yapı görüntüleri yardımıyla nodülarite oranı %65 olarak ortalama nodül çapı da

5,18 µm olarak belirlenmiştir. Nodül çapı belirlenirken küresellik oranı 1-0,8 arasında olan nodüllerin çaplarının ortalaması alınmıştır. Mikro yapı fotoğrafları şekil 3.9' ta gösterilmektdir. Küresellik oranına göre nodül sayısı ve ortalama nodül çapı tablosu çizelge 3.4 te gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 GGG40 kimyasal kompozisyon

Malzeme	**C**	**Si**	**Mn**	**S**	**Mg**	**P**
GGG-40	3,40 - 3,85	2,30-3,10	0,1-0,3	0,02 max	0,045-0,065	0,1 max
	3,4	2,50	0,13	0,01	0,046	0,08



Şekil 3.9. GGG 40 mikro yapı görüntüsü (100X)

Çizelge 3.4 KGDD Nodül sayısı ve ortalama çap

Nodül Küresellik Değeri	Nodül Sayısı	Ort. çap (µm)	Nodülarite oranı	Ort. Nod. Çapı(µm)
1	368	3,6	65%	5,18
1-0,9	47	5,49		
0,9-0,8	51	6,458		
0,8-0,7	35	7,98		
0,7-0,6	56	10,25		
0,6>	166	38,08		

Yapılacak olan çalışmada küresel grafitli dökme demir kullanılmasının nedenleri aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- Küresel grafitli dökme demirin endüstride sıkça kullanılması sebebiyle fazla miktarda talaş biriktirilmesi ile bu malzemenin geri dönüşüm işleminde yapılacak bir yenilikle verimliliğinin artırılması sonucu önemli oranda maliyet tasarrufu sağlanması.
- Küresel grafitli dökme demir talaşlı işlem sırasında kırık talaş verdiği için biriktirilen talaşların boyut homojenizasyonu kendiliğinden sağlanmış olmaktadır. Dolayısıyla talaşların boyutlarının ve geometrilerinin birbirine benzer olması talaşların proseslenmesini kolaylaştırır ve maliyeti düşürür.
- Küresel grafitli dökme demir işlenirken kesme sıvısı kullanılmadığı için talaşlar nispeten temiz olmaktadır.
- Mekanik ve kimyasal özelliklerinin yatak malzemesi için uygun olması.

GGG-40, diğer dökme demir türlerine göre çekme yönünde de mukavemetli olsa da basma mukavemeti daha yüksektir ve yatak yapımı için daha uygundur. Çünkü yataklar basma doğrultusunda kuvvete maruz kalır.

3.4.2. Bronz (CuSn10)

Bronz; bakırın kurşun, alüminyum, silisyum, kalay veya nikel gibi diğer bazı alaşım elementleriyle yaptığı alaşımlardır. Bu alaşımlar pirinçlerden biraz daha yüksek dayanıma sahip olmakla birlikte, korozyon direnci bakımından daha üstün özelliklere sahiptir. Yüksek korozif ortamlarda gösterdiği mükemmel performans bronzların en

karakteristik özelliği olarak gösterilebilir. Saf bakır son derece sünek ve düşük mekanik özellikler göstermesine rağmen bazı bakır alaşımları ısıl işlem görmüş çeliklerle aynı mekanik özellikleri gösterebilir.

Kalay bakırın tribolojik özelliklerine oldukça iyileştirir. Dolayısıyla bronz, gösterdiği yüksek sürtünme dayanımı, ısıl dayanımı, korozyon dayanımı ve yüksek mekanik özellik kombinasyonu ile yatak yapımında sıkça kullanılır.

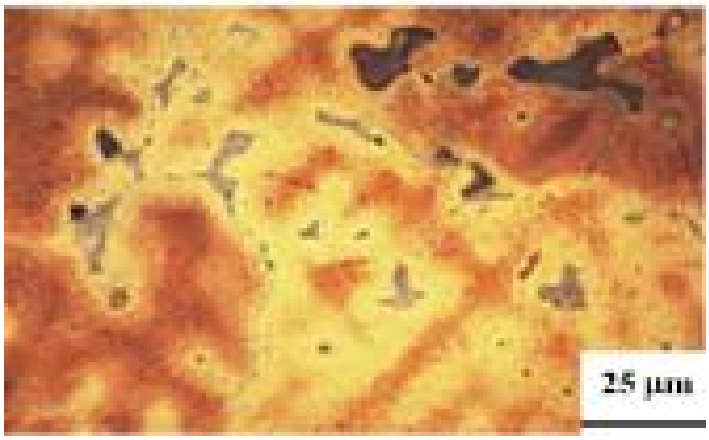
Yapıda matris eleman olarak kullanılan kalay bronzunun, endüstrideki kullanım alanları içerdiği kalay oranına göre farklılık arz etmektedir. Bunlardan bazıları;

- % 3–8 kalaylı bronzun kullanım alanı; levhadan para ve madalya yapmak tercih edilir. Aşınmaya karşı dayanıklıdır, kolay şekillenir, renk ve parlaklığını muhafaza eder. Bu bronzdan yapılan çubuk, tel ve benzerleri; mücevherat ve süs eşyaları yapımında kullanılır.
- % 8–12 kalaylı bronz deniz suyu ile diğer bazı kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı sebebiyle musluk, vana gibi malzemelerin ve makine parçalarının yapımında kullanılır. Ayrıca yapıdaki kalay aşınma direncini artırdığından yatak eleman olarak kullanılır.
- % 13–20 kalaylı bronz mekanik aşınmaya dayanıklıdır, metal yataklarda kullanılır.
- % 30–40 kalaylı alaşımı eski tip bronz, ayna yapımında kullanılırdı. Bu alaşımlar beyaz renkte, sert ve kırılgandır (Karadağ, 2012).

Yapılacak olan çalışmada % 10 kalay oranına sahip CuSn10 bronzu kullanılmıştır. Çalışmada CuSn10 kullanılmasının nedenleri aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- CuSn10 hâlihazırda endüstride yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla yatak imalatı için elverişlidir. GGG-40 talaşlarının takviyesiyle mekanik özelliklerinin daha da iyileştirilmesi hedeflenmiştir.
- Bronz malzeme tıpkı GGG-40 gibi talaşlı işlem sırasında kırık talaş verir ve boyut homojenizasyonu açısından elverişlidir.
- Bronz işlenirken kesme sıvısı kullanılmadığı için talaşlar nispeten temiz olmaktadır.

Bu çalışmada kullanılacak olan CuSn10 malzemesinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.5'te verilmektedir. Şekil 3.10'da ise CuSn10 malzemenin mikro yapı görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 3.10 CuSn10 mikro yapı (100X) (www.mesmetal.com)

Çizelge 3.5 CuSn10 kimyasal kompozisyon

Malzeme	Cu	Sn	Zn	Pb
CuSn10	86-90	9-11	1-2	1 max
	88,2	9,3	1,35	0,01

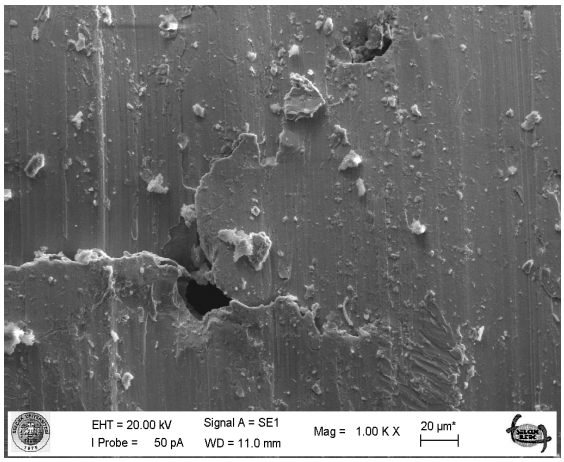
3.5. Ultrasonik temizlik etkisi

Talaşların oluşumu sırasında maruz kaldıkları yüksek sıcaklık sebebiyle yüzeylerinin oksit tabakasıyla kaplanmış olması talaşların birleşmesini engelleyecek ve/veya zorlaştıracak bir unsurdur. Bu bakımdan talaşların yüzeylerindeki oksitlerin temizlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla metalik talaşlar 20 dakika ve 40 dakika olmak üzere iki farklı temizleme süresinde ve deionize su içerisinde ultrasonik temizliğe tabi tutulmuşlardır (şekil 3.12 ve şekil 3.13). Başlangıçta ultrasonik temizliğin bohr yağlı su içerisinde yapılması gerektiği öngörülmüştür. Ancak bohr yağı çözeltisinin talaşlar üzerinde kalıntı olarak kalabileceği ve bu atıkların giderilmesi için ilave kimyasal temizlik yapılması gerekebileceği düşünülmüştür. Bu bakımdan temizliğin oksitlenmesi engelleyecek biçimde deionize su içerisinde yapılmasına karar verildi. Ultrasonik banyo sonrasında aseton (organik çözücü) ile talaşlar üzerindeki sıvı arındırıldı. Temizlik işleminden sonra talaşlar kurutulmaları amacıyla 120˚C sıcaklıktaki fırın içerisinde 15 dakika bekletilerek aseton kurutuldu. Talaşların temizlikten önceki ve farklı sürelerde ultrasonik temizlik sonrasında yüzeyleri taramalı elektron mikroskopuyla ve EDX spektroskopisiyle incelenmiş ve aşağıdaki şekillerde bu incelemeler sunulmuştur.

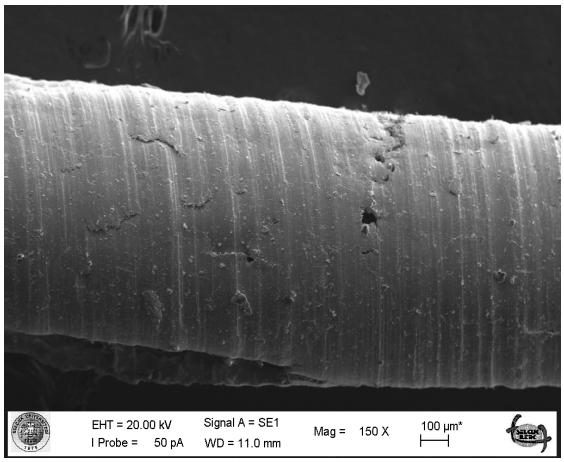
Şekillerde görüldüğü gibi ultrasonik temizlik öncesinde yüzeyleri gayet kirli

olan talaşların (ultrasonik temizlik öncesi talaşların yüzeyindeki oksitler şekil 3.11'de gösterilmektedir.) ultrasonik temizlik sonrasında yüzeylerini temizlendiği ve parlak metalik görünümlerinin ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Yine yapılan değerlendirmede ultrasonik temizlik için yeterli sürenin 40 dakika olması gerektiği belirlenmiştir. Şekil 3.13'de görülen EDX analizi sonuçları da bu bulguyu desteklemekte olup yüzeylerin oksitlerden arındırılmış olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca talaşların temas bölgesinde dar bir bölgede karşılıklı difüzyonun gerçekleştiği ve bu dar bölge içerisinde bir alaşımlama oluştuğu düşünülebilir.

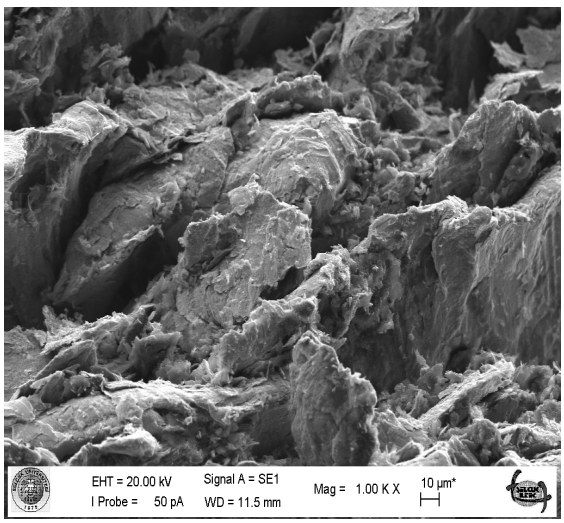
Çizelge 3.6'da ultrasonik temizlik etkisinin talaş yüzeylerindeki oksijen miktarına etkisi görülmektedir. Tabloda görüldüğü gibi ultrasonik temizlik uygulanmadan önce talaşların ciddi biçimde oksijen barındırdığı görülmektedir. Ancak ultrasonik temizlik sonrasında yapılan EDX analizlerinde oksijen miktarının düştüğü görülmektedir. Bu durum talaşların yüzeyinden oksitlerin giderildiğinin göstergesidir.



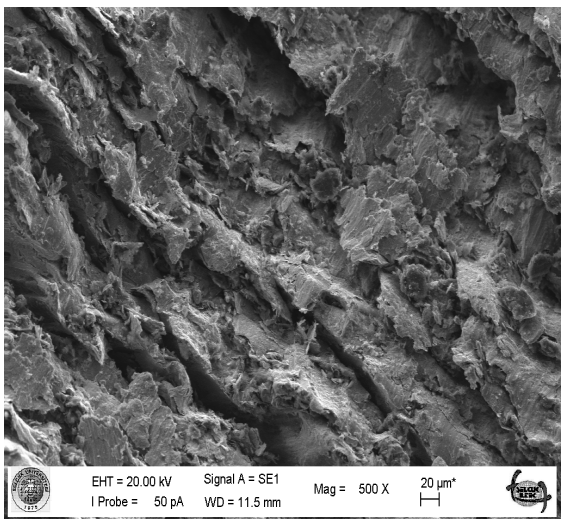
a)



b)

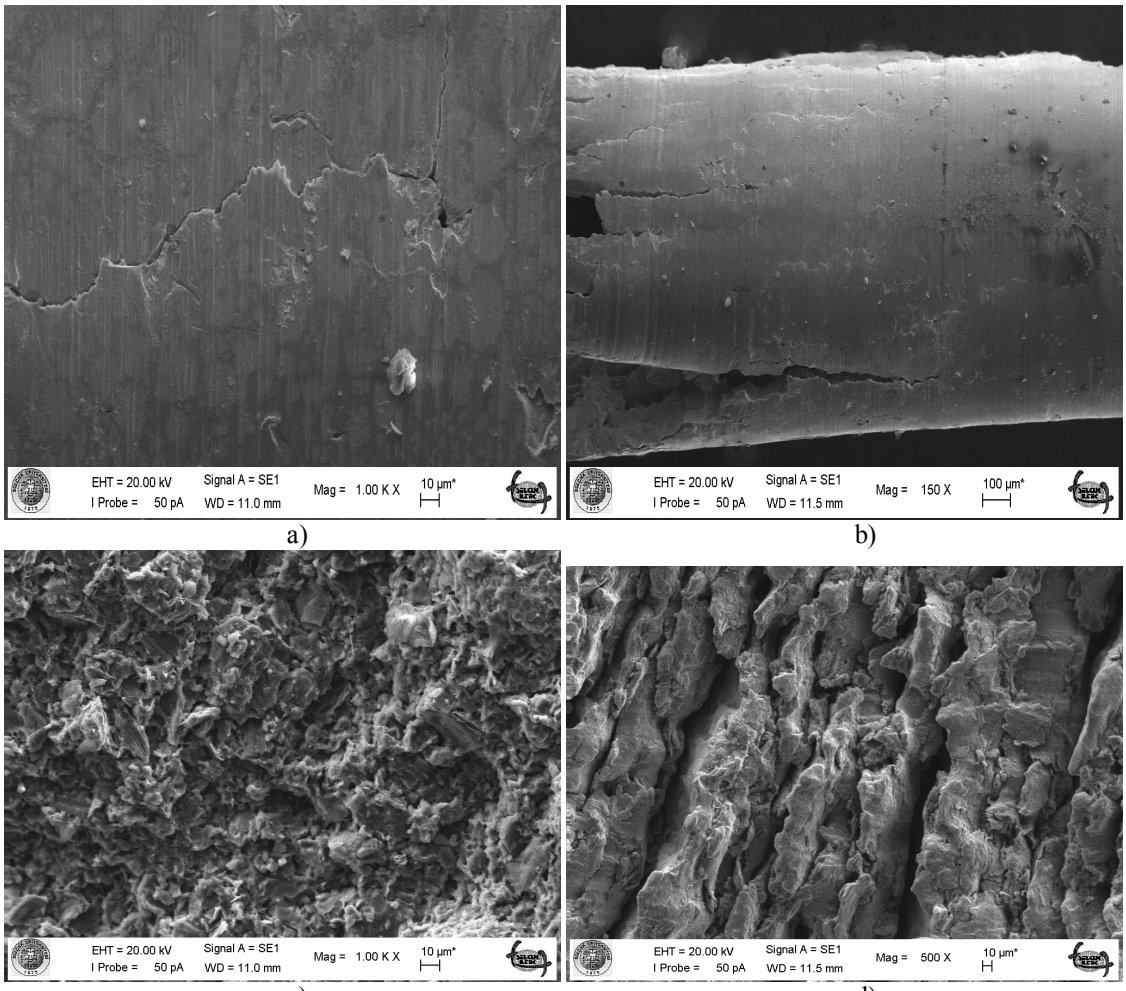


c)

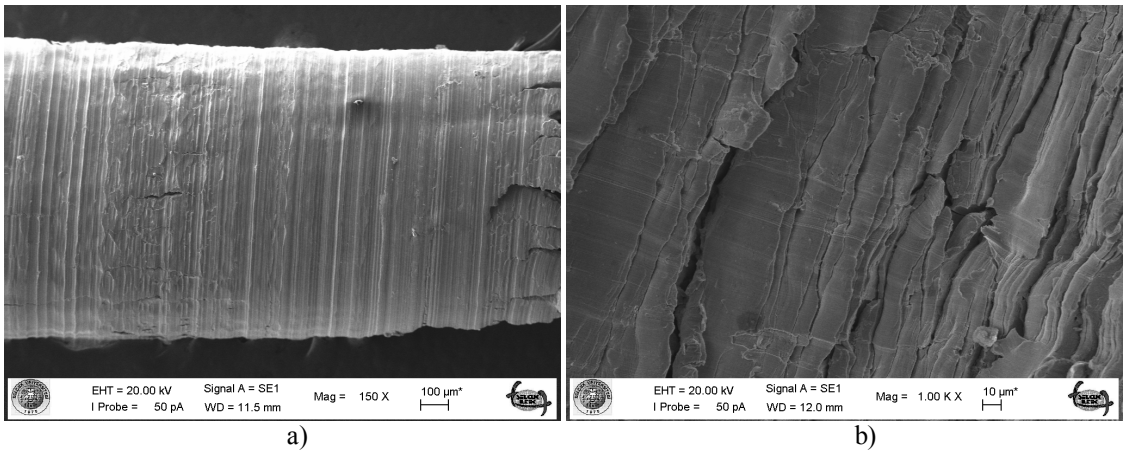


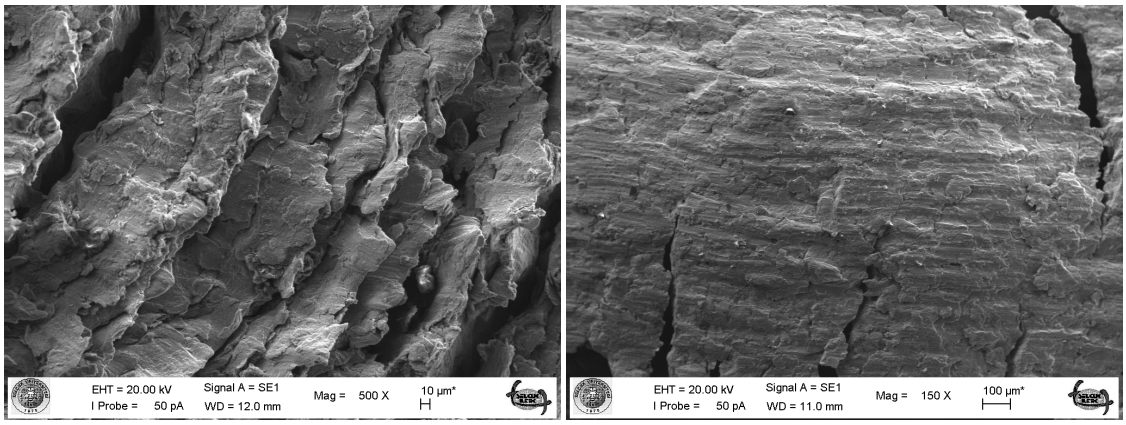
d)

Şekil 3.11 Ultrasonik temizlik öncesi talaşların taramalı elektron mikroskobu görüntüsü a) CuSn10(20µm) b) CuSn10(100µm) c) GGG-40(20µm) d) GGG-40(100µm)



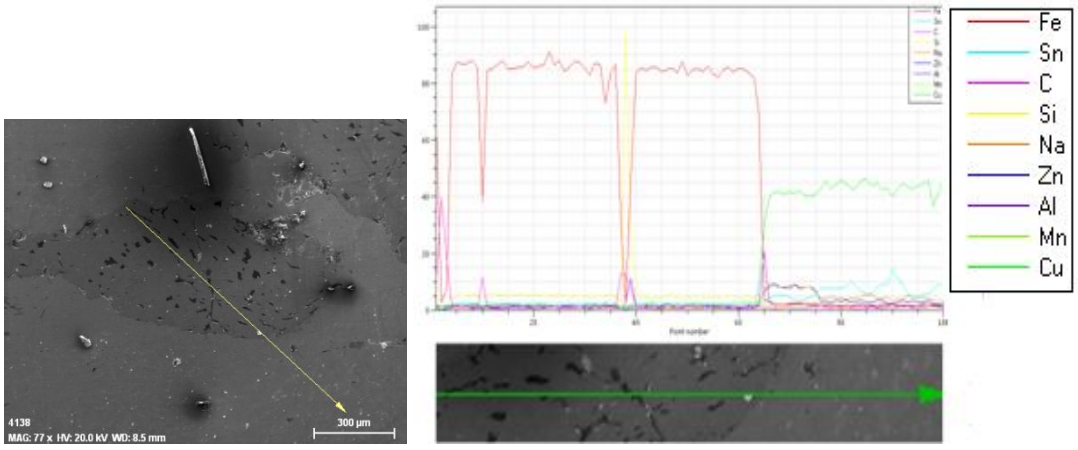
Şekil 3.12. 20 dakika ultrasonik temizlik sonrasında talaşların taramalı elektron mikroskobu görüntüsü a) CuSn10(10µm) b) CuSn10(100µm) c) GGG-40(10µm) d) GGG-40(100µm)



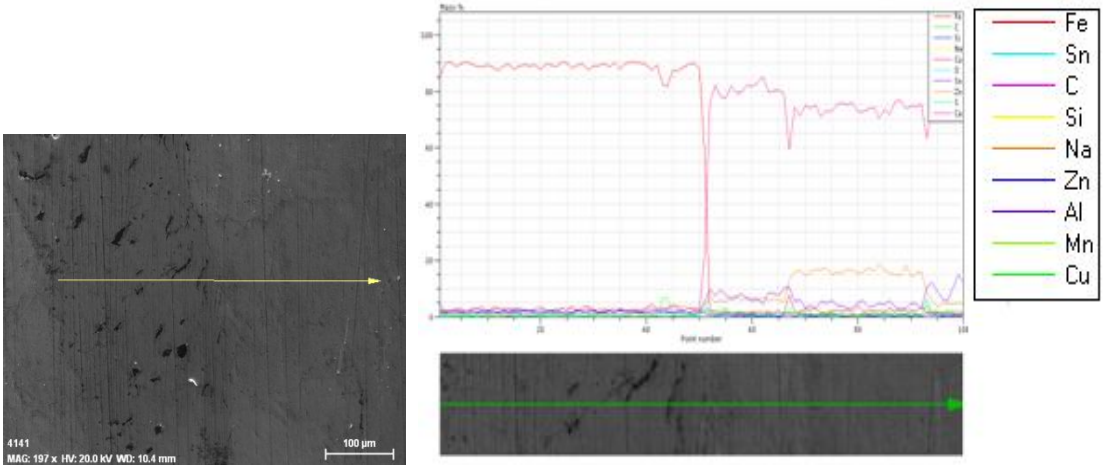


c) d)

Şekil 3.13. 40 dakika ultrasonik temizlik sonrasında talaşların taramalı elektron mikroskobu görüntüsü a) CuSn10(10µm) b) CuSn10(100µm) c) GGG-40(10µm) d) GGG-40(100µm)



Şekil 3.14 Prizmatik numunenin EDX görüntüleri



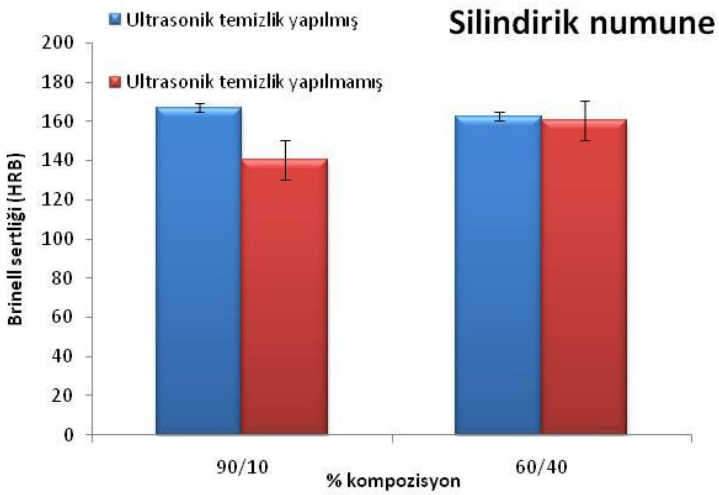
Şekil 3.15 Silindirik numunenin EDX görüntüleri-

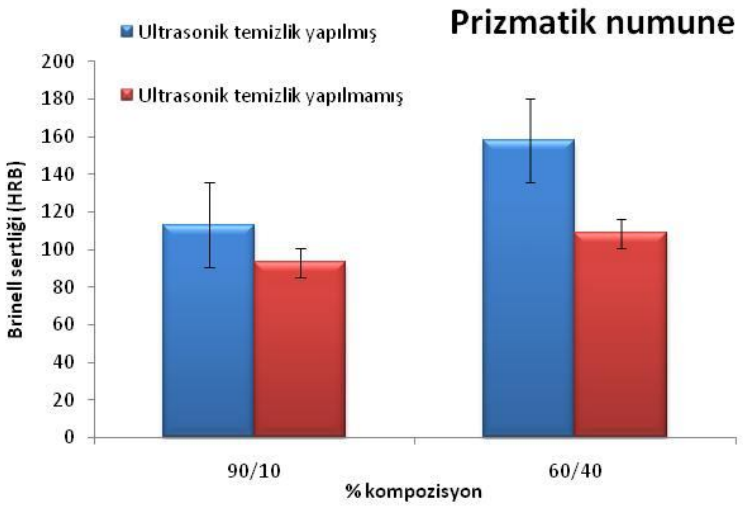
Çizelge 3.6 Ultrasonik temizlik etkisinin talaş yüzeylerindeki oksijen miktarına etkisi

	% Oksijen	
Ultrasonik Temizlik	**GGG40**	**CuSn10**
Yok	1,98	1,72
20 dk.	1,91	1,38
40 dk.	1,21	0,85

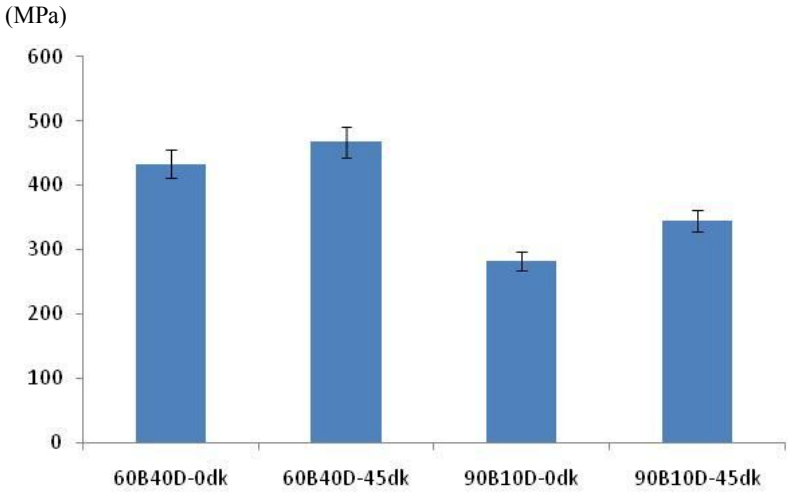
Yukarıda belirtilen temizlik sürecinden sonra üretim için seçilen basınç ve sıcaklık parametrelerinden 450 ˚C sıcaklık ve 820 MPa basınç değerleri seçilerek %60 ve %90 CuSn10 kompozisyonlu malzemerin mekanik özelliklerine ultrasonik temizlik süresinin etkisi araştırılmıştır. şekil 3.16 ve şekil 3.17' de ultrasonik temizliğin seçilen numunelerin sertlik ve basma mukavemetlerine etkisi görülmektedir. şekil 3.16'da görüldüğü gibi hem silindirik hem de prizmatik numunelerde ultrasonik temizlik yapılan numunelerde daha yüksek sertlik elde edilmektedir. Bu durum ultrasonik temizliğin talaşların birleşmesi üzerine etkili olduğu ve birleşme kalitesini iyileştirdiği değerlendirilmiştir.

Şekil 3.17'de ultrasonik temizlik uygulamasının MMK malzemelerin basma mukavemeti üzerine etkileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi ultrasonik temizlik %60 CunSn10 içeren MMK malzemelerin basma mukavemeti üzerinde yaklaşık %8, %90 CuSn10 içerewn MMK malzemelerin basma mukavemeti üzerine yaklaşık %22 etkilidir.





Şekil 3.16 Ultrasonik temizliğin Brinell sertliğine etkisi



Şekil 3.17 Ultrasonik temizliğin basma mukavemetine etkisi

3.6. İmalat Düzeneği ve Numune Üretimi

Bu çalışmada Selçuk üniversitesi teknoloji fakültesi ve mühendislik fakültesi bünyesinde bulunan çeşitli tezgâhların ve ekipmanların yanı sıra, çalışmaya uygun olarak tasarlanan ve imal ettirilen ekipmanlar kullanılmıştır. Ekipmanlara uygun olarak çalışma şartları belirlenmiş ve numune üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.6.1. İmalat düzeneği

Bu çalışmada kullanılan üretim sistemi, detaylı bir literatür araştırmasının ardından amaca yönelik cihazların bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. Üretimde

kullanılan bazı cihazlar hazır olarak alınmıştır bazıları ise prosese uygun olarak özel tasarlanmış ve imal ettirilmiştir. İmalatta kullanılan ekipmanlar şunlardır;

- Çift etkili pres
- 2 adet dişi kalıp
- 4 adet erkek zımba
- Konik karıştırıcı
- Hassas terazi
- Kalıp tutucu sehpa
- 4 adet fişek rezistans
- 1 adet sıcaklık kontrol panosu
- Yalıtım malzemeleri

***Çift etkili pres:**

Bu çalışmada Selçuk üniversitesi Teknoloji Fakültesi bünyesinde bulunan 100 tonluk çift etkili, basınç kilitleme valfli pres kullanılmıştır. Kullanılan pres şekil 3.18'de gösterilmektedir. Çift etkili pres kullanılmasının başlıca sebebi malzeme sertlik profili dağılımının homojen olmasının istenilmesidir. Tek yönlü pres ile yapılan imalat işlemi neticesinde sertlik profilinin sıkıştırma yüzeyinden aşağıya doğru azaldığı bilinmektedir (Karadağ, 2012). Ayrıca presin basınç kilitleme valfi sayesinde istenilen basınca gelindiğinde pres kapatılarak sabit basınçta (sistem sürekli çalışmaksızın) çalışma imkanı, prosesin işleyişini oldukça kolaylaştırmıştır. Pres üzerine 2 adet manometre takılarak birisinden sistem çalışırken ki presleme basıncı, diğerinden ise sistem kapalıyken (kilitleme valfi dengedeyken) presleme basıncı ölçülerek sistemin basıncı sürekli kontrol edilmiştir.



Şekil 3.18 Çift etkili pres

***Dişi ve erkek kalıplar:**

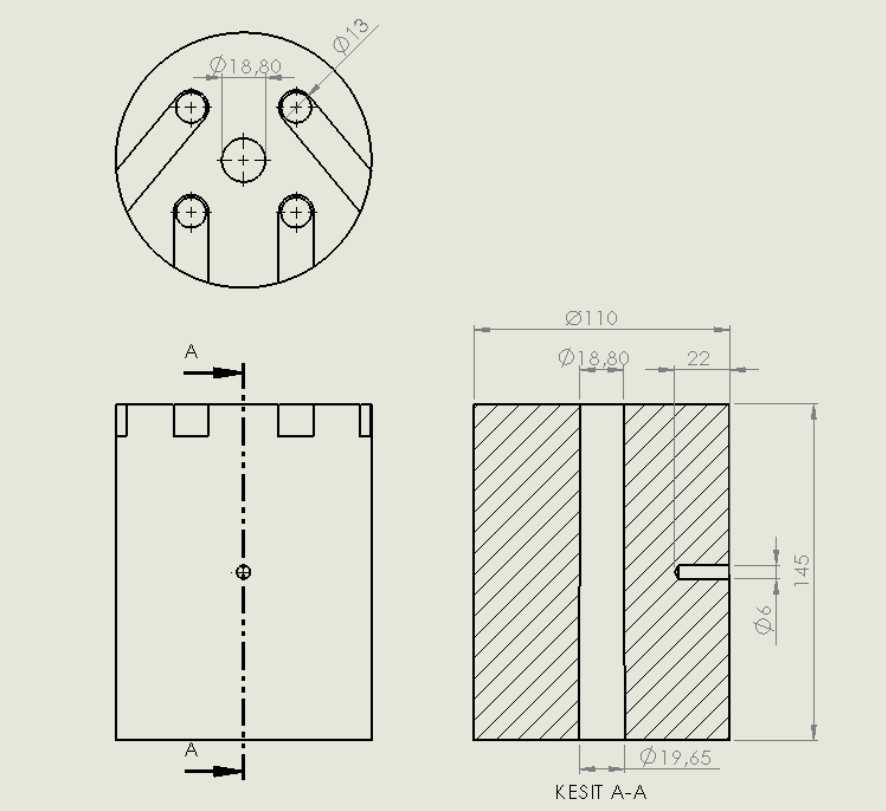
Üretim için 2 adet dişi (silindirik ve prizmatik numuneler için farklı) 4 adet te erkek kalıp tasarlanmış ve imal ettirilmiştir. Tasarlanan dişi kalıpların teknik resimleri şekil 3.19 ve şekil 3.21'de verilmektedir. Erkek kalıpların teknik resimleri ise şekil 3.20 ve şekil 3.22'de verilmektedir. Yapılan çalışma yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleştiğinden dolayı kalıp tasarımı ve malzeme seçiminin çalışma şartlarına uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Bu sebeple mukavemetli, aşınma dayanımı yüksek ve mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklarda da muhafaza edebilen Qre 90 ve Orvar suprame sıcak iş takım çeliği kullanılmış ve ısıl işlemleri de çalışma sıcaklıklarına uygun olarak yaptırılmıştır.

Erkek ve dişi kalıp arasındaki çalışma boşluğu 0,5 mm olarak tayin edilmiştir. Ayrıca üretilen numunelerin kalıplardan rahat çıkarılabilmesi için dişi kalıpların alt ve üst delikleri arasında 0.85 mm' lik fark vardır. (minimum %2 den fazla olması gerekir.) Aksi takdirde kalıp içerisinde üretilen malzeme kalıp dışına çıkarılırken şişmeler,

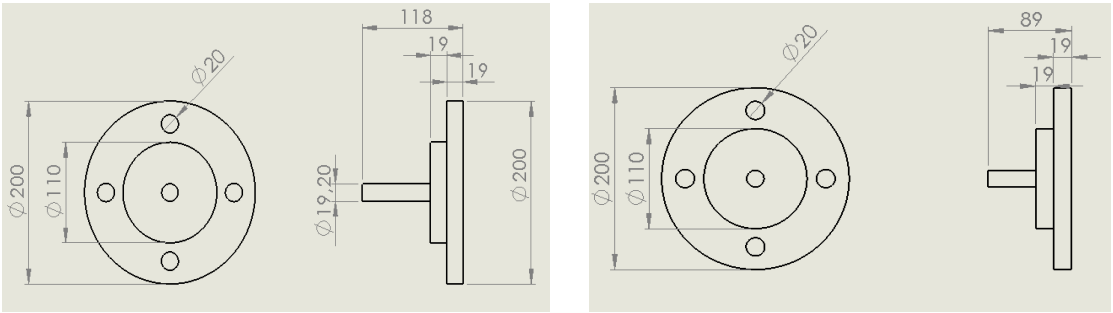
çatlamalar, kırılmalar gerçekleşebilir. Kalıplara yaptırılan ısıl işlemler neticesinde erkek ve dişi kalıp yüzeylerinde 50 Rc sertlik değerine ulaşılmıştır.

Erkek zımbaların tutucu bölümleri presleme esnasında burkulmaya engel olacak şekilde kalın yapılmasına rağmen erkek zımbalarda eğilmeler ve burkulmalar gözlemlenmiştir. Dolayısıyla erkek zımbaları tutacak bölümlerin minimum 15 mm yapılması ve ısıl işlemlerinin da çalışma şartlarına uygun yapılması erkek zımbaların ömrünü uzatabilir.

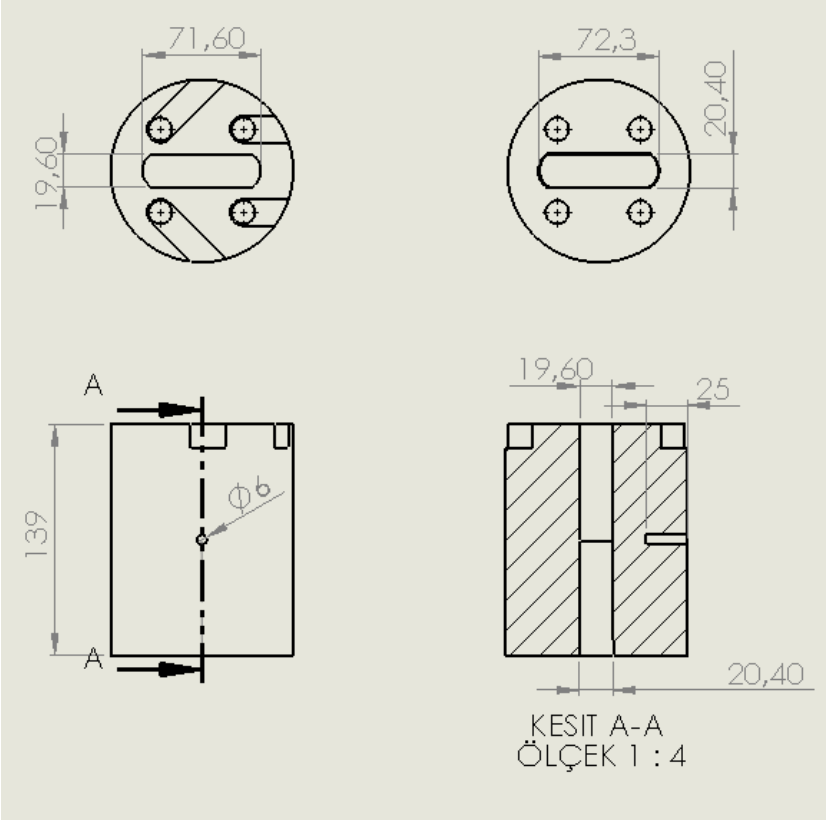
.



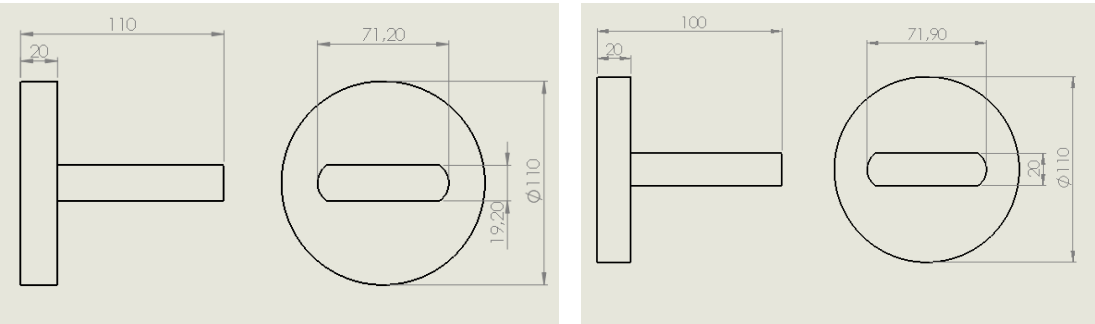
Şekil 3.19 Dişi silindirik kalıp teknik resim



Şekil 3.20 Silindirik erkek zımbalar teknik resim



Şekil 3.21 Prizmatik dişi kalıp teknik resim

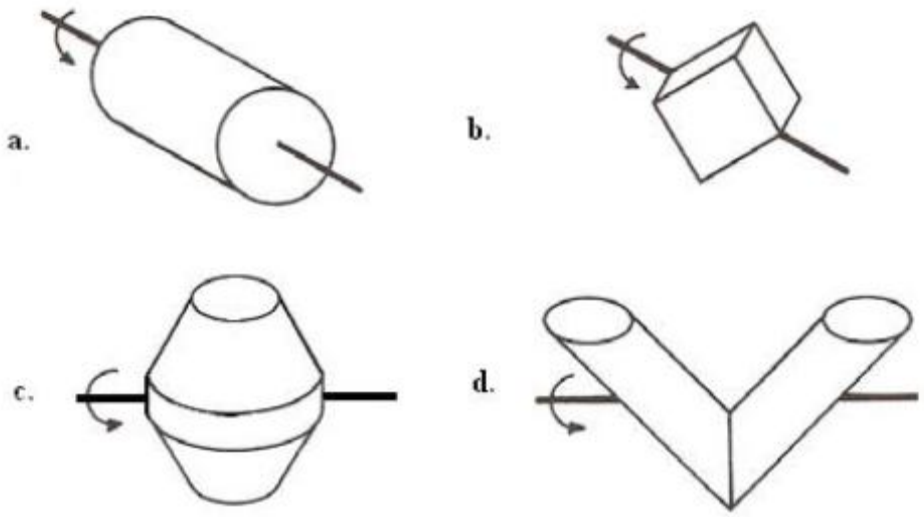


Şekil 3.22 Prizmatik erkek zımbalar teknik resim

***Konik karıştırıcı:**

Toz metalürjisinde ki en önemli konulardan birisi tozların karışımının homojen olmasıdır. Kullanılan tozların boyutlarının, şekillerinin ve yoğunluklarının farklı olması sebebiyle karışım neticesinde tozların heterojen olarak kümelenmeleri beklenebilir. Bu da üretim sonrasında malzemenin mekanik özelliklerinin konuma bağlılığını artırır. Dolayısıyla malzeme kendisine uygulanan yüke homojen cevap veremez.

Karıştırma işlemi, şekil 3.23'de gösterilen prizmatik, çift taraflı konik ve V şekilli kapalı kaplar içerisinde gerçekleştirilebilir. Karıştırmada, bu kapların hacmen en az % 30-40 dolu olması tavsiye edilmektedir. Karıştırıcı doluluk oranı karıştırma verimini doğrudan etkiler (German, 1989).



Şekil 3.23 Karıştırıcı tipleri (German, 1989)

Karıştırma verimliliğine etki eden diğer bir husus, karıştırıcının dönme hızıdır. Yavaş dönme hızlarında, homojen karışımın elde edilmesi için gereken süre uzayacak ve fazla miktarda serbest düşüş yapan partiküller boyutsal olarak ayrışacaktır. Ancak yüksek dönme hızlarında da partiküller, merkezkaç kuvvetinin etkisi ile karıştırıcı duvarına yapışacak ve akış sağlanamadığı için homojen karışım elde edilemeyecektir. En iyi karıştırma, merkezkaç kuvvetinin küçük olduğu, ancak türbülans oluşumuna izin veren hızlarda gerçekleşmektedir (German, 2007).

Çift taraflı konik karıştırıcı (şekil 3.24'de), verimlilik ve kısa karıştırma süreleri açısından en etkin olanıdır. Karıştırıcı tasarımı literatürde kabul edilen geometrilerde tasarlanarak imal ettirilmiş ve çalışmada kullanılmıştır. Karışım sonrasında alınan talaş numunelerinde homojenliğin sağlandığı gözlemlenmiştir.



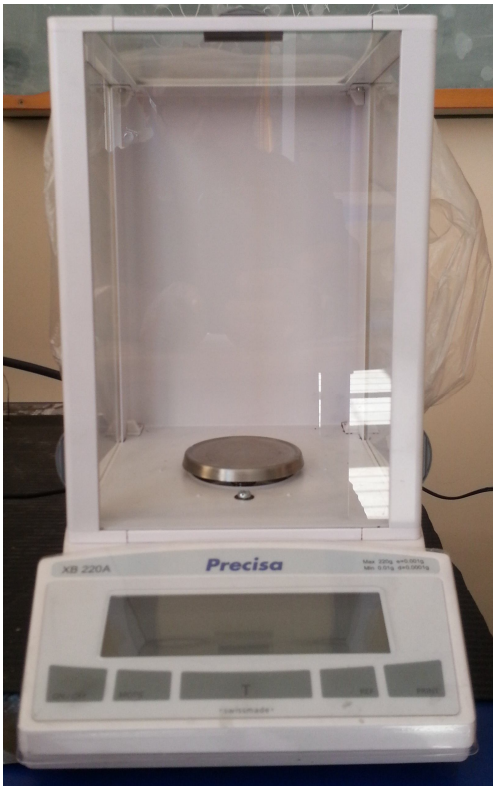
Şekil 3.24 Konik karıştırıcı

***Hassas terazi:**

Bu çalışmada iki farklı talaş karışımı(CuSn10-GGG40) kullanılmıştır. Talaş gramajları silindirik numune için 80 gr, prizmatik numune için 160 gr olarak belirlenmiştir ve 4 farklı karışım oranı hazırlanmıştır. Bu karışım oranları şunlardır.

- %90 CuSn10 - %10 GGG-40
- %80 CuSn10 - %20 GGG-40
- %70 CuSn10 - %30 GGG-40
- %60 CuSn10 - %40 GGG-40

Bu karışım oranlarının hassas bir şekilde tartılabilmesi için Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bünyesinde bulunan 0.001 gr hassasiyetli hassas terazi kullanılmıştır.(şekil 3.25)



Şekil 3.25 Hassas terazi

***Fişek rezistans:**

Çalışmanın başında yaşanan en büyük problemlerden birisi de kalıbı uygun sıcaklığa getirme işlemi olmuştur. Krom ceket, doğrudan elektrik vererek ısıtma gibi çeşitli ısıtma yöntemleri denenmesine rağmen istenen sıcaklık performansı elde edilememiştir. Krom ceket yardımıyla efektif bir ısıtma sağlansa da 300˚C üzerinde sıcaklıklara çıkılamamaktadır. Doğrudan dişi kalıba elektrik vererek yapılan ısıtma da ise kayda değer bir başarı sağlanamamıştır. Bunun yanı sıra ortam da oluşturduğu manyetik alan çalışma şartlarını oldukça kötü etkilemektedir. Yapılan araştırma neticesinde en uygun ısıtma sisteminin fişek rezistanslar olduğu tespit edilmiştir. Kalıp boyutuna ve ağırlığına bağlı olarak 4 adet Ø13 mm çapında 130 mm boyunda rezistans kullanılmıştır. Kullanılan fişek rezistans şekil 3.26'da gösterilmektedir. Rezistanslar birbirine seri bağlanarak 2000 watt' lık ısıtma gücü elde edilmiştir. Bu şekilde 650˚C'ye kadar ısıtma sağlanabilmektedir ve bu ısıtma işlemi ortalama 60 dakikada gerçekleşmektedir. Bu sisteme ek olarak, kalıbın bir vakum fırının içinde ısıtılarak fırının içinde presleme prosesi izostatik imalat yönteminde sıklıkla kullanılmaktadır fakat o sistemin bu çalışma için fazla maliyetli olması sebebiyle en uygun ısıtma

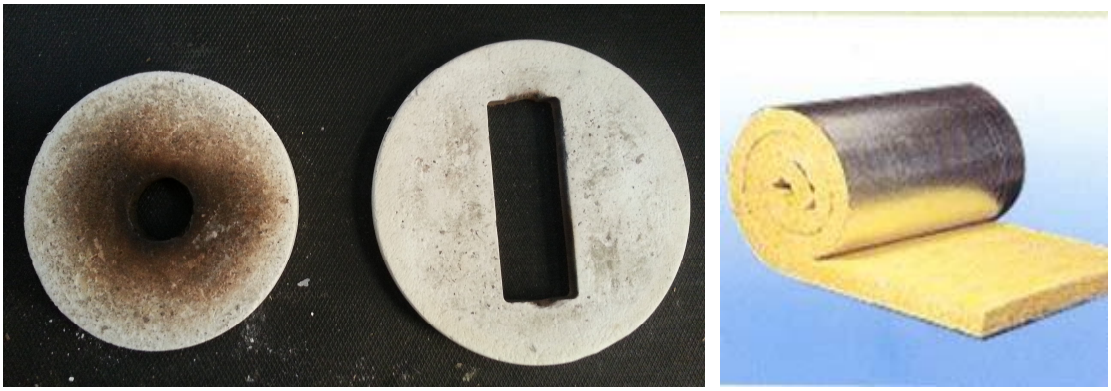
yolunun fişek rezistanslar olduğu tespit edilmiştir. Fişek rezistansların etkili bir ısı iletimi sağlaması için yuvasına sıkı bir şekilde oturması gerekir. Sıkı oturmayan fişekler hem ısıtma sağlayamaz hem de fişek içindeki rezistansın yanmasına neden olur. Bu sebeple fişek delikleri açılırken dikkat edilmelidir.



Şekil 3.26 Fişek rezistans

***Yalıtım malzemeleri:**

Bu çalışmada yüksek sıcaklıklarda çalışıldığı için hem çalışma şartlarını güvenli hale getirmek hem de ısı kaybını önlemek adına dişi kalıbı, tutucu sehpadan izole etmek için yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı seramik bir izolasyon malzemesi kullanılmıştır. Ayrıca dişi kalıp etrafı 1000˚C' ye dayanıklı kaya yünü ile kaplanmıştır. Kullanılan izolasyon malzemeleri Şekil 3.27'de gösterilmektedir. Sıcaklık etkisiyle kaya yününü yapısı bozularak toz haline gelmesi çalışmayı oldukça güçleştirmektedir. Bu problem, kaya yününün etrafını dayanıklı bir kağıtla kaplayarak giderilmiştir.



Şekil 3.27 Seramik ve kaya yünü izolasyon malzemeleri

3.6.2. Numune üretimi

Bu çalışmada 3 farklı basınç, 3 farklı sıcaklık, 4 farklı karışım oranı, 2 farklı geometri, 3 tekrar olmak üzere 4 farklı parametre de toplamda 216 numune (108 silindirik, 108 prizmatik) üretilmiştir. Çalışmaya başlamadan önce yapılan araştırmalarda bu çalışma için her hangi bir istatistiksel yaklaşım kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Bu araştırma neticesinde Taguchi yöntemi ile bu çalışma yapılırsa 200 numunenin üretilmesi gerektiği tespit edilmiştir. İstatistiksel yaklaşımın numune sayısını çok fazla değiştirmediği görüldüğü için full faktöriyel çalışma yapılmıştır.

Üretim sisteminin çalışır hale getirilmesinin ardından çalışılması gereken parametreler (sıcaklık, basınç, karışım oranı,) belirlenmiştir. Bu belirleme işlemi, yapılan ön denemelerde elde edilen numunelerin testleri neticesinde ve çalışılan sistemin elverdiği ölçüde yapılmıştır. Bu belirlemeler neticesinde incelenmesi gereken parametrelerin tablosu aşağıdaki gibidir.(çizelge 3.7)

Çizelge 3.7 Üretim parametreleri tablosu

	SICAKLIK (℃)	BASINÇ (MPa)	KARIŞIM ORANI (%)	GEOMETRİ	Deney tekrarı
1	350	480	%90 CuSn10-%10 GGG40	Silidirik	3
2	400	640	%80 CuSn10-%20 GGG40	Prizmatik	
3	450	820	%70 CuSn10-%30 GGG40		
4			%60 CuSn10-%40 GGG40		



Şekil 3.28 Etkili bir birleşim sağlanamayan ön deneme numuneleri

Çalışmada kullanılan CuSn10 ve GGG-40 malzeme talaşlarının atık talaş olarak (hazır) temin edilmesi ve kullanılması planlanmıştır fakat bu çalışmanın deneysel bir çalışma olması sebebiyle kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi gerekir. Talaşlar hazır olarak temin edilince gerek kimyasal bileşiminden gerekse geçirdiği imalat adımlarından ve ısıl işlemlerden emin olunamaz. Dolayısıyla üretilen malzemenin içe yapısından emin olunamaz ve saf malzeme ile kıyaslaması yapılamaz. Tüm bu sebeplerle talaşlar Ø 22 mm lik silindirik çubuklar halinde döktürülüp (şekil 3.29) torna da aynı parametrelerde(devir, kesme ve ilerleme hızı) işlenerek talaşlar elde edilmiştir (şekil 3.32). Daha sonra bilyalı değirmende (şekil 3.30) kırılarak talaş tiplerinin ve boyutlarının birbirine yakın olması sağlanmıştır ve 1mm-2mm elekler (şekil 3.31) ile elenerek eleklerin arasında kalan talaşlar kullanılmıştır. şekil 3.32 incelendiğinde elde edilen bronz ve dökme demir talaşlarının gerek boyut olarak gerekse geometri olarak birbirlerine yakın oldukları söylenebilir. Talaş boyutlarının ve geometrilerinin birbiriyle benzer nitelikte olması bronz ve dökme demir malzemelerinin neden bu yeni yöntem için geri dönüşüm malzemesi olarak seçildiğini kanıtlar niteliktedir.



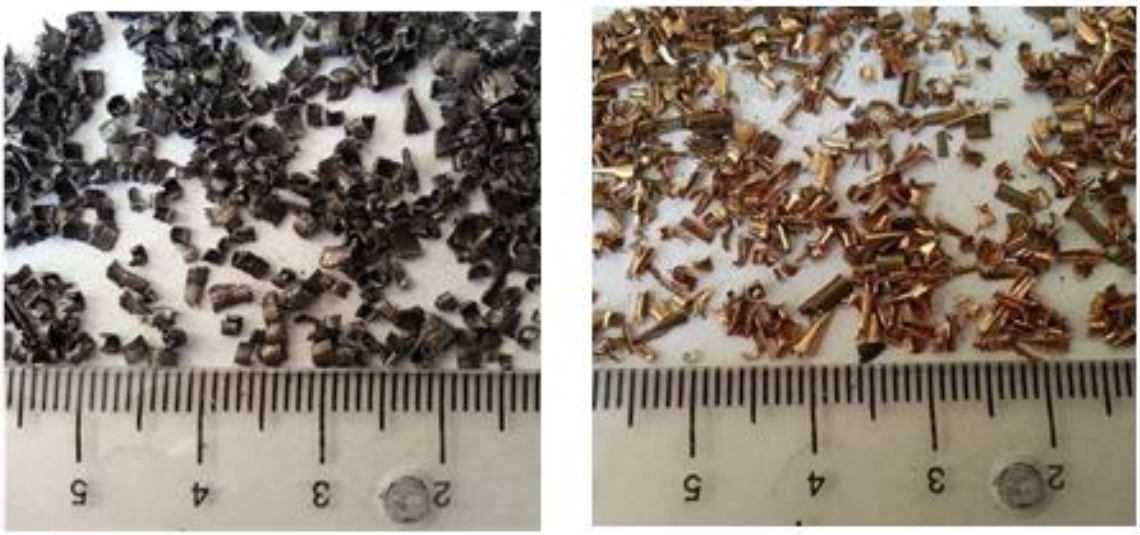
Şekil 3.29 Talaşların elde edildiği döküm çubukla



Şekil 3.30 Bilyalı değirmen

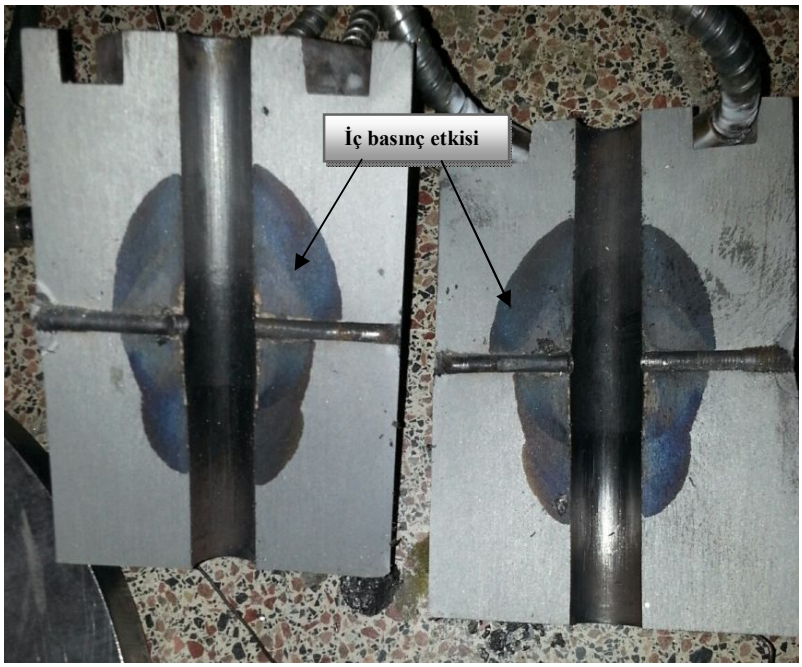


Şekil 3.31 1 mm ve 2 mm lik elekler



Şekil 3.32 GGG 40 ve CuSn10 talaşları

Çalışmada kullanılan CuSn10 ve GGG-40 malzemelerin erime sıcaklıkları sırasıyla 925˚C ve 1527˚C derecedir. Dolayısıyla çalışma sıcaklıkları ve basınçları seçilirken 650˚C ye kadar çalışılmasının bir problem yaratmayacağı tahmin edilmiştir. Verilen erime sıcaklarının bulk malzemelerin oda şartlarında ki erime sıcaklığı olması fakat çalışmada kullanılan malzemelerin talaş formunda bulunması talaşların çok daha düşük sıcaklıklarda yumuşamasına neden olmuştur. Hatta geometriye bağlı olarak basınç etkisi de prosese dahil olunca talaşların 450-500˚C sıcaklıklarda aşırı yumuşadığı (sıvı hale yakın) ve bu yumuşamanın da çalışmayı son derece zorlaştırdığı tespit edilmiştir. Yukarıda bahsedildiği gibi erkek zımbalar ile dişi kalıp arasında 0,5 mm lik çalışma toleransı bulunmasına ve minimum talaş boyutunun 1mm olmasına rağmen bronzun macun kıvamına gelerek erkek ve dişi kalıp arasına dolduğu (sıvandığı) tespit edilmiştir. Bu sebeple başlangıçta tasarlanan çalışma sıcaklıklar 650˚C seviyelerinden 450˚C seviyelerine çekilmiştir. Yumuşayan bronz neredeyse bir sıvı gibi davranarak kalıp iç yüzeyinde hidrostatik basınca sebep olduğu ve oluşan basıncın 110 mm çapında ısıl işlem görmüş sıcak iş takım çeliği malzemenin kırılmasına neden olmuştur. Kırılan kalıp şekil 3.33'de görülmektedir. Kırılmanın iç basınç etkisinde gerçekleştiği, kalıpta numunenin denk geldiği bölümlerin aşırı zorlanması sonucu renk değiştirmesinden anlaşılmaktadır.



Şekil 3.33 İç basınç etksi altında kırılan sıcak pres kalıbı

-

Yukarıda anlatılanlara ek olarak, başlangıçta kalıp içerisinde vakum ortamında presleme yapılması planlanmıştır. Sıkıştırma sırasında ortam sıcaklığının yüksek olmasının metal yüzeylerinin oksitlenmesine sebep olacağı öngörülmüştür. Bu oksidasyon, metallerin arasında bağ oluşmasına engel olur. Bu sebeple sıkıştırma esnasında vakum pompası ile ortamdaki havayı çekerek vakum ortamında presleme yapılması planlanmıştır fakat bronzun çok düşük sıcaklıklarda yumuşaması (6 mm lik vakum deliğine dolup pompanın girişine ekstrüze olabilecek kadar macun kıvamında) yüksek sıcaklıklarla beraber vakum prosesinin de gerçekleştirilemeyeceğini göstermiştir. şekil 3.34 ‘te erkek zımba etrafında oluşan ve donan bronz cüruf ve kalıp içerisinde erkek zımba etrafına sıvanarak çıkan MMK malzemenin görüntüsü gösterilmektedir. şekil 3.35’te ise erkek zımba ve dişi kalıp boşluğuna dolan ve kalıbın sıkışmasına neden olan cüruflar gösterilmiştir.



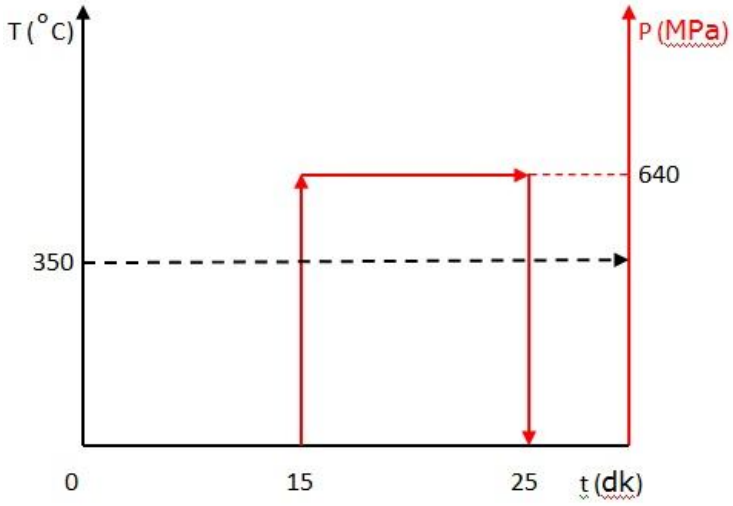
Şekil 3.34 Bronzun dişi ve erkek kalıp arasına dolması



Şekil 3.35 Kalıpların arasına dolan CuSn10

Üretim, gerekli kompozisyona göre tartılan CuSn10 ve GGG-40 talaşlarının konik karıştırıcı ile 20 dk. karıştırılmasıyla başlar. Daha sonra elde edilen karışım önceden ısıtılan dişi kalıp içerisine konulur. Çalışmanın başında, ön presleme ile önceden soğuk sıkıştırılan numulerin (green sample) sıcak preslenmesi düşünülmüştür fakat uygulamada yaşanan problemler (numunenin kalıba giriş çıkış problemleri) sebebiyle tozların direkt olarak sıcak kalıba şarj edilmesinin daha doğru olacağı kanaatine varılmıştır. Numunenin kalıptan kolay çıkması için katı yağlayıcı olan grafit tozu kalıbın alt ve üst yüzeyine sürülür. Talaş şarj işlemi sonrasında erkek zımbalar yaklaşık 5 er mm dişi kalıp içerisine sokulur (numune yüzeylerinin havayla temasını

nisbeten engellemek için). Daha sonra sabit sıcaklıkta 15 dakika beklenir. Bekleme işlemi talaşlar içerisindeki sıcaklık profilinin homojen olması içindir. Talaşlar arasında gözenek (hava) olması talaşların iç kısımlarına ısı transferini zorlaştırır. Çünkü havanın ısı iletim katsayısı düşüktür ve yalıtkan gibi davranır. Bekleme süreci sonrasında erkek zımbalar ile eşit hızda (eş zamanlı) sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir. Pres basıncı istenen basınca geldikten sonra 10 dakika da basınç altında sabit sıcaklıkta beklenir ve numune çıkartılır. Numune atmosfer ortamında soğumaya bırakılır. Bu prosesin grafiği şekil 3.36'da gösterilmektedir.



Şekil 3.36 Üretim grafiği

Yukarda anlatıldığı şekilde üretimi tamamlanan numuneler talaşlı imalat işlemleri uygulanarak uygun geometrilere getirilir (şekil 3.37). Başlangıçta 19,6 mm çapında ve 27-33 mm boyunda olan silindirik numune (şekil 3.39) 15 mm çapına ve 25 mm boyuna (şekil 3.40), 15-18-75 mm boyutlarında olan prizmatik numune (şekil 3.39) ise 13x13x70 mm boyutuna (şekil 3.40) getirilir. Geometriler ASTM test standartlarına göre ayarlanmıştır. Eğme numunesinde standarta bağlı kalınmıştır fakat basma numunesinde, standarta göre test yapıldığında sonuç alınamamıştır. Üretilen bu yeni malzemeye bire bir uygun bir standart bulunamadığından başlangıçta Ø13x39 mm olan basma numunesi testin yapılabildiği ve müspet sonuçların alınabildiği daha uygun bir geometriye getirilmiştir. Torna da işleme yapılırken yüksek devirde işlem yapılmalı ve paso az verilmelidir (min:800 d/dk, paso :1-2 mm). Aynaya bağlanan numunenin yarısı işlendikten sonra diğer yarısını işlerken problem yaşanabilir. Bu problem MMK malzemenin ortasında oluşan zayıf bir bağlantı varsa yaşanabilir. Bu durumu önlemek

için malzemeyi ilk tarafından yarıdan fazlasını işlemeli ve diğer tarafını işlerken yarıdan az bölümü işlenmelidir ve paso azaltılmalıdır. Bu şekilde kırılma probleminin önüne geçilebilir. (Kırılma problemi sadece 350˚C ve 480 MPa da üretilen yüksek dökme demir içerikli numunelerde görülebilir.)

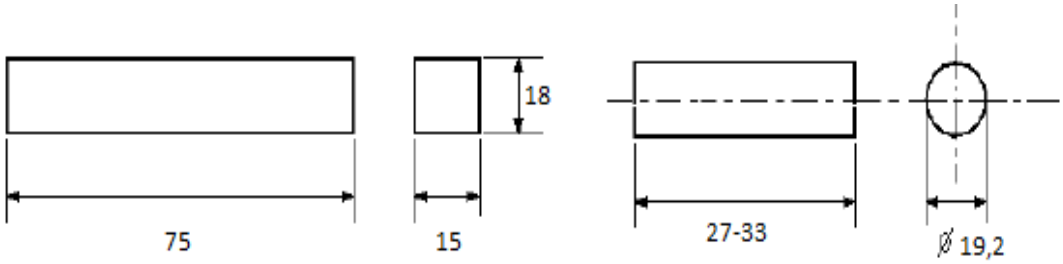


Şekil 3.37 Torna ve freze ile talaşlı imalat

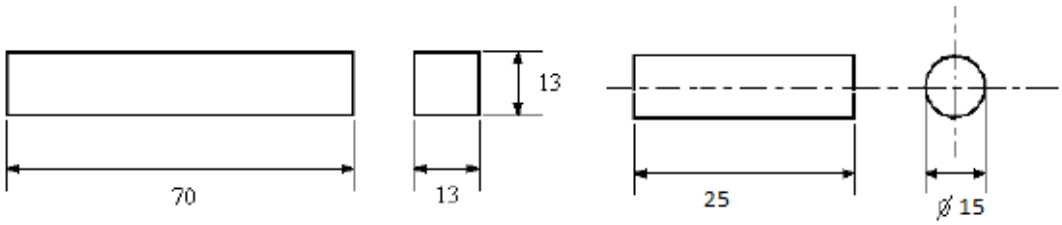


Şekil 3.38 Numuneler işlendikten sonraki görünüm

Frezeleme işlemi yapılırken de prizmatik numunelerin mengeneye bağlanmasında problem yaşanabilir. Prizmatik numuneler üretim tekniğinin karakteristiğinden kaynaklı anizotropiktir. Numune içerisindeki talaşlar presleme doğrultusunda plastik deformasyona uğradığından o doğrultuda mukavemetlenir. Dolayısıyla yanal yüzeylerin mukavemetleri alt ve üst yüzeylerden daha düşüktür. Mengeneye zayıf yüzeylerden bağlanan numunelerde problem yaşamamak adına numunelerin mengene yüzeyinden çıkan bölümleri çelik saclarla desteklenerek işlenmiştir.



Şekil 3.39 Ham numune geometrileri



-

Şekil 3.40 Test numunesi boyutlarına işlenmiş hali

3.7 Malzeme Karakterizasyonu

Üretilen MMK malzemelerin özelliklerini belirlemek için, gözeneklilik testi, Brinell sertlik testi, mikro sertlik testi, basma testi ve 3 noktadan eğme testi olmak üzere 5 farklı test yapılmıştır ve aşağıda bu testler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

3.7.1. Gözeneklilik testi

Bu çalışmadaki üretim metodunun asıl amacı gözenekli ve mukavemetli malzeme elde etmektir. Bu çalışmada kullanılan CuSn10 endüstride yatak malzemesi olarak kullanılır. Çünkü bronz kendi bünyesinde gözenek ihtiva eder. Dolayısıyla CuSn10'un yoğunluğu değerlendirilirken içindeki boşlukla beraber değerlendirileceğinden, yoğunluğu gözeneksiz bronzdan daha düşüktür. Döküm yoluyla elde edilen bronz çubuğun içerisinde bulunan gözenekler şekil 3.41'de gösterilmektedir. Bu gözeneklere yağ emdirilerek kaymalı yatak olarak kullanılabilir.



Şekil 3.41 Ham CuSn10' un içerisindeki gözenekler

Yoğunluğu bilinmeyen katı malzemelerin yoğunlukları Arşimet prensibi ile bulunabilir. Arşimet yöntemi en genel anlamda yoğunluğu bilinen bir sıvının yoğunluğu bilinmeyen bir maddenin yoğunluğunun bulunmasında kullanılmasıdır. Bu yöntem gerek karmaşık geometrili malzemelerin yoğunluk ölçümünde gerekse gözenekli malzemelerin yoğunluklarının ölçülmesinde kullanılabilir. Yoğunlukların bulunmasında şekil 3.42'de gösterilen Arşimed terazisi kullanılmıştır.



Şekil 3.42 Arşimed Terazisi

Yoğunluğu tespit edilecek malzeme öncelikle daha önceden kalibrasyonu yapılmış hassas terazide tartılır ve ağırlığı belirlenir(m_1). Daha sonra yoğunluğu bilinen bir sıvı içerisinde (saf su ρ=1000kg/m^3) tartılır ve m_2 ağırlığı belirlenir. Belirlenen ağırlıklar aşağıdaki formülde yerine koyularak yoğunluk hesaplanır. Bu hesaplama ölçüm yapılan cihaz tarafından otomatik olarak yapılmıştır ve bulunan değerler elle hesaplanarak teyit edilmiştir)

$$d_{cisim}=\frac{m_1}{(m_1-m_2)}$$

Yapılan deneylere ait veriler ve yorumlar araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde ele alınmıştır.

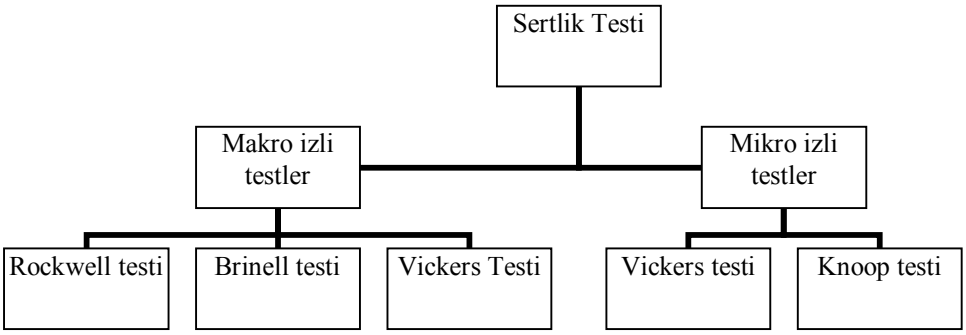
3.7.2 Sertlik testi

Sertlik izafi bir kavramdır ve en temel anlamda malzemenin sürtünmeye, çizmeye, kesmeye ve plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tarif edilebilir. Malzemeler üzerinde yapılan en genel deney sertliğin ölçülmesidir. Bunun başlıca sebepleri;

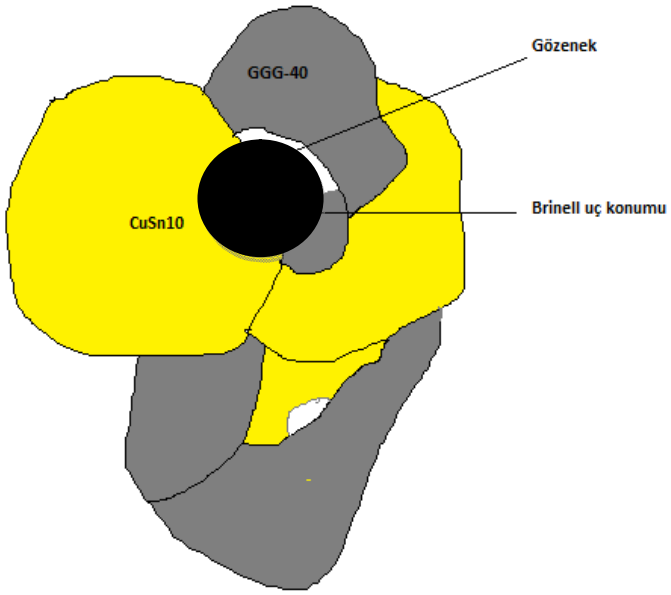
- Diğer testlere kıyasla uygulaması basittir.
- Diğerlerine oranla daha düşük maliyetlidir.
- Diğerlerine oranla daha az tahribatlıdır.
- Malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişki bulunmasıdır.
- Numune hazırlanmadan, hazır makine elemanı üzerinden ölçüm alınabilir.

Sertlik testleri en genel anlamda makro izli ve mikro izli sertlik testleri olarak ikiye ayrılır.(ASM Metals Handbook) Bu sınıflandırma çizelge 3.8'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.8 Sertlik çeşitleri(ASM Metals Handbook)



Yapılan çalışmada makro sertlik testi olarak Brinell testi, mikro sertlik olarak ta Vikers testi belirlenmiştir. Brinell sertlik testinin belirlenmiş olmasının sebebi ise malzemenin kompozit olmasıdır. İmal edilen malzeme bronz, dökme demir ve gözenek (boşluk) ihtiva ettiğinden ölçülen sertlik değerinin ortalama bir değer ifade etmesi gerekir fakat Rockwell ve Vickers test metodları piramit uç kullanır. Dolayısıyla piramidin sivri ucu bronza mı denk gelecek dökme demire ya da boşluğa mı denk gelecek tam olarak ayarlamak mümkün olmadığından küresel uç (Brinell) tercih edilmiştir. Küresel daha geniş bir alana nüfuz ettiğinden malzemede bulunan üç temel yapı hakkında ortalama bir değer vermesi beklenmiştir. (şekil 3.43)



Şekil 3.43 Küresel uç konumlandırması (temsili)

3.7.1.1 Brinell Sertlik Testi

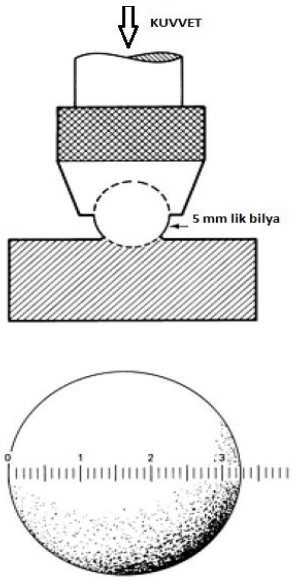
Belirli bir çapta bilya ile, bir malzemenin yüzeyine belirli bir süre sabit bir yükle bastırılması neticesinde oluşan iz büyüklüğü ile hesaplanan bir değerdir.(Kayalı, Ensari, Dikeç 1990). Oluşturulan iz büyüklüğü, yük ve bilya çapına bağlı bir amprik bağıntı ile Brinell sertlik değeri (BSD) hesaplanır.

$$HB = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

D: Bilya çapı (mm)

d: İz çapı (mm)

P: Yük (kg)

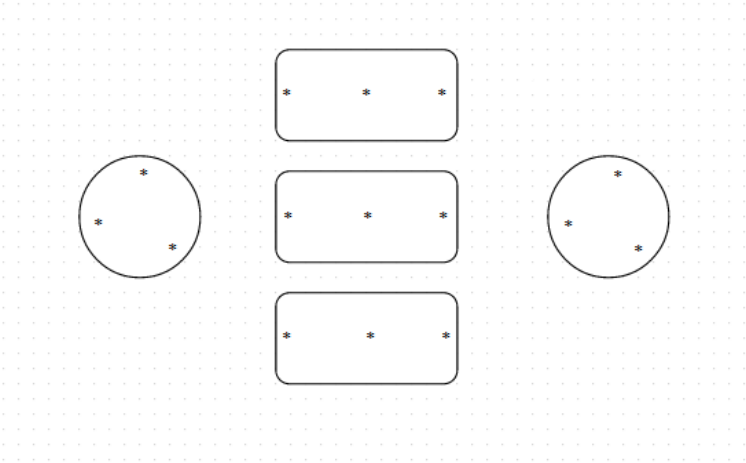


Şekil 3.44 Brinell çalışma şeması

Hesaplanan değerin hassasiyetini artırmak için iz büyüklüğüne hem yandan hem de üstten çizilen teğetlerle d_1 ve d_2 olmak üzere iki farklı çap belirlenir. Sonra bu çapların ortalaması alınarak yukarıdaki formülde yerin koyulur ve sertlik değeri hesaplanır.

Üretilen malzemenin kaotik bir yapısı olması sebebiyle (talaş muhteviyatının ve yöneliminin farklı olması) üretilen malzemenin anizotropik olması beklenebilir. Dolayısıyla malzeme yüzeyi üzerinde noktadan noktaya değişen mekanik özellikleri tespit etmek ve malzemenin mukavemeti açısından bir fikre sahip olmak için brinell sertlik testine ihtiyaç duyulmuştur.

Brinell sertlik testleri teknik ısıl işlem firmasında işinde uzman teknisyenler yardımıyla yapılmıştır. Ölçümler hem prizmatik numuneler için hem de silindirik numuneler için ayrı ayrı yapılmıştır. Silindirik numuneler için 540, prizmatik numuneler için 108 olmak üzere toplam 648 ölçüm yapılmıştır. Test neticesinde oluşan izin büyüklüğü ışık mikroskobu ile ölçüldüğü için ayrıca küresel ucun istenilen yüzeye temasını sağlamak için yüzey kalitesinin iyi olması gerekir. Bu sebeple ölçümler yapılmadan önce yüzeyler taşlama cihazlarıyla parlatılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.45 Silindirik numune sertlik şeması

Yukarıdaki Şekil 3.45'de silindirik numuneler için yapılan deneyin ölçüm noktaları gözükmektedir. Silindirik numunenin alt ve üç yüzeyinden üçer tane yan yüzeylerden de aynı hat üzerinde üçer tane olmak üzere 9 ölçüm yapılmış ve noktaların konumları birbirlerine 120˚C olacak şekilde belirlenmiştir. Böylelikle tüm geometrinin mekanik özelliği hakkında homojen bir sonuç elde edilebileceği ön görülmüştür. Elde edilen değerler önce bölgesel olarak kendi üçlü gruplarında, daha sonra global olarak numunenin tamamında ortalamaları alınmış ve standart sapmaları tespit edilerek kıyaslanmıştır. Silindirik numunenin hem alt yüzeylerinin hem de üst yüzeylerinin kontrol edilmesinin sebebi izostatik preslemenin hem altta hem üstte gerçekleşip

gerçekleşmediği hakkında fikir sahibi olmak içindir. (Sertlik profilinin kesit boyunca değişmediğini gözlemlemek için) İki yüzeyde de benzer sertlik değerlerinin çıkması sebebiyle prizmatik numunelerin tek yüzeyi kontrol edilmiştir.

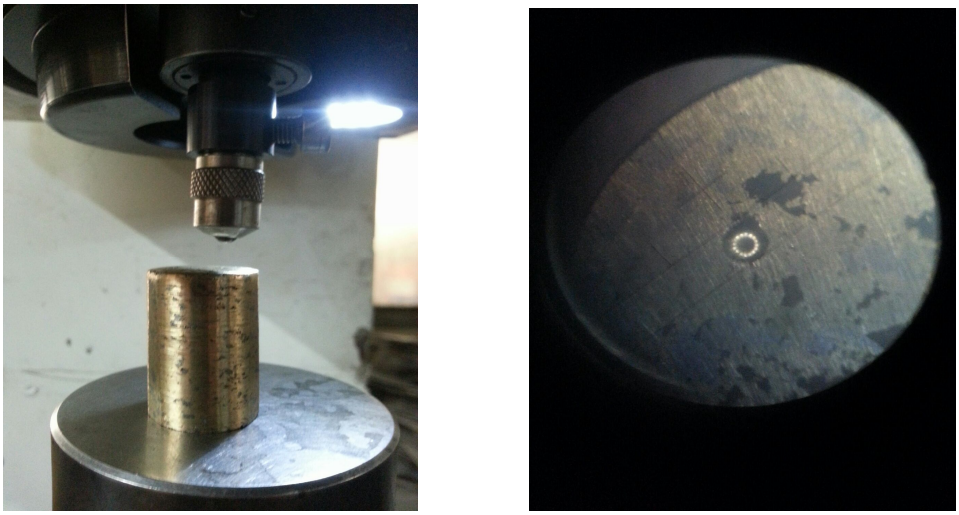


Şekil 3.46 Prizmatik numune sertlik şeması

Yukarıdaki şekil 3.46'da ise prizmatik numunenin sertlik ölçümü yapılan noktaları gösterilmiştir. Bu üç noktadan sertlik ölçümü yapılarak ortalaması ve standart sapması belirlenmiştir.



Şekil 3.47 Brinell sertlik cihazı



Şekil 3.48 Ölçümlere ait mikroskop görüntüleri

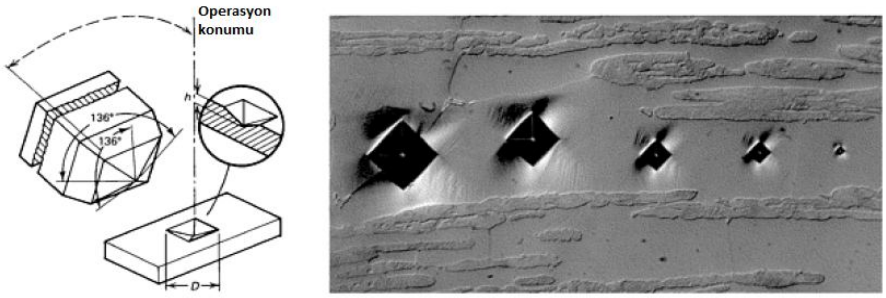
Deneyler oda sıcaklığında yapılmıştır ve yük 250 kgf olarak belirlenmiştir. Kullanılan Brinell sertlik cihazı şekil 3.47'de gösterilmektedir. Yük 30 sn. boyunca tatbik edilmiş daha sonra kaldırılmıştır (kompozit malzemelerin nispeten daha yumuşak ve gözenekli olması münasebetiyle bu süre 30 sn. olarak tayin edilmiştir). Kullanılan bilya çapı kullanılan talaşlara göre seçilmiştir. Kompozit malzemede kullanılan talaşlar 1mm-2mm lik elekler arasında kalan talaşlar olduğundan, iki büyük (yaklaşık 2mm lik) talaşın bir araya gelmiş olduğu ve gözenek içeren noktanın tamamını tarayabilecek en uygun ucun 5 mm' lik uç olduğu belirlenmiştir.

Yapılan deneylerin sonuçlarında oluşan iz çapları (d_1 ve d_2 den hesaplanan d_{ort}) ile deneyde kullanılan 5 mm'lik bilye çapı (D) arasındaki oranın (d_{ort}/D), yapılan deneylerin güvenilirliği açısında 0.2-0.7 aralığında olması gerekir. Ölçümler neticesinde elde edilen değerlerin bu aralıkta olduğu tespit edilmiştir. Bu oranın en küçük ve en büyük iz çapları için sırasıyla, 0.39 ve 0.58 olduğu görülmüştür.

Yapılan deneylere ait sonuçlar ve yorumlar araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde ele alınmıştır.

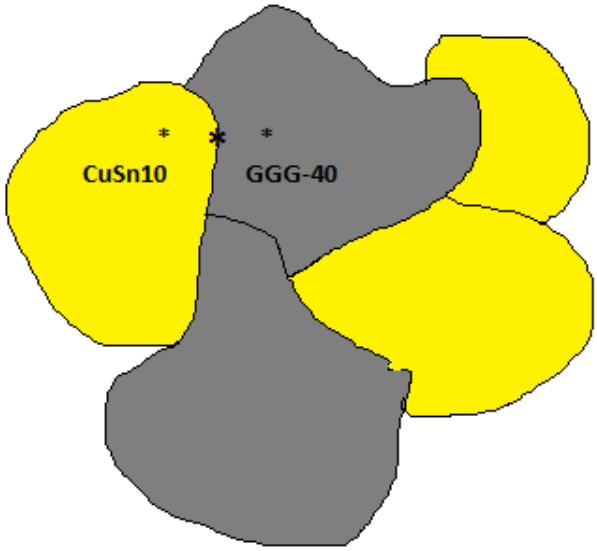
3.7.1.2 Mikro vikers sertlik testi

Mikro Vikers testi 136˚ lik kare tabanlı elmas piramidin yüzeye batması ile oluşan ize göre sertlik belirlenir. Endüstride ince sacların, ve yüzey kaplamalarının sertliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir (Kayalı, Ensari, Dikeç 1990).



Şekil 3.49 Mikro Vikers piramit ve ucun numune üzerindeki görüntüsü (temsili)

Bu çalışma da kullanılmasının sebebi ise dökme demir ve bronz talaşlarının birleşim noktalarının kalitesini tespit etmek ve dar bir bölge içerisinde ortalama sertlik değerini tespit etmek içindir. Piramit uç birleşim noktalarına getirilerek hem silindirik hem de prizmatik numunelerden üçer tane ölçüm alıp bunların da ortalamalarını hesaplayarak sfero ve bronz arasındaki birleşimin kalitesi ve ölçüm alınan bölgenin ortalama mikro sertlik değeri belirlenmiştir.



Şekil 3.50 Mikro vikers piramit uç konumu

Yukarıda Şekil 3.50'de gözüktüğü gibi talaşların birleştiği bir noktanın sağındaki GGG-40 üzerinden, solundaki bronz üzerinden ve birleşim noktası üzerinden birer ölçüm alınmış ve birleşim bölgesinin ortalama sertlik değeri elde edilmiştir. Daha

sonra ortalamaların standart sapmaları hesaplanarak numunelerin mikro sertlik profilleri elde edilmiştir.

Deneyler Selçuk Üniversitesi Mekanik Mest Laboratuvarında bulunan Bulut Makine marka cihaz (şekil 3.51) ile yapılmıştır.



Şekil 3.51 Mikro vikers cihazı

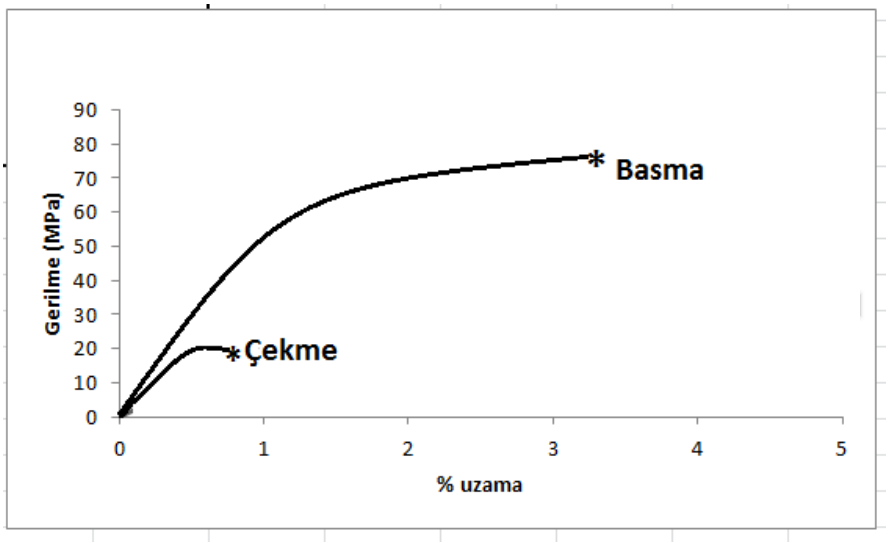
Ölçümlerin tamamı mikroskop ile yapıldığından, yüzeyler metalografi işlemlerine tabi tutularak hazırlanmıştır. Daha sonra cihazın tablasına yerleştirilmiş ve ölçüme başlanmıştır. Ölçümlerde 100 gramlık yük 20 sn uygulanmıştır. Yük tespitinde dikkat edilen iki önemli nokta vardır. Birincisi ölçüm yapılan noktanın altında yer alan gözeneklerin ölçüm değerlerini saptırması, diğeri ise ölçüm neticesinde oluşan iz büyüklüğünün ölçülmek istenen sınırlar içerisinde kalmasıdır.

Ölçümler sırasında piramit ucun ölçüm alınan bölgeler üzerinde konumlandırılması konusunda bazı problemler yaşanabilmektedir. Ölçüm alınan bölgenin oldukça küçük olması ve cihazın kontrol mekanizması iğnenin kontrolünü ve konumlandırılmasını zorlaştırmaktadır.

Yapılan deneylere ait veriler ve yorumlar araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde ele alınmıştır.

3.7.3. Basma testi

Basma deneyi işlem olarak çekme testinin tam tersi şeklinde tanımlanabilir. Endüstride kullanılan birçok materyal anizotropik davranış gösterir. Bu anizotropi sebebiyle, malzeme mukavemeti kuvvetin uygulandığı yöne bağlı olarak değişir. Dolayısıyla malzemeye uygulanan testin malzemeye uygun olarak seçilmesi gerekir. Beton, ahşap, dökme demir, bronz gibi malzemelerin basma doğrultusundaki mukavemeti çekme doğrultusundan daha büyük olduğu için bu tip malzemelerde çekme testi yerine basma testi kullanılır. Mukavemet ölçümü ile birlikte malzeme sünekliğide uygulanan teste göre değişir.



Şekil 3.52 Gri dökme demirin basma ve çekme deneyleri ile elde edilen mühendislik -gerilme ve uzama diyagramları

Üretilen kompozit malzemenin bileşenlerinin ikisi de gevrek malzeme olduğundan ve basmaya karşı zorlandığından (yatak malzemesi olarak) basma testi yapılmıştır.

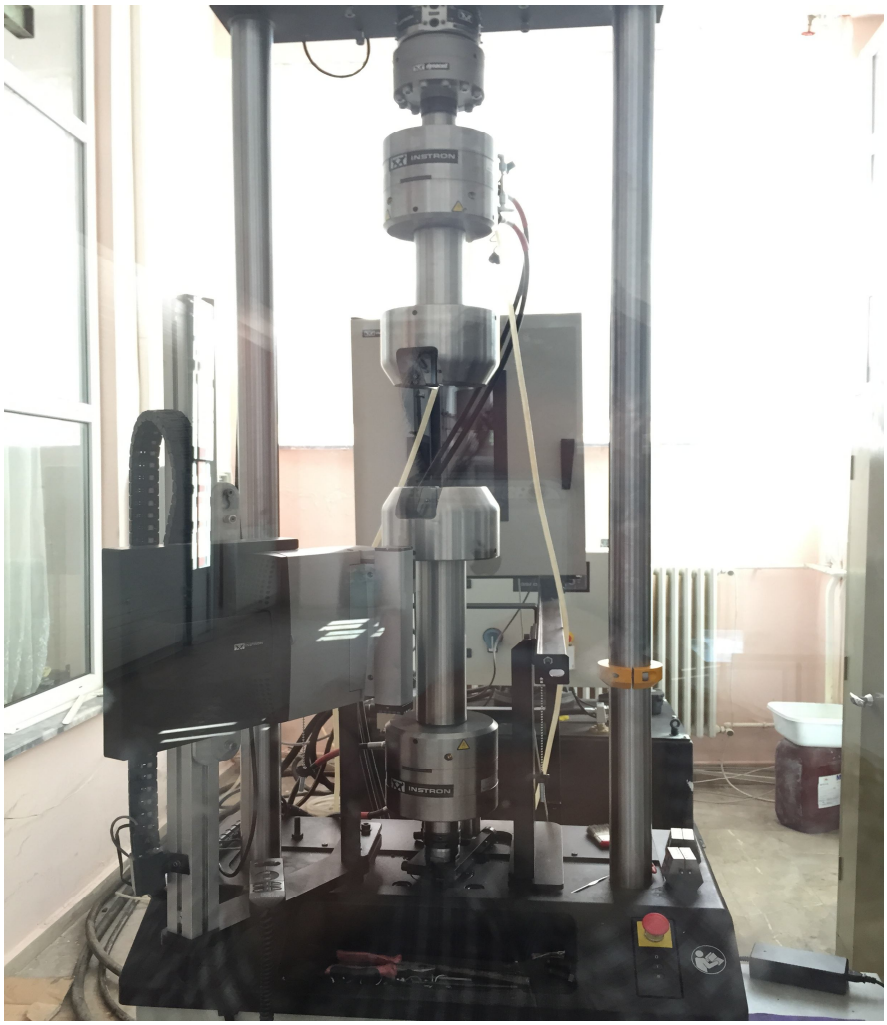
Deneyler ASTM (E9-89a) standartlarına göre, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekanik Laboratuvarlarında, oda sıcaklığında, Instron 8801 marka 100 kN luk test cihazı ile yapılmıştır. (Şekil 3.53)

Numune geometrisi çap Ø15 mm, boy l=25 mm olarak belirlenmiştir. Basma çenelerinin ilerleme hızı V= 2 mm/s olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyin güvenilirliği açısından her bir numuneden üçer adet üretilmiş ve toplamda 108 adet silindirik numunenin

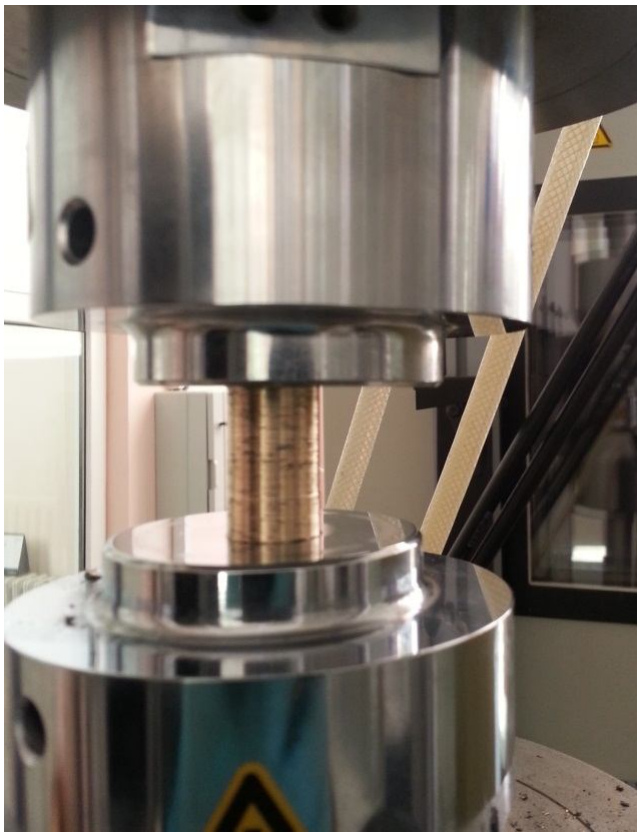
basma testi gerçekleştirilmiştir (şekil 3.54). Basma çenesi ile numune arasındaki sürtünmeyi en aza indirmek için yüzeye grafit serpilmiştir.

Yapılan deneyler neticesinde cihaz uzama, basma gerilmesi, şekil değiştirme, kuvvet verilerini vermiştir. Bu veriler kullanılarak tokluk, rezilyans, gerçek gerilme, gerçek şekil değiştirme, akma mukavemeti, sekant modülü değerleri çeşitli bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır.

Yapılan deneylere ait veriler ve yorumlar araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde ele alınmıştır.



Şekil 3.53 Basma Cihazı



Şekil 3.54 Basma testi

3.7.4. Üç noktadan eğme testi

Eğme deneyi en genel anlamda, iki desteğe serbest olarak oturtulan silindirik veya prizmatik numunenin, yön değiştirmeksizin ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değiştirmesidir. Bu deney neticesinde eğilme momenti, eğilme miktarı (sehim) , eğilme kuvveti gibi değerler bulunabilir. Deneyler genellikle kırılgan ve gevrek malzemeler için uygulanır. Çekme testine göre daha basit ve düşük maliyetli uygulanabilir.

Deneyi yapılacak numuneye bir kuvvet uygulandığında, numune kesitinin bir kısmında basma gerilimi, kesitin kalan kısmında çekme gerilimi meydana gelir. Kompozit malzemelerin yapısındaki bileşenlerin birbirine ne ölçüde bağlandığını incelemek için malzemeler çekme yüküne maruz bırakılmalıdır. Üretim metoduna ve malzeme yapısına bağlı olarak çekme numunesine elverişli geometri oluşturulamaması durumunda eğme testi tercih edilebilir. Çünkü eğme testinde de yukarıda açıklandığı gibi malzemeye çekme yükü uygulanmış olur.

Deneyler Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kompozit malzeme laboratuvarında bulunan instron 8801 marka cihaz (şekil 3.55) ile oda sıcaklığında ve 3

mm/dk hızla yapılmıştır. ASTM (E290-97a) standardına göre yapılan deneylerde kullanılan numune geometrisi 13X13X70 mm'dir. Desteklerin yarıçapı "r" 8mm seçilmiştir. ASTM standartlarında belirtilen bağıntı kullanılarak, numunelerin yerleştirildiği destekler arası mesafe "C", 55 mm olarak hesaplanmıştır.

Deneyler güvenilirlik açısından üçer kez tekrar edilmiştir ve toplamda 108 numune deneye tabi tutulmuştur. Deneyler numunenin üretimi sırasındaki basma doğrultusuyla aynı doğrultuda yapılmıştır. Deney neticesinde oluşan maksimum yük ve sehim miktarları anlık olarak kaydedilmiştir. Elde edilen verilere göre kuvvet-yer değiştirme grafikleri çizilmiştir.

Deney sırasında numunelerin büyük çoğunluğunda ortadan kırılma gözlenirken, bazı numunelerde sağdan ya da soldan kırılmalarda gözlemlenmiştir. Oluşan çatlakların zikzaklar çizerek ilerlediği tespit edilmiştir. (şekil 3.56)



Şekil 3.55 Üç noktadan Eğme testi



Şekil 3.56 Ham numune ve kırık numune görüntüsü

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, mekanik testler neticesinde elde edilen verilerin ve mikro yapı görüntülerinin yorumlanması yer almaktadır.

4.1. Mekanik Testlerin Sonuçları

Bu bölümde, numunelere uygulanan mekanik testler neticesinde elde edilen veriler grafikler ve tablolar halinde verilerek gerekli kıyaslamalar ve yorumlamalar yer almaktadır. Veriler deneylerin yapılma sırasına göre (yoğunluk, gözeneklilik, Brinell sertlik, mikro sertlik, basma ve üç noktadan eğme) yapılmıştır. Bu deneyler neticesinde elde edilen veriler; yoğunluk (g/cm^3), gözeneklilik (%), brinell sertliği (HB), mikro sertlik (Hv), basma mukavemeti (σ_b), rezilyans(kJ/m^3), statik tokluk (J/m^3), bağıl sekant modülü (MPa/MPa), epsilon final (mm/mm), maksimum kuvvet (N) dir.

4.1.1. Gözeneklilik testi sonuçları

Üretimi tamamlanan metal matrisli kompozit malzemelerin yoğunlukları ölçülmüştür. Yoğunluk aynı zamanda gözenekliliğin bir yansıması olduğu için oldukça önemli bir parametredir. Silindirik ve prizmatik numuneler için ölçülen yoğunluk değerleri çizelge 4.1 ve çizelge 4.2' de sunulmuştur. Tablolarda belirtilen değerlerin grafikleri şekil 4.1 ve 4.2 de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 ve çizelge 4.2' de görüldüğü gibi genel itibariyle bronz oranın azalmasıyla yoğunluk değerlerinde düşüş elde edilmektedir. Sıcaklık ve basınç değerlerinin artışı da elde edilen yoğunluk değerlerinin artmasına sebep olmuştur. Sıkıştırma basıncının artışı talaşların birbirlerine daha çok yaklaşmasına ve talaşlar arasında bulunan boşlukların azalmasına sebep olmaktadır. Sıcaklık artışı ise talaşların yumuşamasına ve neticede birbirlerine temas eden talaşların temas yüzeylerinin artmasına ve birleşmekte olan talaşların aralarında kalan boşlukların azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum da yoğunluğun artmasına sebep olmaktadır.

Kütle halinde bulunan CuSn10 ve GGG40 talaşlarının yoğunlukları bilinmektedir. Metal matris kompozitlerde kullanılan bileşenlerin oranları ve karışım kuralı (rule of mixture) kullanılarak herhangi bir kompozisyona sahip metal matris kompozit malzemenin teorik olarak sahip olması gereken yoğunluk değeri hesaplanabilir. Belirtilen yaklaşım kullanılarak elde edilen teorik yoğunluk değerleri ve

deneysel olarak ölçülen yoğunluk değerleri kullanılarak metal matris kompozitlerde bulunan boşluk miktarı tespit edilmiş, çizelge 4.3 ve çizelge 4.4' de sunulmuştur. Çizelge 4.3 ve çizelge 4.4 de belirtilen değerlere ait grafikler şekil 4.3 ve 4.4 te gösterilmektedir. Daha düşük basınçlarda sıkıştırılan prizmatik numunelerde yoğunluk değerlerinin silindirik numunelere oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Buna paralel olarak gözeneklilik değerleri de silindirik numunelerde daha yüksek değerlerdedir.

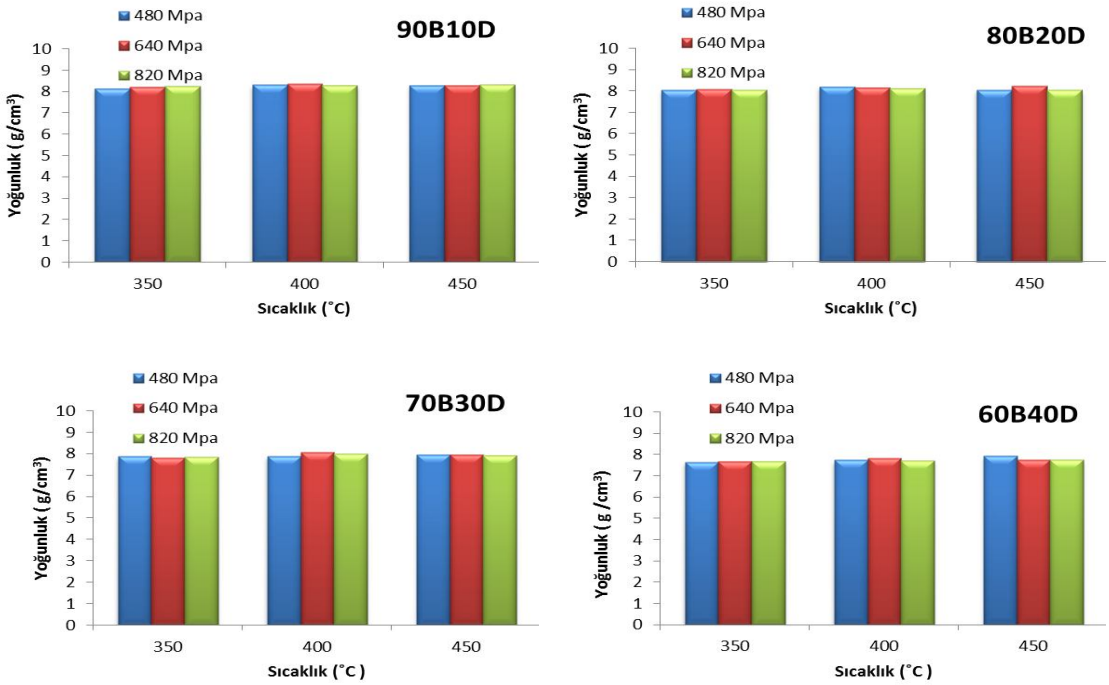
Üretilen metal matrisli kompozit malzemeler üzerine yağ emme kapasitesi üzerine test uygulanmıştır. Numuneler 70˚C yağ içerisinde ve 700 mbar basınç altında iki saat süreyle bekletilmiştir. Ancak numunelerin dış yüzeylerinin ciddi bir biçimde plastik deformasyona uğraması sebebiyle açık gözeneklerin birçoğunun kapanmış olması sebebiyle malzemede ciddi bir yağ emme söz konusu olmamıştır.

Çizelge 4.1 Çeşitli üretim parametreleri kullanılarak elde edilen silindirik MMK malzemelerin yoğunluk değerleri

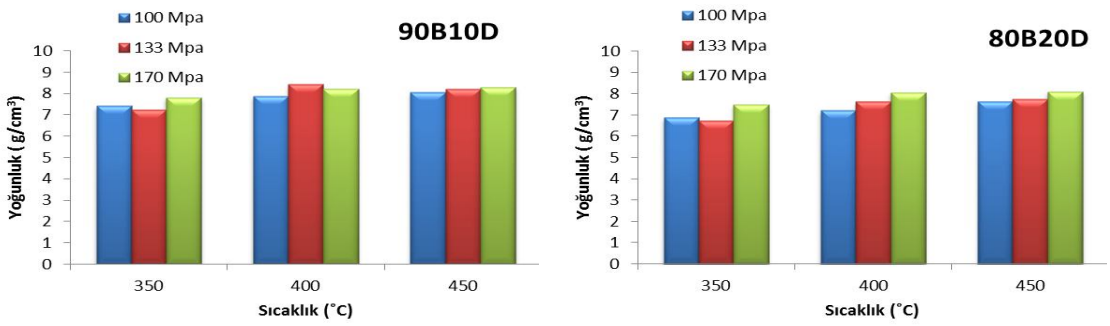
	Yoğunluk (gr/cm^3)								
Basınç (MPa)	**480**			**640**			**820**		
Sıcaklık (˚C)	**350**	**400**	**450**	**350**	**400**	**450**	**350**	**400**	**450**
90B10D	8,141	8,313	8,302	8,216	8,377	8,302	8,265	8,276	8,332
80B20D	8,050	8,202	8,053	8,070	8,165	8,22	8,046	8,123	8,033
70B30D	7,873	7,884	7,938	7,824	8,052	7,95	7,835	8,009	7,923
60B40D	7,655	7,736	7,926	7,667	7,839	7,748	7,661	7,707	7,745

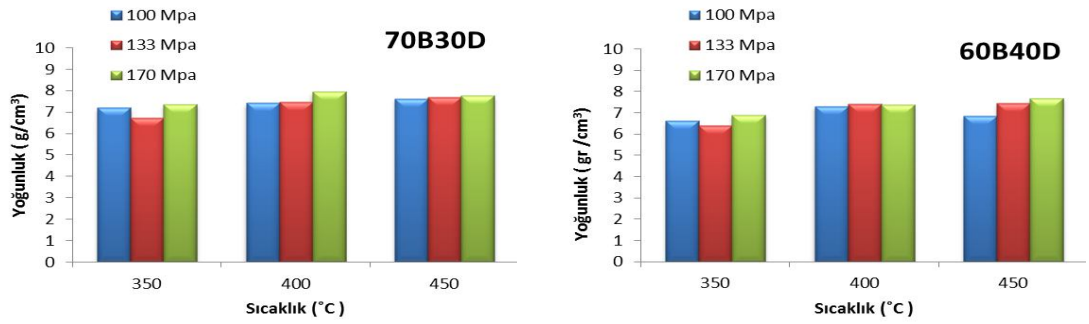
Çizelge 4.2 Çeşitli üretim parametreleri kullanılarak elde edilen prizmatik MMK malzemelerin yoğunluk değerleri

	Yoğunluk (gr/cm^3)								
Basınç (MPa)	**100**			**133**			**170**		
Sıcaklık (˚C)	**350**	**400**	**450**	**350**	**400**	**450**	**350**	**400**	**450**
90B10D	7,412	7,89	8,047	7,228	8,432	8,21	7,815	8,218	8,301
80B20D	6,866	7,218	7,652	6,746	7,651	7,742	7,495	8,052	8,103
70B30D	7,201	7,426	7,634	6,738	7,456	7,701	7,374	7,951	7,766
60B40D	6,625	7,309	6,856	6,406	7,429	7,441	6,893	7,363	7,689



Şekil 4.1 Silindirik numunelerin yoğunluk değerleri





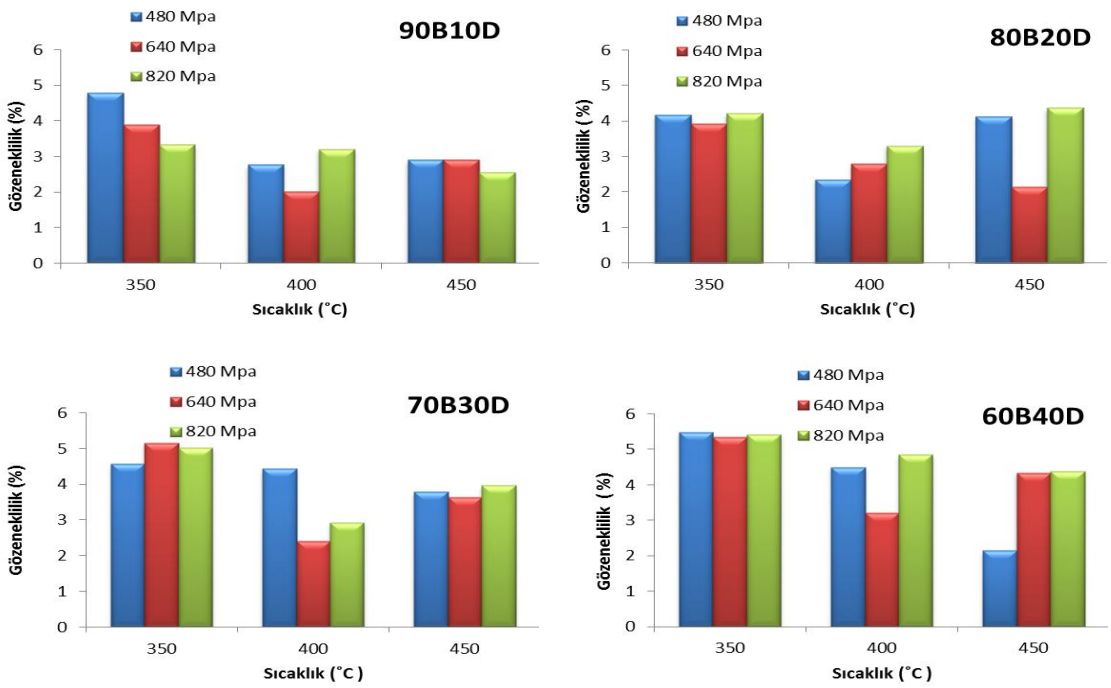
Şekil 4.2 Prizmatik numunelerin yoğunluk değerleri

Çizelge 4.3 Çeşitli üretim parametreleri kullanılarak elde edilen silindirik MMK malzemelerin gözeneklilik değerleri

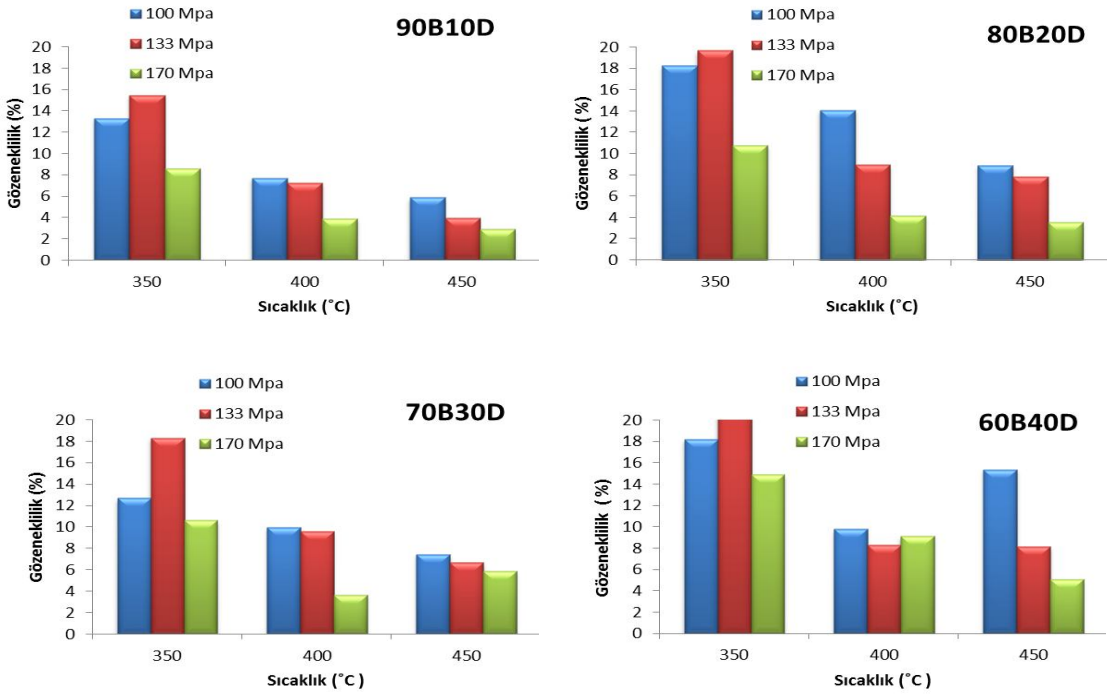
	% Gözeneklilik								
Basınç (MPa)	**480**			**640**			**820**		
Sıcaklık (˚C)	**350**	**400**	**450**	**350**	**400**	**450**	**350**	**400**	**450**
90B10D	4,783	2,772	2,900	3,906	2,023	2,900	3,333	3,205	2,549
80B20D	4,166	2,357	4,131	3,928	2,797	2,143	4,214	3,297	4,370
70B30D	4,569	4,436	3,782	5,163	2,400	3,636	5,030	2,921	3,963
60B40D	5,493	4,494	2,148	5,345	3,222	4,346	5,420	4,852	4,383

Çizelge 4.4 Çeşitli üretim parametreleri kullanılarak elde edilen prizmatik MMK malzemelerin gözeneklilik değerleri

	% Gözeneklilik								
Basınç (MPa)	**100**			**133**			**170**		
Sıcaklık (˚C)	**350**	**400**	**450**	**350**	**400**	**450**	**350**	**400**	**450**
90B10D	13,310	7,719	5,883	15,462	7,380	3,976	8,596	3,883	2,9123
80B20D	18,260	14,071	8,905	19,690	8,916	7,833	10,774	4,143	3,5357
70B30D	12,710	9,988	7,466	18,327	9,624	6,654	10,618	3,624	5,8667
60B40D	18,210	9,765	15,36	20,914	8,284	8,136	14,901	9,099	5,0741



Şekil 4.3 Silindirik numunelerin gözeneklilik testi sonuçları



Şekil 4.4 Prizmatik numunelerin gözeneklilik testi sonuçları

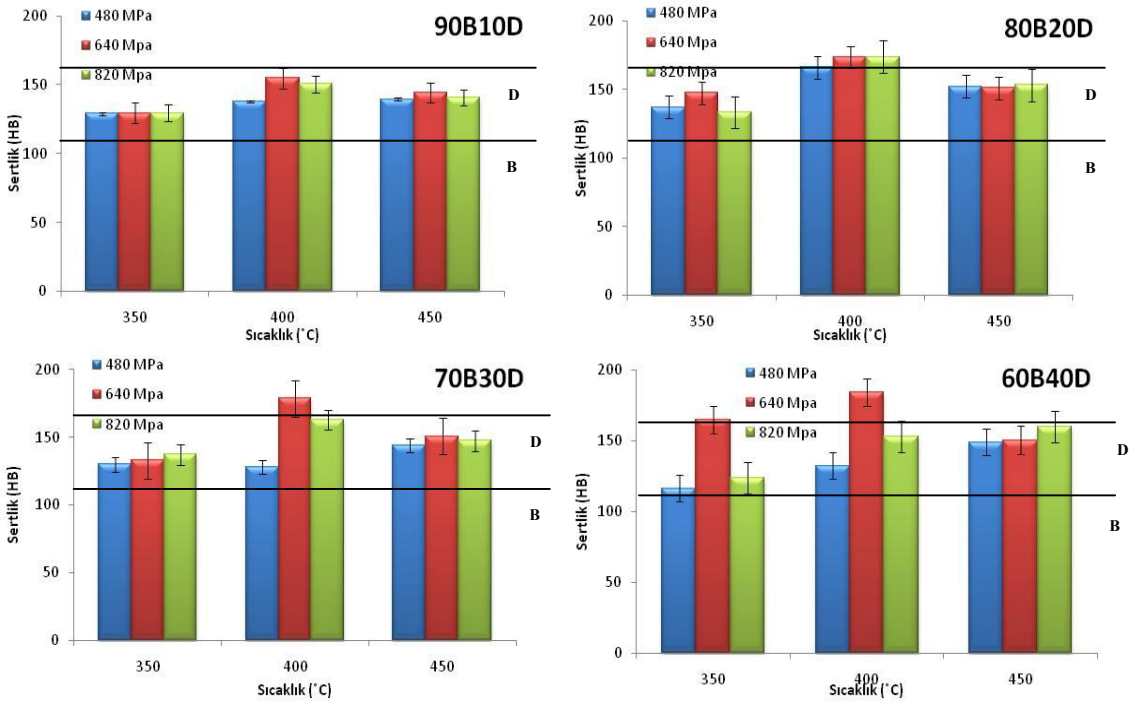
4.1.2. Sertlik testi sonuçları

***Brinell testi sonuçları**

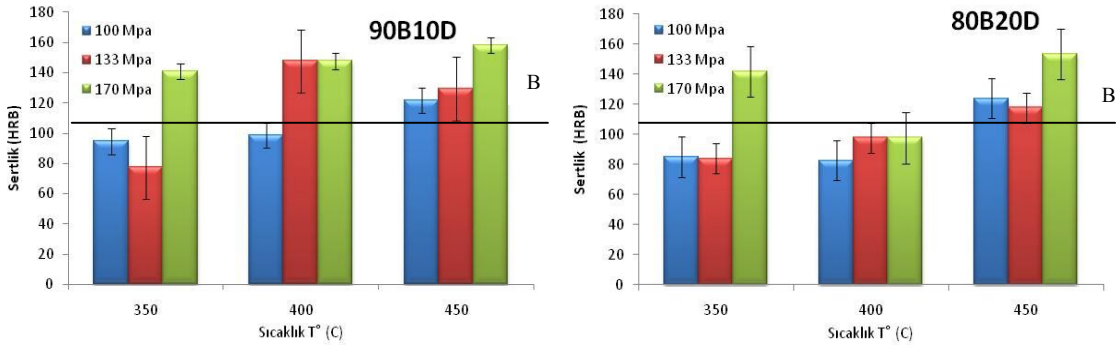
Şekil 4.5'de silindirik numunelerden alınan şekil 4.6'da ise prizmatik numunelerden alınan Brinell sertlik ölçümlerinin sonucu görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi farklı kompozisyonlara sahip MMK malzemelerin yüzeylerinden ölçülen sertlik değerleri proses parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Genel itibariyle proses parametrelerinin sertlik değerlerine etkisi farklı kompozisyonlardaki MMK malzemelerde benzerdir. Proses sıcaklığının 350 ˚C olduğu durumlarda en düşük sertlik değerleri elde edilmiştir. Silindirik numunelerde sıcaklığın 400 ˚C olduğu üretim prosesinde ise genel olarak en yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Sıcaklığın 450 ˚C olduğu üretimlerde ise sertlik yeniden düşüş trendi göstermektedir. Sıcaklık, üretim prosesi için oldukça kritik bir öneme sahiptir. Talaşların yumuşama derecesi ve aynı zamanda plastik deformasyona karşı dirençleri sıcaklıkla ilişkilidir. Dolayısıyla hem CuSn10 talaşlarının GGG40 talaşlarını tam bir biçimde kaplaması hem de iyi bir yapısal bütünlük elde edilebilmesi için en uygun sıcaklığın belirlenmesi çok önemlidir. Sıcaklığın gereğinden yüksek olması plastik deformasyona olan direnci azaltmakta ve neticesinde deformasyon sertleşmesiyle mukavemet kazanılmasına engel olmaktadır. Sıcaklığın gereğinden düşük olması durumunda ise yeterli derecede plastik şekil değişimi oluşmamakta ve neticesinde yeterli yapısal bütünlük ve deformasyon sertleşmesi elde edilememektedir. Uygulanan basınç değeri de benzer etkiye sahip olup yeterli düzeyde basın uygulanmaması durumunda talaşlarda yeterli düzeyde deformasyon sertleşmesi elde edilememektedir. Şekilde görüldüğü gibi en yüksek sertlik değerleri 640 MPa basınç değerinde elde edilmiştir.

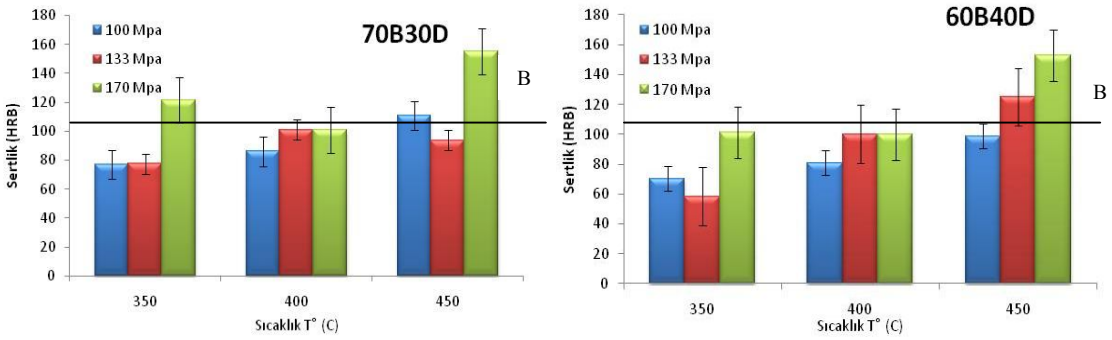
Farklı kompozisyonlardaki silindirik MMK malzemelerin sertlikleri incelendiğinde ortalama olarak 150 HB sertlik değerine kadar ulaşıldığı görülmekledir. Bu değerin kütle halindeki CuSn10 malzemenin sertlik değeri olan 107 HB değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kütle halindeki GGG40 malzemenin sertlik değeri olan 170-220 HB değerinden ise daha düşük olduğu görülmektedir. Öte yandan en yüksek sertlik değeri olarak 203 HB değeri elde edilmiştir. Bu durum üretilen MMK malzemelerin deformasyon sertleşmesiyle mukavemet kazanabildiğinin göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Prizmatik numunelerde genel itibariyle silindirik numunelerden daha düşük sertlik değerleri elde edilmiştir. Bunun temel nedeni prizmatik numunelerin silindirik numunelerden daha düşük basınçlarda sıkıştırılmış olmasıdır. Şekil 4.2 incelendiğinde basınç ve sıcaklık değerleri arttıkça sertlik değerlerinin genel olarak arttığı görülmektedir. En yüksek basınç ve sıcaklık değerlerinde en yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Bronz oranının azalmasıyla sertlik değerlerinde de düşüşler elde edilmiştir. Elde edilen sertlik değerlerinden bazıları kütle halindeki CuSn10 malzemenin sertlik değerinden daha yüksek iken, bazı parametrelerde belirtilen sertlik değerlerine ulaşılamamıştır.



Şekil 4.5 Silindirik numunelerde Brinell sertlik değerleri





Şekil 4.6 Prizmatik numunelerde Brinell sertlik değerleri

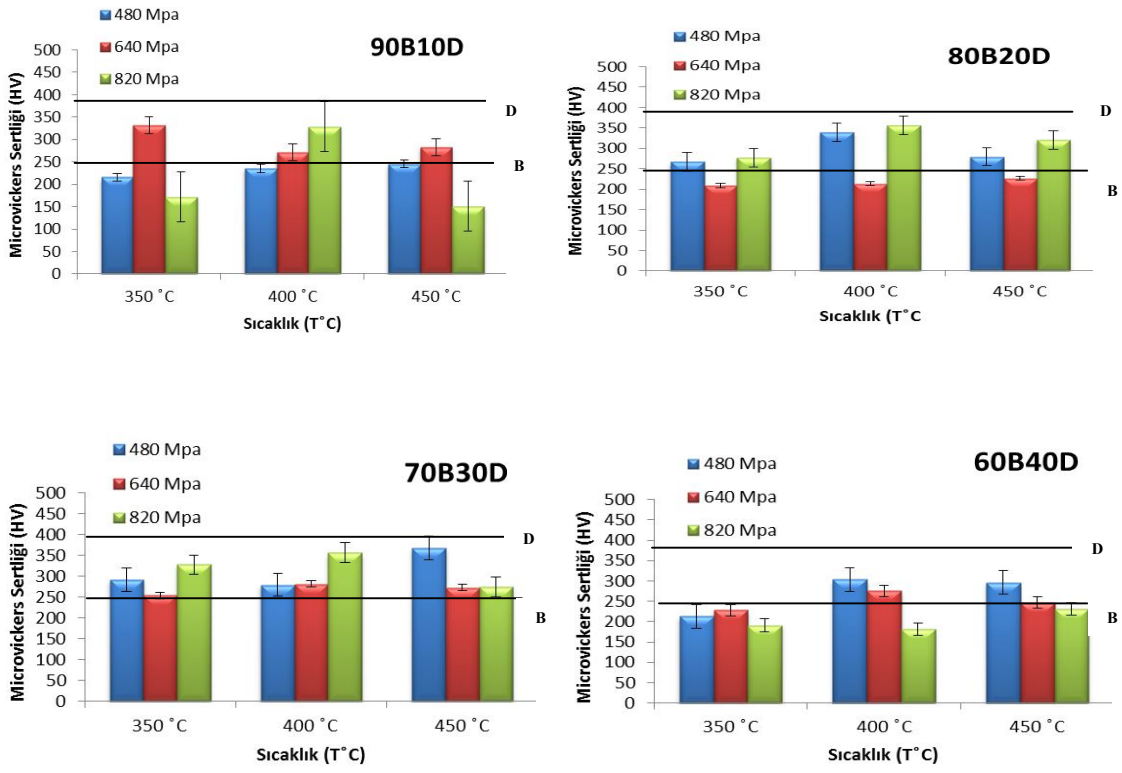
***Mikro vikers testi sonuçları**

Şekil 4.7'de silindirik numunelerden alınan şekil 4.8'de ise prizmatik numunelerden alınan mikro sertlik ölçümlerinin sonucu görülmektedir. Çizilen grafiklerde kompozisyonlar sabit tutulmuştur ve basınç ile sıcaklığın sertlik üzerine etkisi gösterilmiştir. Grafikler üzerinde bulunan iki yatay çizgiden B ile belirtilen çizgi CuSn10 malzemenin ortalama sertlik değerini, D ile gösterilen çizgi ise GGG-40 malzemenin ortalama sertlik değerini göstermektedir. Bu çizgiler elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin ham malzemelerle kıyaslanabilmesi için koyulmuştur. Grafiklerin üstlerinde bulunan çubuklar numunelerden ölçüm alıp ortalamalarının hesaplanması sonucu elde edilen standart sapmaları göstermektedir. Şekil 4.2 deki 90B10D ve 60B40D deki istisnai durumlar haricinde çok yüksek standart sapma tespit edilmemiştir. Bu durum ölçümler sonucunda mantıklı değerler elde edildiğinin göstergesidir.

Şekilde 4.3'de görüldüğü gibi silindirik numunelerde farklı kompozisyonlara sahip MMK malzemelerin yüzeylerinden ölçülen sertlik değerleri proses parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Genel trende bakıldığında numunelerden elde edilen mikro sertlik değerlerinin genellikle CuSn10'a yakın ya da CuSn10'dan daha iyi olduğu görülmektedir. Saf CuSn10 ve GGG-40'dan alınan 3'er ölçüm neticesinde elde edilen ortalama mikro sertlik değerleri sırasıyla 250 ve 393 tür. Özellikle 400° C ve üzeri sıcaklıklarda elde edilen numunelerin sertlik değerlerinin CuSn10'dan oldukça yüksek, GGG-40'a da oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen en yüksek mikro sertlik değeri 367,66 olarak tespit edilmiştir. Böylelikle bronzun sertlik değerinin % 47 artırıldığı tespit edilmiştir.

Genel olarak sertlik değerinin artışı bronz oranı artışıyla paralellik göstermektedir. Bu durum bronzun birleştirici (matris) görevini yerine getirdiğinin göstergesidir. Sertlik değerlerinin saf bronzdan yüksek çıktığı durumlarda bronzun plastik deformasyona maruz kalması sonucu sertlik değerlerinin arttığı düşünülmektedir.

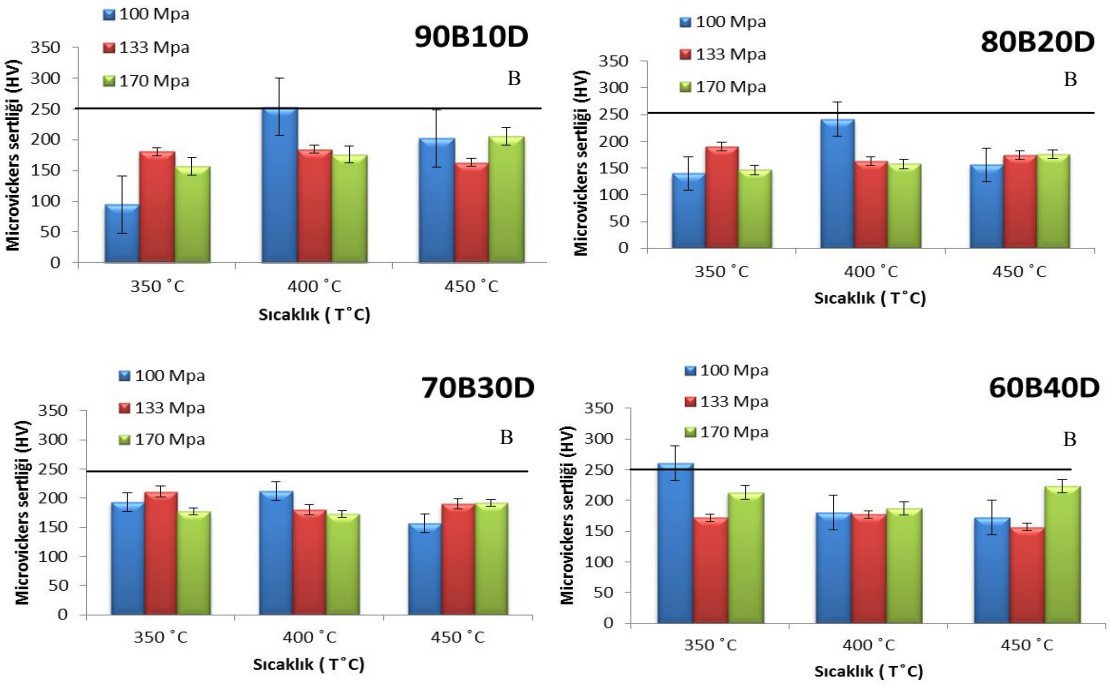
Sıcaklık ve basınç parametrelerinin sertlik profili üzerindeki etkisini incelediğimizde ortak bir sonuçtan bahsedilememektedir. Bazı istisnai durumlar olsa da genel olarak 400˚ C sıcaklıkta ve 640 MPa basınçta üretilen numunelerin sertlik değerleri birbirine yakındır. Bu durumda bu parametrelerde üretilen numunelerin sertlik profillerinin kompozisyondan bağımsız olduğu düşünülebilir. Bunun yanı sıra her ne kadar genelleyemesek te maksimum sertlikler 820 MPa basınçta üretilen numunelerde görülmüştür. Bu durumda basınç etkisinin plastik deformasyonu artırması sonucu sertliğin arttığını fakat bu plastik deformasyonun talaş formasyonuna da bağlı olması sebebiyle her zaman sağlanamadığı ve o sebeple güvenilir olamadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7 Silindirik numunelerde mikro vikers sertlik değerleri

Prizmatik numuneleri incelediğimizde ise durum silindirik numuneden biraz farklıdır. Prizmatik numunelerin üretim basınçlarının silindirik numunelerden daha

düşük olması sebebiyle sertlik profillerinin neredeyse tamamı saf bronzdan daha düşük olarak ölçülmüştür. Bu durum basınçların düşük olması sebebiyle bronzun yeterince plastik deformasyona maruz kalmadığı ve dökme demir ile bronz arasında silindirik numuneler kadar etkili bir birleşme olamadığının göstergesidir.



Şekil 4.8 Prizmatik numunelerde mikro vikers sertlik değerleri

Her ne kadar mikro sertlik testi malzeme hakkında genel bir fikir verse de batıcı ucun konumlandırılmasının zorluğunun ölçüm değerlerinin güvenilirliği hakkında soru işaretlerinin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Çünkü batıcı ucun denk geldiği nokta çok küçüktür ve tam olarak hangi yapıya (boşluk, tane sınırı, ikinci faz) denk geldiği kestirmek güçtür. Ayrıca sertlik deneyleri malzemenin bütünü hakkında değil yüzeysel bir değerlendirme sunduğu için basma deneylerinin bu anlamda daha güvenilir sonuçlar verdiği açıktır.

4.1.3. Basma testi sonuçları

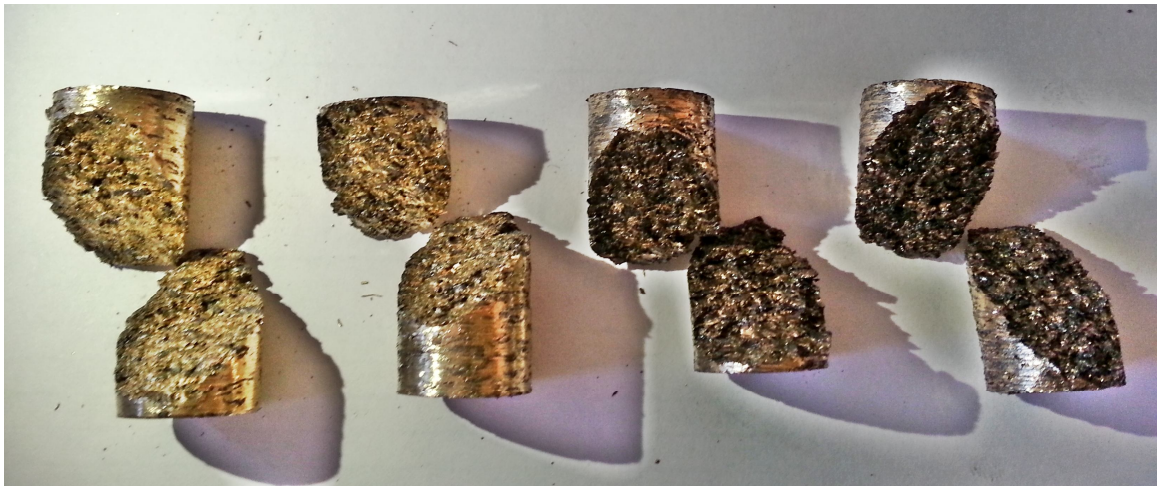
Yapılan basma deneyleri neticesinde 5 farklı parametre elde edilmiş ve değerlendirilerek aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur. Bu parametreler basma mukavemeti (σ_b), rezilyans modülü (R), tokluk, bağıl sekant modülü (S/S_0) ve epsilon

finaldir. Şekil 4.12' de maksimum basma mukavemetinin elde edildiği numunenin (sıcaklık ve basınç aynı, kompozisyonlar farklı) gerçek gerilme (σ_T) – gerçek şekil değiştirme (ε_T) grafikleri gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde malzemenin mekanik davranışı üzerine kompozisyonun çok fazla etkisinin olmadığı ve malzemelerin genel mekanik karakterlerinin benzer olduğu görülmektedir. Malzemenin teorik gerilme şekil değiştirme grafiği yerine gerçek gerilme şekil değiştirme grafiğinin kullanılmasının sebebi ise grafiğin gerçek şartlar altında yorumlanabilmesi içindir. Grafikleri incelediğimizde, kuvvet uygulanmaya başladığından itibaren malzemede elastik şekil değişimi başlar. Gözlemlenen elastik şekil değişimi malzemenin yekpare olarak (gözenekler-bronz ve dökme demir ortak olarak) şekil değiştirmesi sonucu oluşur. Akma noktasından itibaren talaşların plastik deformasyona başlaması neticesinde talaşların birleşim noktalarında bulunan gözenekler kapanmaya başlar. Bu kapanma esnasında oluşan soğuk şekil değişimi pekleşmeye neden olur ve mukavemet anlık olarak artar ve sonra tekrar düşüşe devam eder. Gözeneklerinin tamamen kapanmasıyla malzeme dolu malzeme gibi davranmaya başlar ve maksimum gerilme noktasına ulaşır ve kırılma gerçekleşir.

CuSn10 ve kompozit malzemelerin sünek davranış göstererek, en büyük kayma gerilmesinin oluştuğu 45° açılı düzlemden kırıldığı ve fıçılaşma olayının gerçekleşmediği gözlenmiştir (şekil 4.9). Numunelerin bu açı ile kırılması, yapı içerisindeki gözeneklerin ve talaşların belirli bir bölgede yoğunlaşmadan malzeme genelinde homojen dağıldığını göstermektedir. Bu durum, seçilen karıştırıcı tipinin ve karıştırma parametrelerinin homojen bir karışım sağlamak için yeterli olduğunun göstergesidir. Şekil 4.10 ve 4.11'de ise kırık yüzey görüntüleri gösterilmektedir.



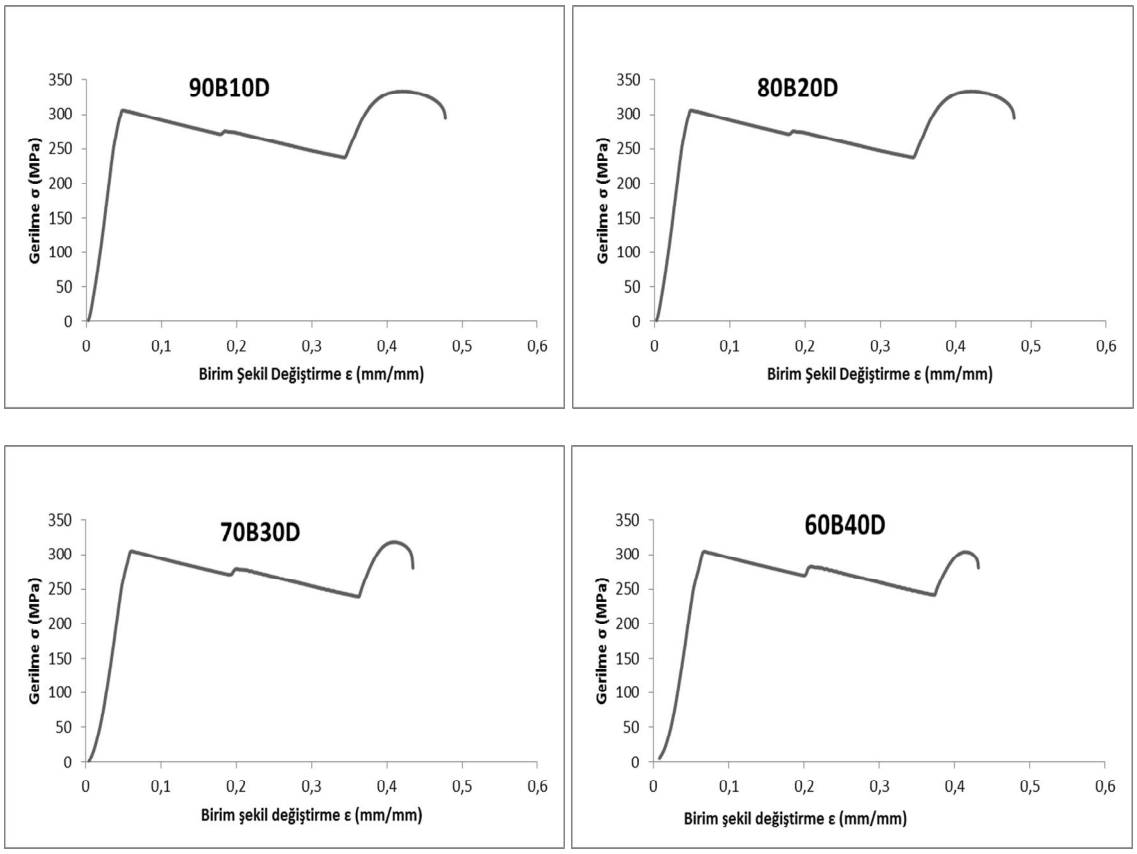
Şekil 4.9 820MPa ve 400˚C de üretilen numunelerin (%90-80-70-60 CuSn10) kırılma şekilleri



Şekil 4.10 820MPa ve 400˚C de üretilen numuneler (%90-80-70-60 CuSn10) kırılma şekilleri



Şekil 4.11 820MPa ve 400˚C de üretilen 90B10D numune kırık yüzeyi



Şekil 4.12 Eş basınç-sıcaklık değerleri için gerçek gerilme-gerçek şekil değiştirme grafikleri

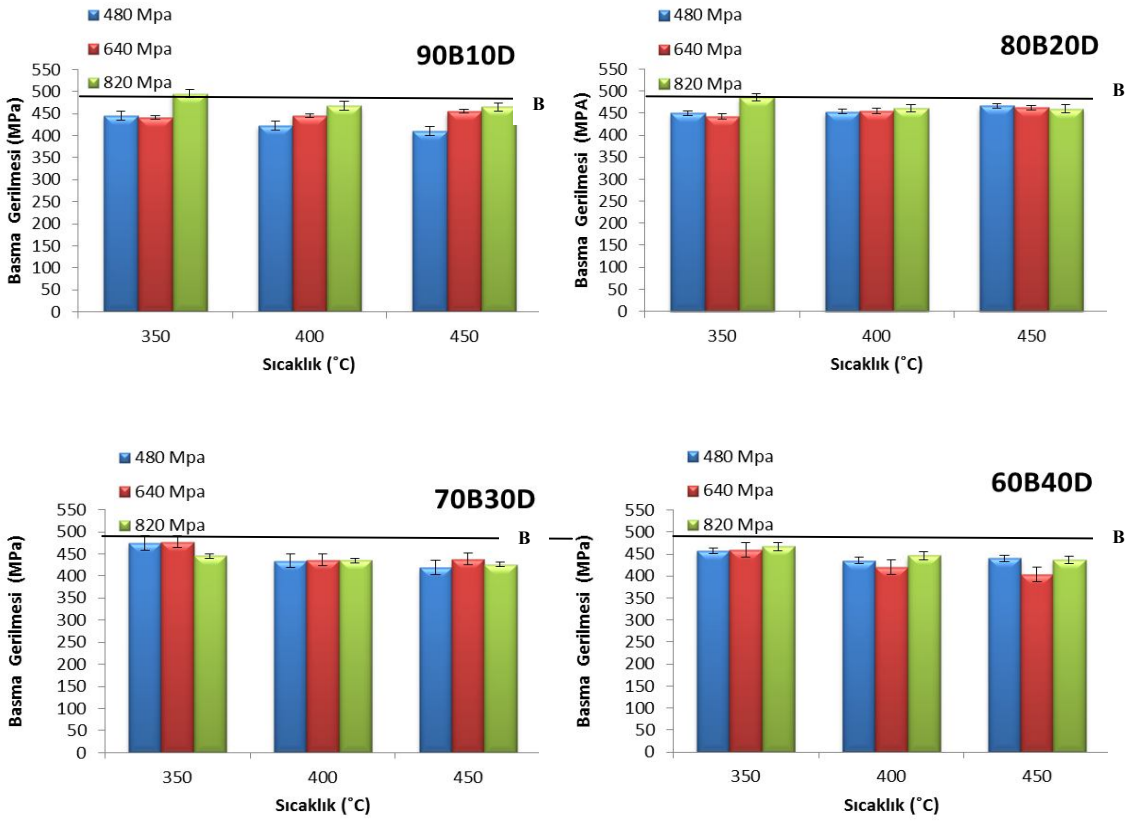
Şekil 4.13' te silindirik numunelere uygulanan basma deneyi neticesinde elde edilen basma mukavemetleri gösterilmektedir. Çizilen grafiklerde kompozisyonlar sabit tutulmuştur ve basınç ile sıcaklığın basma mukavemeti üzerine etkisi gösterilmiştir. Grafikler üzerinde bulunan ve B ile belirtilen çizgi CuSn10 malzemenin ortalama basma mukavemeti değerini göstermektedir. Bu çizgi elde edilen kompozit malzemelerin basma mukavemeti değerlerinin saf CuSn10 ile kıyaslanabilmesi için koyulmuştur.

Her ölçüm üçer kez yapılmıştır ve elde edilen verilerin kendi içlerinde ortalamaları alınarak standart sapmaları hesaplanmış ve sütun grafiklerinin üzerine eklenmiştir. Standart sapmaların çok küçük (neredeyse ihmal edilebilir) olması verilerin güvenilir olduğunu göstermektedir.

Şekilde 4.13' te görüldüğü gibi numunelerde farklı kompozisyonlara sahip MMK malzemelerin basma mukavemetlerinin proses parametrelerine bağlı olarak çok fazla değişmediği gözlemlenmektedir. Elde edilen basma mukavemetlerinin bazılarının bronzdan daha yüksek olduğu bazılarının ise bronzdan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Malzemenin basma mukavemeti, bronzun basma mukavemetinin % 82'si ile

%101'i aralığında değişmektedir. Basma mukavemetleri arasında çok fazla fark olmaması malzemenin basma mukavemetinin işlem parametrelerinden (sıcaklık, basınç, kompozisyon) çok fazla etkilenmediğini göstermektedir. Mukavemet değerlerinin bu denli yüksek olması malzeme içerisinde etkili bir birleşme olduğunun göstergesidir. Diğer bir deyişle, başlangıçta matris malzemesi görevi yapması beklenen bronz amacına ulaşarak dökme demirle efektif bir şekilde birleşmiştir. Böylelikle GGG-40 malzemenin CuSn10 için uygun bir dolgu malzemesi olduğu kanıtlanmıştır. Basma mukavemetinin malzeme içerisindeki demir oranına bağlı olarak çok fazla değişmemesi malzemenin yük altında ortak bir tepki verdiğinin göstergesidir ki bu da birleşmenin en önemli göstergelerindendir. Ölçülen en yüksek basma mukavemeti 514.34 (820 MPa -400˚C -90B10D)'dir. CuSn10 ile kıyaslandığında % 50'lik bir artış olduğu gözlemlenmektedir.

Bazı MMK malzemelerden elde edilen basma mukavemetlerinin saf CuSn10 dan yüksek olması, bronzun malzeme içerisinde plastik deformasyon göstererek mukavemetinin artması ile açıklanabilir. Mikro yapı bölümündeki görüntüler bronzun oldukça fazla plastik deformasyona uğradığını göstermektedir.

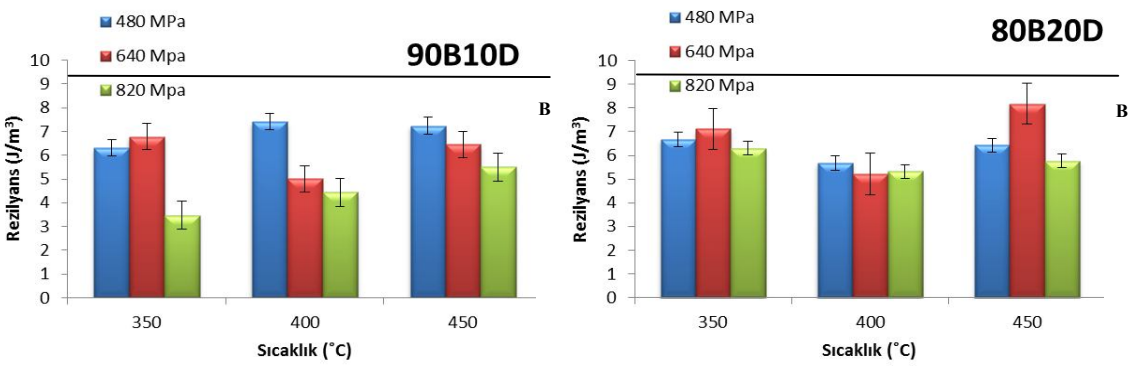


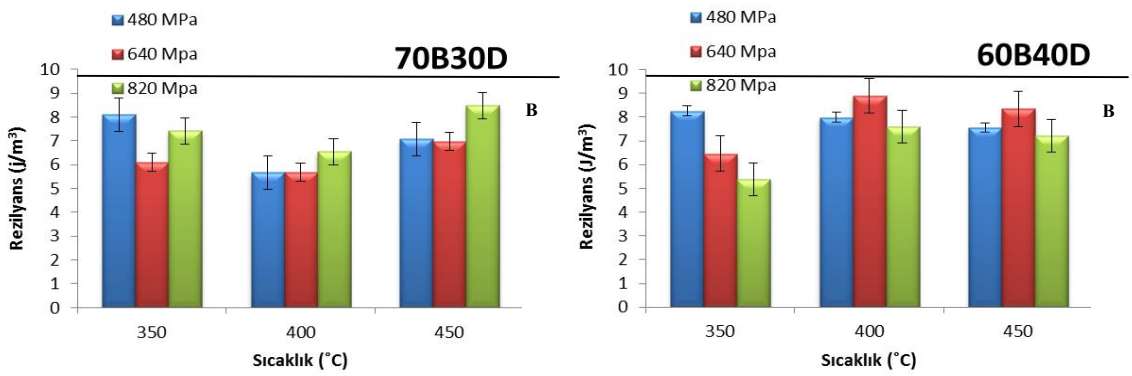
Şekil 4.13 Basma gerilmesi sonuçları

Şekil 4.14'da silindirik numunelere uygulanan basma deneyi neticesinde elde edilen rezilyans değerleri, şekil 4.15'de ise elde edilen statik tokluk değerleri gösterilmektedir. Çizilen grafiklerde kompozisyonlar sabit tutulmuştur ve basınç ile sıcaklığın rezilyans ile tokluğa etkileri gösterilmiştir. Grafikler üzerinde bulunan ve B ile belirtilen çizgi CuSn10 malzemenin ortalama rezilyans ve tokluk değerlerini göstermektedir. Bu çizgi, elde edilen kompozit malzemelerin rezilyans ve tokluk değerlerinin saf CuSn10 ile kıyaslanabilmesi için koyulmuştur.

Rezilyans modülünün tespit edilebilmesi için öncelikle akma noktasının tespit edilmesi gerekmektedir. Akma noktası 0.002 şekil değiştirmeye karşılık gelen gerilme değeri olarak tüm numuneler için tespit edilmiştir. Daha sonra eğrinin altında kalan elastik şekil değişimi esnasında malzemede depolanan enerji (rezilyans) olarak belirlenmiştir. Diğer verilerde de olduğu gibi her rezilyans değeri için üçer ölçüm alınarak ortalamaları alınmış ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Standart sapmalar değişkenlik gösterse de genel olarak çok yüksek olmadığı söylenebilir. Çalışmada kullanılan saf CuSn10'un rezilyans modülü 9.84 J/m^3 olarak tespit edilmiştir. MMK malzemeler içerisindeki maksimum rezilyans 8,5 J/m^3 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.14' da ki grafikler incelendiğinde üretilen numunelerin saf bronzun rezilyans modülünün yaklaşık %87sine ulaştığı görülmektedir. Bu durumda, bronzun elastik özelliklerini fazla düşürmeden (%13 lük bir kayıpla) geri dönüştürülebildiği ispatlanmaktadır. Elastik özelliklerin fazla değişmemesi talaşların temas noktalarındaki gözeneklerin malzeme içerisinde malzemeyle ortak bir şekilde davranabildiğinin göstergesidir. Diğer bir deyişle gözenekler malzemenin erkenden plastik bölgeye girmesini sağlamamaktadır.

Rezilyans modülü ile sıcaklık ve basınç arasında genel bir ilişki kurulamamıştır fakat sıcaklık artışıyla rezilyansın genellikle arttığı söylenebilir.

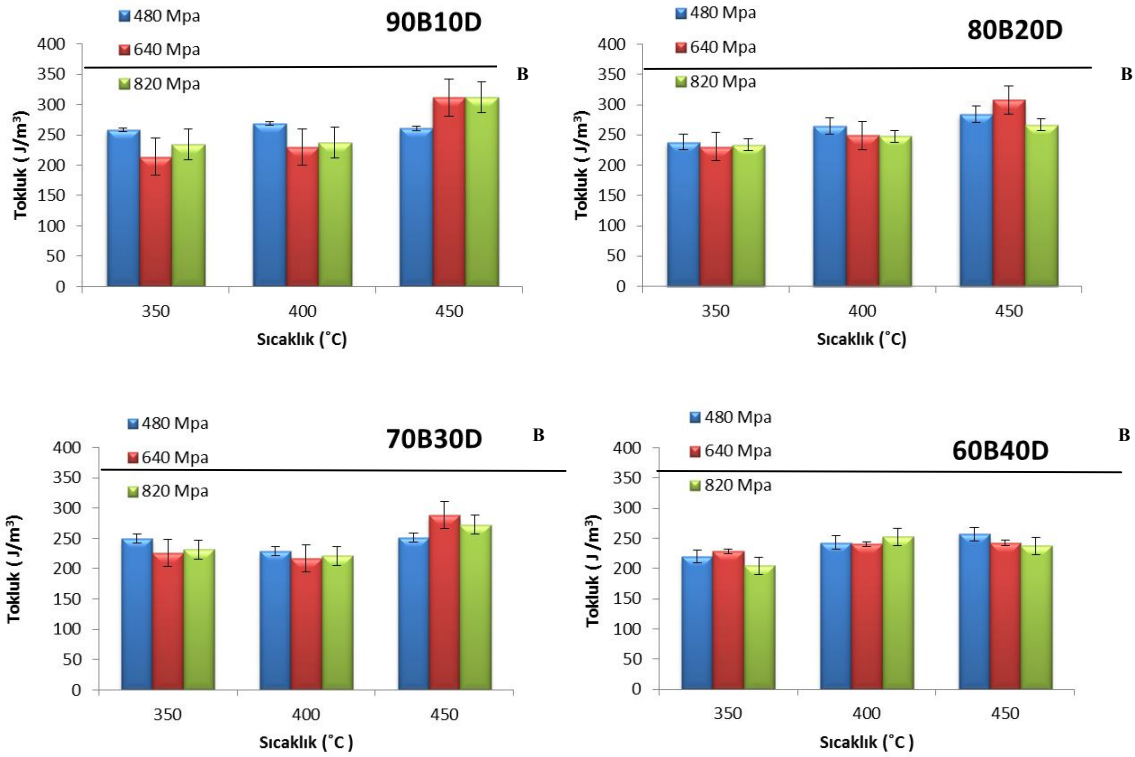




Şekil 4.14 Rezilyans modülü sonuçları

Statik tokluk malzemenin yüke maruz kaldığı andan itibaren kırılıncaya kadar absorbe ettiği enerjinin bir ölçüsüdür. Saf bronzun statik tokluk değeri 360 J/ m^3 olarak ölçülmüştür. MMK malzemelerin rezilyans modülüne benzer olarak, elde edilen tokluk değerleri de saf CuSn10 un %89'una tekabül etmektedir. Elde edilen maksimum tokluk 311 J/m^3 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda, rezilyans modülünde olduğu gibi malzemenin toplam sünekliğin de çok fazla bir kayıp olmadan (%11'lik bir azalmayla) geri dönüştürülebileceği ispatlanmıştır.

Tokluk değeri gerilmeye ve birim şekil değiştirmeye bağlı bir parametredir. Bu durumda malzemenin birim şekil değiştirmesi veya gerilme değerleri ne kadar fazlaysa o kadar tok denilebilir. Dolayısıyla MMK malzemelerin saf CuSn10'a yakın değerlerde tok olmasının sebebi plastik deformasyon etkisiyle bronzun mukavemetinin artması sonucudur. Elde edilen tokluk değerlerinin işlem parametrelerinden çok fazla etkilenmediği görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda artan şekil değiştirme neticesinde tokluk değerinde nispeten bir artış gözlemlenmektedir. Genel trende bakıldığında aynı sıcaklık ve kompozisyona sahip MMK malzemelerin tokluklarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durumda basınç parametresinin tokluk değeri üzerine çok fazla etkisinin olmadığı varsayılabilir.

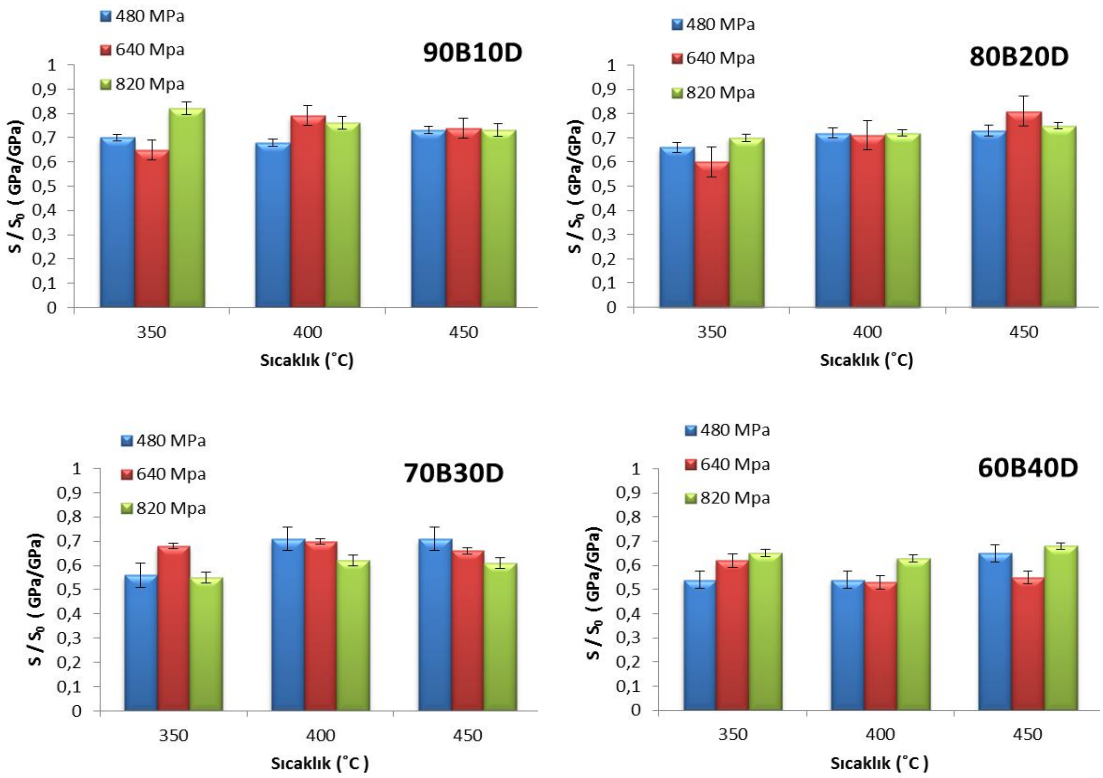


Şekil 4.15 Tokluk sonuçları

Şekil 4.16'de silindirik numunelere uygulanan basma deneyi neticesinde elde edilen sekant modüllerinin saf CuSn10'un sekant modülüne bölünmesiyle elde edilen bağıl sekant modülü değerleri gösterilmektedir. Çizilen grafiklerde kompozisyonlar sabit tutulmuştur ve basınç ile sıcaklığın sekant modülü üzerine etkisi gösterilmiştir.

Sekant modülü malzemenin akma eğrisindeki lineer bölümün başlangıçtan itibaren %25 lik bölümü alınarak o doğrunun eğimi hesaplanarak sekant modülü bulunmuştur. Ölçümler üçer kez tekrar edilerek elde verilerin kendi içlerinde ortalamaları alınmıştır.

Grafikteki değerler incelendiğinde, saf CuSn10 un sekant modülü değerinin % 82 sine ulaşılmıştır. Genel trende bakıldığında basma mukavemeti değerlerinde olduğu gibi sekant modülü değerleri de sıcaklık basınç ve karışım oranı parametrelerinden çok fazla etkilenmediği söylenebilir. Özellikle 350 ℃ de üretilen numunelerde sekant modülünün basınca daha duyarlı olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda, düşük sıcaklıkta bronzun şekil değişim mekanizmasının basınç yardımıyla olması ve bronzun sadece basınç etkisiyle dökme demir talaşlarını yeterince kaplayamaması sonucu elastik özelliklerde farklılaşmalar olduğu söylenebilir.

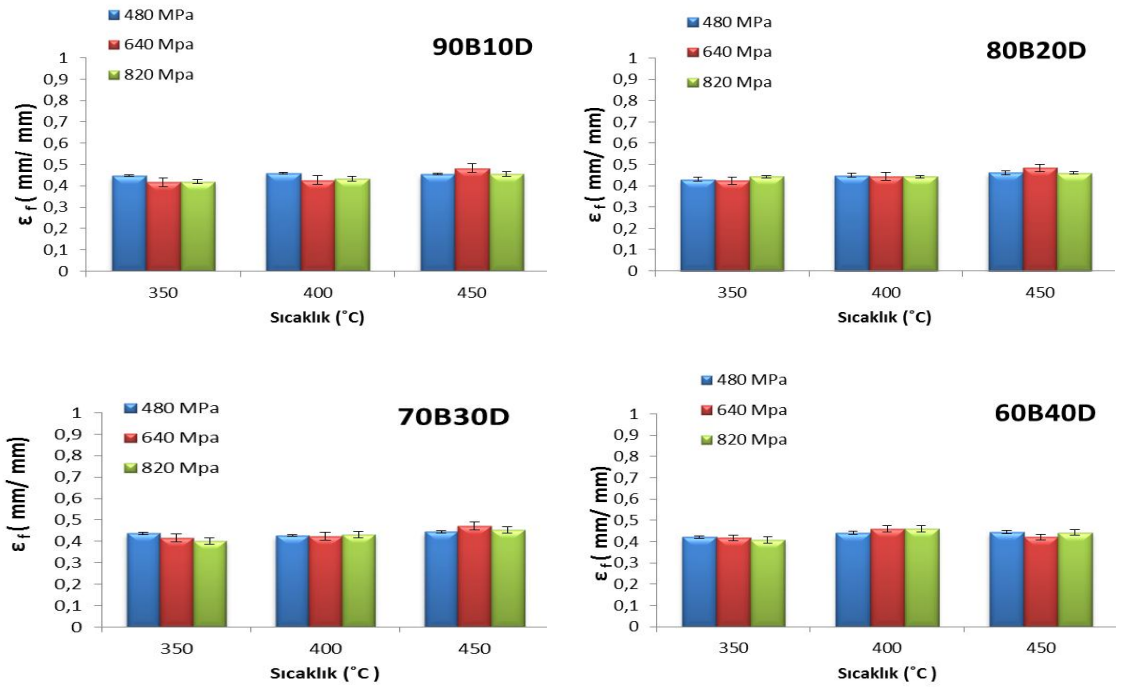


Şekil 4.16 Bağıl Sekant Modülü

Çizelge 4.5'te silindirik numunelere uygulanan basma deneyi neticesinde elde edilen kırılma anındaki kısalma değerleri (ε_f) değerleri, şekil 4.17' de ise bu değerlere ait grafikler gösterilmektedir. Çizelgede kompozisyon, basınç ve sıcaklığın ε_f üzerine etkisi gösterilmiştir. Her bir değer için 3 er deneyin ortalaması alınmış ve elde edilen standart sapmalar parantez içerisinde çizelgeye eklenmiştir. Standart sapmaların oldukça küçük olması (maks. %4.2) deneylerin güvenilirliğini kanıtlamaktadır. Saf CuSn10 malzemenin ε_f değeri 0,61 olarak ölçülmüştür. MMK malzemelerden elde edilen maksimum değer 0,484 olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla saf CuSn10'un yaklaşık %80 'ine ulaşıldığı görülmektedir. %20'lik süneklik kaybının sebebi talaş temas noktalarında oluşan gözeneklerin malzemenin sünekliğini düşürmesidir. Epsilon final değeri de tıpkı rezilyans ve tokluk gibi bir süneklik ölçüsüdür ve çıkan değerlerin birbirine yakın olması ve CuSn10'a yakın olması malzemelerin sünekliğinden fazla bir şey kaybetmeden geri dönüştürülebildiğinin göstergesidir.

Çizelge 4.5 Kırılma anındaki kısalma (ε_f)

BASINÇ (MPa)	480			640			820		
SICAKLIK (˚C)	350	400	450	350	400	450	350	400	450
90B10D	0,446 (%4,2)	0,459 (%1,8)	0,454 (%2,2)	0,417 (%3,3)	0,427 (%2,3)	0,483 (%2,8)	0,419 (%0,4)	0,433 (%1,5)	0,455 (%2,9)
80B20D	0,43 (%3,1)	0,448 (%1,4)	0,462 (%2,1)	0,424 (%1,8)	0,443 (%3,3)	0,484 (%3,8)	0,443 (%0,3)	0,442 (%2,0)	0,46 (%2,2)
70B30D	0,438 (%1,0)	0,427 (%2,2)	0,445 (%1,4)	0,415 (%0,5)	0,424 (%1,0)	0,473 (%0,6)	0,402 (%2,3)	0,431 (%2,0)	0,453 (%3,4)
60B40D	0,421 (%2,9)	0,44 (%0,7)	0,444 (%2,7)	0,418 (%1,1)	0,46 (%4,1)	0,421 (%2,4)	0,409 (%2,2)	0,459 (%3,3)	0,443 (%2,7)

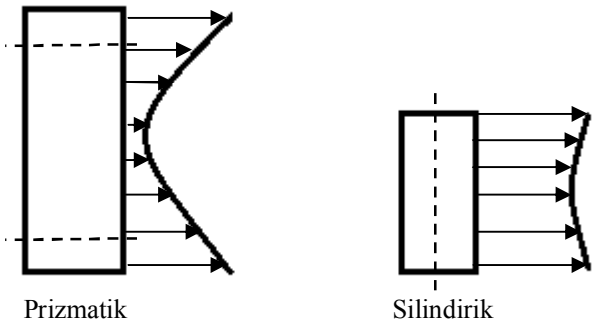


Şekil 4.17 Kırılma anındaki kısalma (ε_f) grafikleri

4.1.4. Eğme testi sonuçları

Bu çalışmada üretilen MMK malzemelere çekme testi uygulanamadığından üç noktadan eğme testi uygulanarak malzemenin çekme yükü altındaki davranışı da incelenmiştir.

Prizmatik numuneler ile silindirik numunelerin yüzey alanları arasında yaklaşık olarak 4,8 kat fark vardır. (Prizmatik numune 1330mm^2, silindirik numune 280mm^2) Bu sebeple silindir basıncı seçilirken silindirik numuneler ve prizmatik numuneler için farklı seçilmesi gerekmektedir.(Prizmatik numune için seçilen pres basıncı silindiriğin 4.8 katı olması gerekir.) Pres basınç değerleri farklı seçildiğinde numuneler üzerine etkiyen basınçlar aynı olmaktadır fakat bu durumda yükseklik faktörü devreye girer. Silindirik numunelerin boyları yaklaşık 29-35 mm aralığında değişmektedir. Prizmatik numuneler ise 17-20 mm aralığında değişmektedir. Eğer bu iki farklı geometrideki numunelere eşit basınçlar uygulanırsa malzemenin sertlik profillerinin malzemelerin merkezlerine doğru farklılaşacağı öngörülmüştür. Silindirik numune daha uzun olduğundan merkeze doğru sertliğinin çok azalacağı, prizmatik numunenin ise fazla azalmayacağı düşünülmüştür. Bu durum şematik olarak şekil 4.18'te gösterilmiştir.



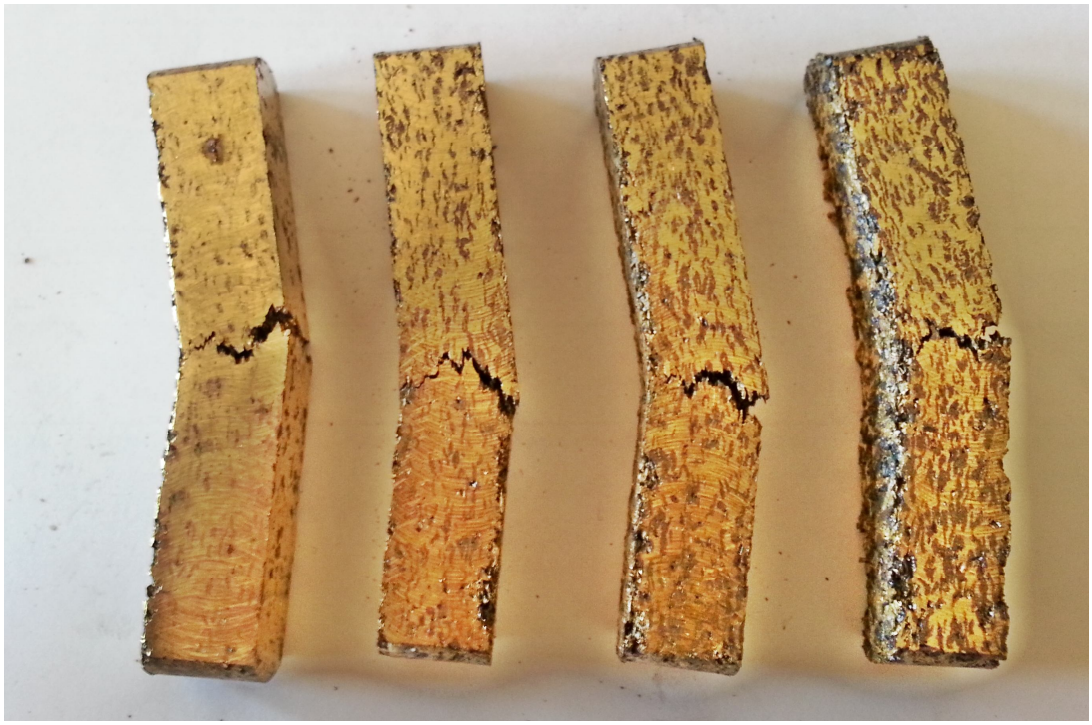
Şekil 4.18 Silindirik numune ve prizmatik numunenin sertlik profili

Bu duruma sebebiyet vermemek için hem silindirik numuneler için hem de prizmatik numuneler için piston basıncı sabit tutulmuştur. Piston basıncı sabit tutulduğundan, prizmatik numuneler yaklaşık olarak 4,8 kat daha düşük bir basınçla sıkıştırılmıştır. Bu basınç farkı ile, numunelerin yükseklik farkından kaynaklanan mekanik özelliklerin değişiminin minimize edileceği öngörülmüştür. Buna ek olarak prizmatik kalıbın cidarının silindirik kalıptan daha ince olması sebebiyle yüksek

basınçlarda kalıbın hasar görebileceği öngörülmüş ve bu sebeple pres basıncı değiştirilmemiştir.

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. 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 4.19 ve Şekil 4.20' de görüldüğü gibi, çatlağın boydan boya açılma moduyla (mod-I) ilerlemesi sonucunu doğurmuştur. Şekil 4.21'de ise kırık yüzeyi görüntüsü gösterilmektedir.

Oluşan çatlaklar incelendiğinde çatlağı talaşları keserek değil etrafından dolaşarak veya gözeneklerden ilerlediği görülmektedir. Şekil 4.19' te oluşan zikzaklar incelendiğinde zikzakların ani olarak yön değiştirmesi bu düşünceyi doğrular niteliktedir.



Şekil 4.19 820MPa-400˚C de üretilen numunelerde çatlak ilerlemesi

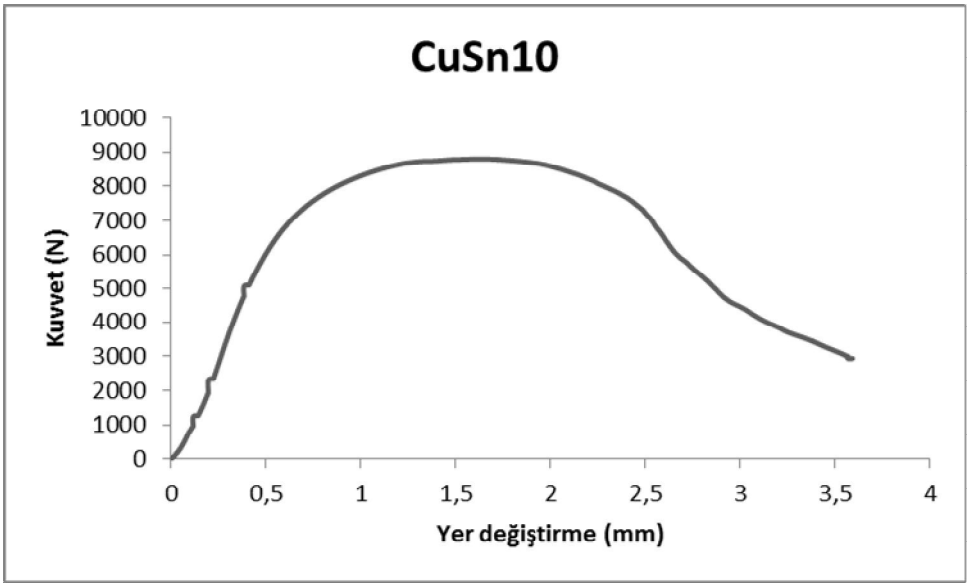


Şekil 4.20 820MPa-400˚C de üretilen numunedeki çatlak ilerlemesi

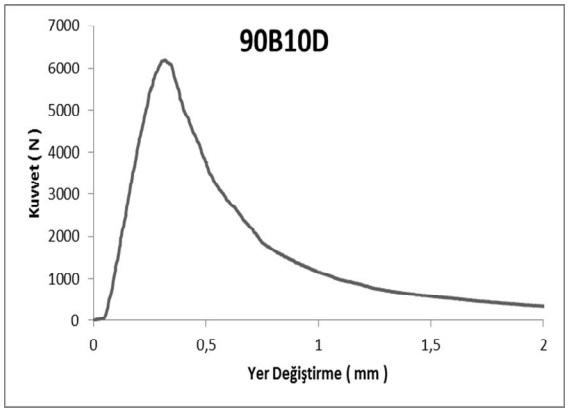


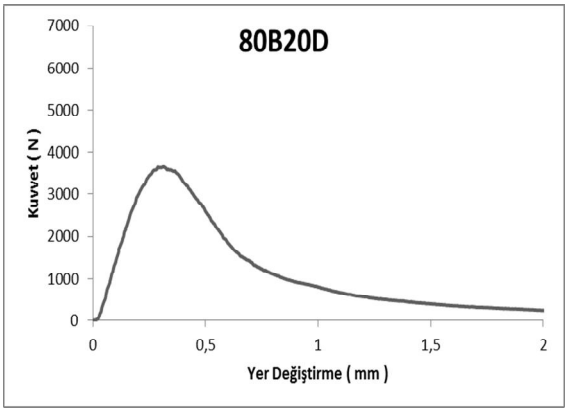
Şekil 4.21 Prizmatik numune kırık yüzeyi

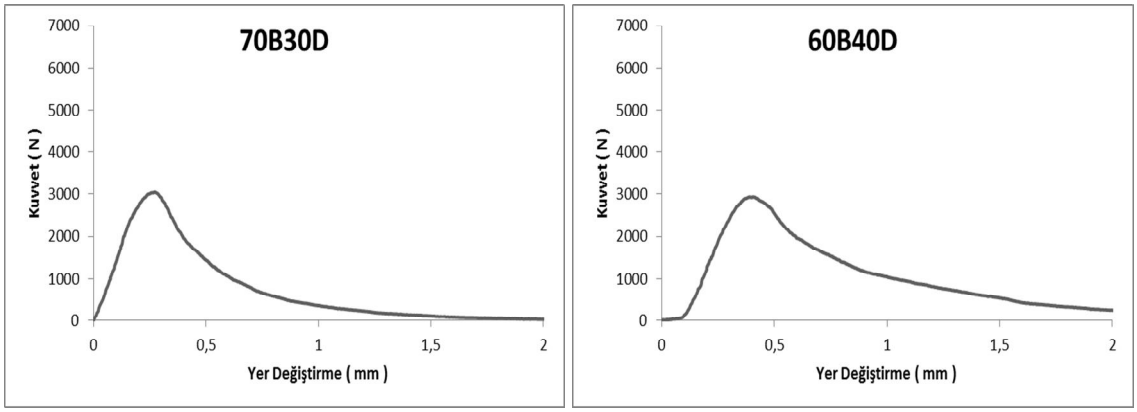
Şekil 4.22 tek saf CuSn10'a ait eğilme grafiği şekil 4.23'de ise aynı basınç ve sıcaklık değerleri için MMK malzemelerin kuvvet yerdeğiştirme grafikleri verilmiştir. İki malzeme eğri karakteristikleri açısından kıyaslandığında MMK malzemelerde çatlak oluşumu ve ilerlemesinin ani olarak geliştiğini, saf bronzda ise daha geniş bir aralıkta geliştiğini söyleyebiliriz. Çünkü MMK malzemelerin eğrilerinin pik yaptığı aralık oldukça dar iken (yaklaşık 0,1 mm), CuSn10 için bu değer yaklaşık 2mm dir.



Şekil 4.22 Saf CuSn10 eğilme grafiği



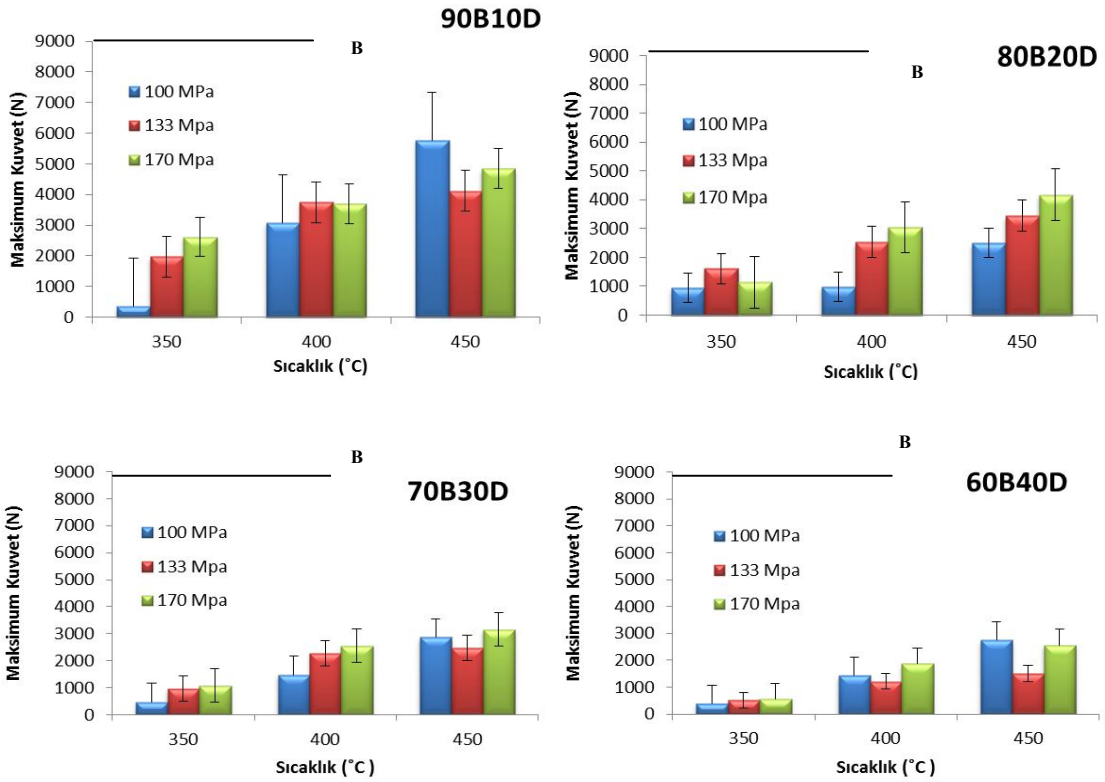




Şekil 4.23 Eş basınç-sıcaklık değerleri için Kuvvet yerdeğiştirme grafikleri

Şekil 4.24'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. Grafikler üzerinde bulunan ve B ile belirtilen çizgi CuSn10 malzemenin ortalama eğilme kuvveti değerini göstermektedir. Bu çizgi elde edilen kompozit malzemelerin eğme kuvvetlerinin değerlerinin saf CuSn10 ile kıyaslanabilmesi için koyulmuştur.

Her ölçüm üçer kez yapılmıştır ve elde edilen verilerin kendi içlerinde ortalamaları alınarak standart sapmaları hesaplanmış ve sütun grafiklerinin üzerine eklenmiştir. Diğer mekanik özelliklerin standart sapmalarıyla kıyaslandığında standart sapmaların büyük olduğu söylenebilir. Bu durum elde edilen numunelerin birbirleriyle aynı standartta üretilemediğinin bir göstergesidir. Yukarıda bahsedilen çalışma basıncı seçim işleminin başlangıçta öngörüldüğü gibi seçilmesi ve uygulanması eğme mekanik özelliklerini olumsuz etkilemiştir. Şekil 15' deki grafikler de standart sapmaların büyük olmasını açıklar niteliktedir. Grafikler incelendiğinde en iyi numune için Saf CuSn10 un maksimum eğilme kuvvetinin %62 sine ulaşıldığı görülmektedir. (Saf CuSn10 maksimum kuvvet=9100N) MMK malzemeler içerisinde sadece 90B10D numunelerde bronzla kıyaslanabilir veriler elde edildiği diğer karışım oranlarında ise kıyaslanabilir sonuçlar alınamadığı görülmektedir. Dolayısıyla artan demir içeriğinin eğilme mukavemetini olumsuz etkilediği söylenebilir. Diğer taraftan artan bronz içeriğinin malzemedeki matris görevini yerine getirebildiği eğer uygun çalışma basıncı seçilirse bu sonuçların daha iyi olabileceği rahatlıkla söylenebilir.



Şekil 4.24 Eğme deneyi sonuçları

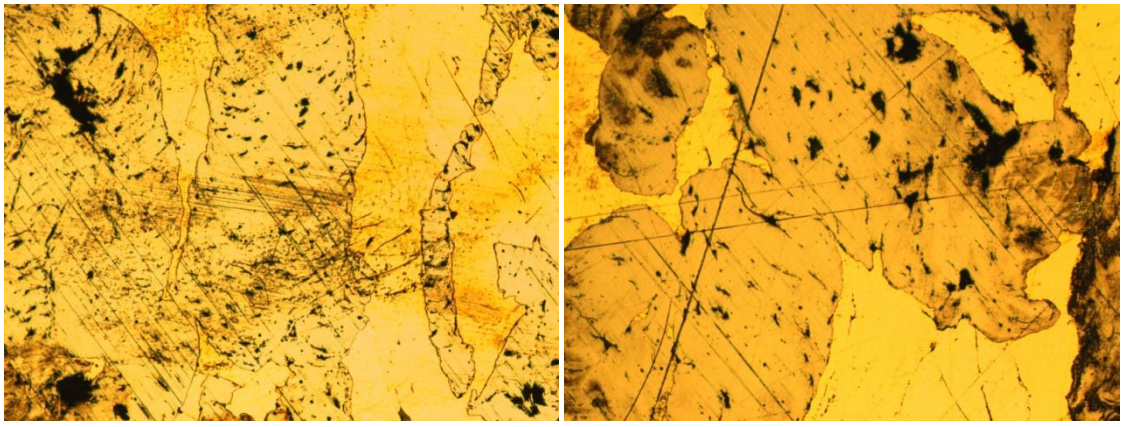
MMK malzemelerin eğilme özelliklerinin düşük çıkması, doğrudan çalışma basıncına bağlanmaktadır. Başlangıçta ön görülen ve yukarıda açıklanan duruma göre çalışma basıncı seçmek yerine pres basıncının silindirik numuneye göreyaklaşık olarak 4,8 kat artırılmasının eğilme mekanik özelliklerini pozitif olarak etkileyeceği ön görülmektedir. Böylelikle bronz biraz daha plastik deformasyona uğrayarak mukavemetlenir.Ayrıca basınç etkisiyle difüzyon kolaylaşacağından demir talaşlarıyla daha etkili bir birleşme olacağı öngörülmektedir. Böylelikle talaşlar arasındaki gözenekler bir miktar azalsada malzeme mukavemetinin artacağı tahmin edilmektedir.

4.2. Mikro Yapı

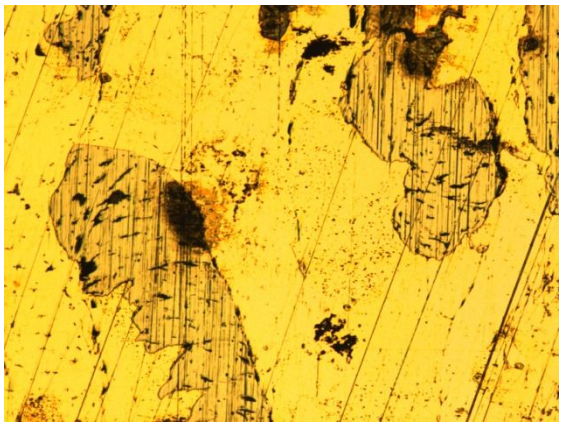
Şekil 4.25'de silindirik numunelerin şekil 4.26'da ise prizmatik numunelerin üretim sonrasında optik mikroskop yardımıyla alınmış mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Şekilde kullanılan adlandırmada ilk rakam CuSn10 bileşenin yüzdelik dilimini, ikinci rakam ise GGG40 bileşenin yüzdelik dilimini göstermektedir. T sembolü Selsiyus cinsinden üretim sıcaklığını, P sembolü ise MPa cinsinden üretim basıncını ifade etmektedir.

Şekil 4.25 ve şekil 4.26 incelendiğinde farklı üretim parametreleri kullanılarak yapılan üretimler neticesinde aynı türdeki ve farklı türdeki talaşların birbirlerine birleştiği görülmektedir. Talaşlar arasındaki birleşmenin tam anlamıyla gerçekleşebilmesi için talaşların yeterince yüksek bir basınçla birbirlerine yaklaştırılması gerekmektedir. Bu aşamadan sonra sıcaklık etkisiyle talaşlar arasında atomik difüzyon sonucu talaşların birleşme prosesi tamamlanmış olmaktadır. Mikro yapılar incelendiğinde yeterli basınç ve/veya sıcaklığın uygulanmadığı bazı numunelerde talaşların birleşmesinin yetersiz olduğu ve talaşlar arasında bazı boşluklar oluştuğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.25 ve şekil 4.26'de görüldüğü gibi küresel grafitler içeren talaşlarda grafit yuvalarının basınç kuvveti etkisiyle şekil değişimi gösterdiği ve kuvvete dik bir biçim aldığı görülmektedir. Bu durum üretim prosesi sonucunda GGG40 malzemenin sünekliğini halen koruduğu görülmektedir. Ancak bu yuvalar artık küre biçiminden lamel biçimine doğru dönüştüğü için çekme yönündeki mukavemeti etkileyeceği değerlendirilmektedir.



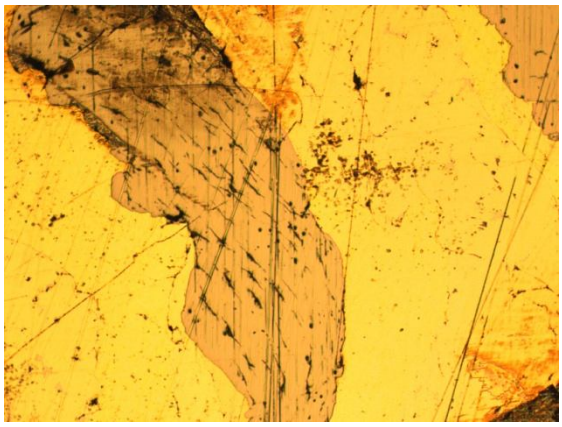
a) 60B40D-T350-P480\50X b) 60B40D-T350-P480\100X



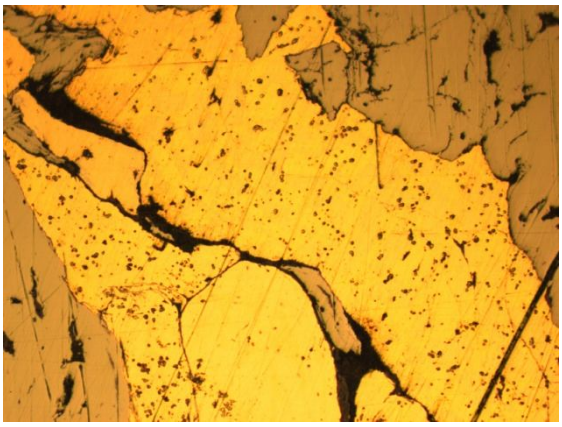
c) 60B40D-T350-P820\50X



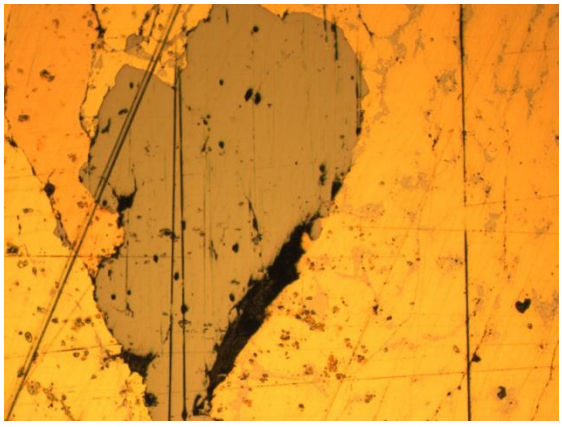
d) 60B40D-T350-P820\50X



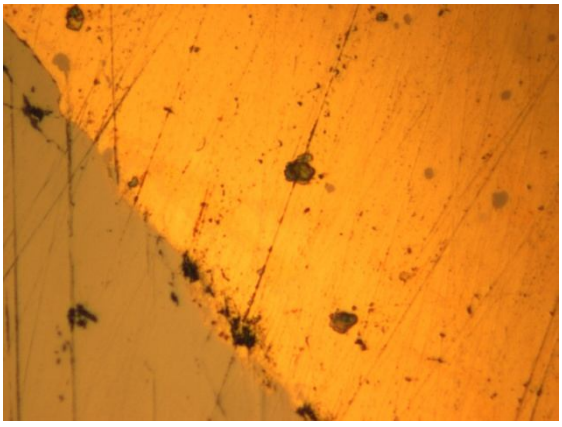
e) 60B40D-T350-P820\100X



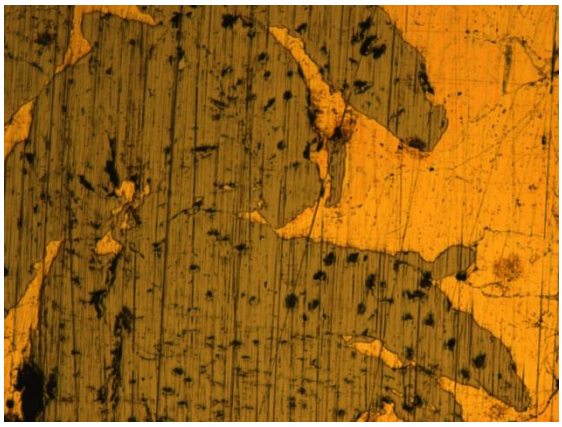
f) 60B40D-T350-P820\200X



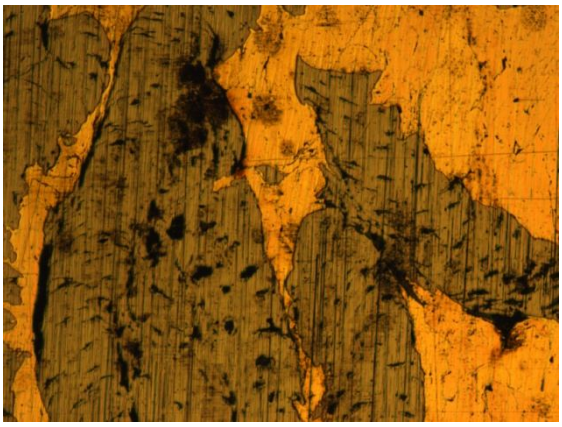
g) 60B40D-T350-P820\200X



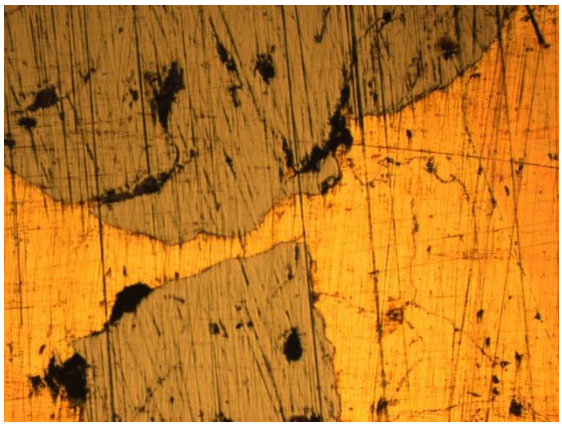
h) 60B40D-T350-P820\1000X



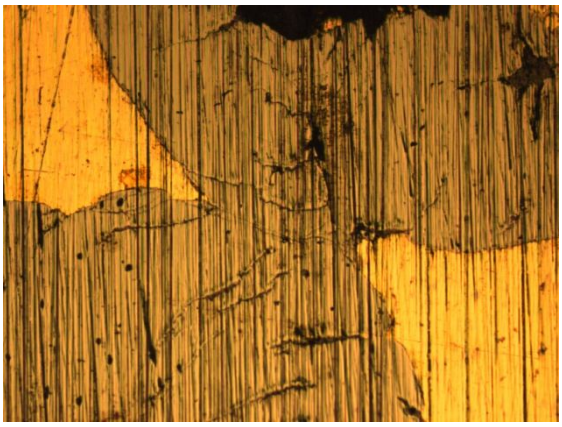
j) 60B40D-T450-P480\50X



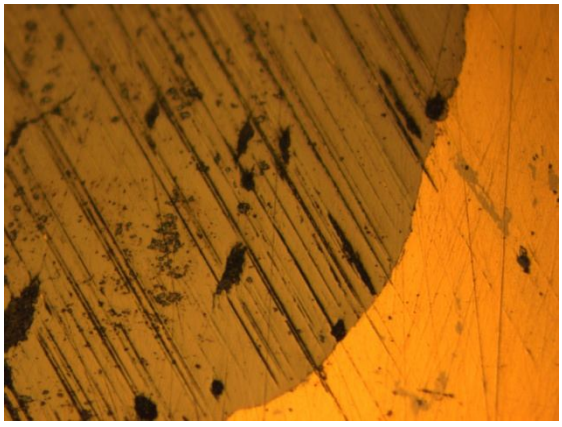
k) 60B40D-T450-P480\50X



m) 60B40D-T450-P820\200X



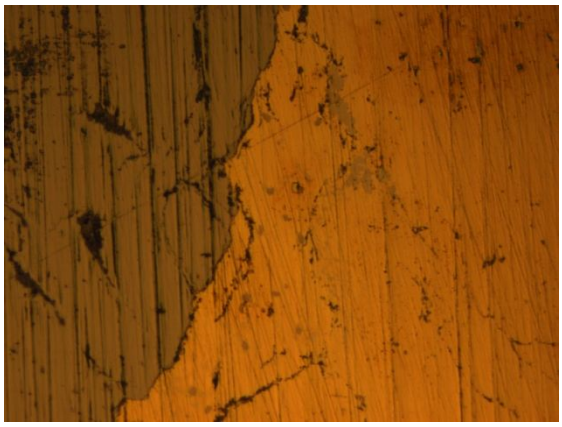
n) 60B40D-T450-P820\200X



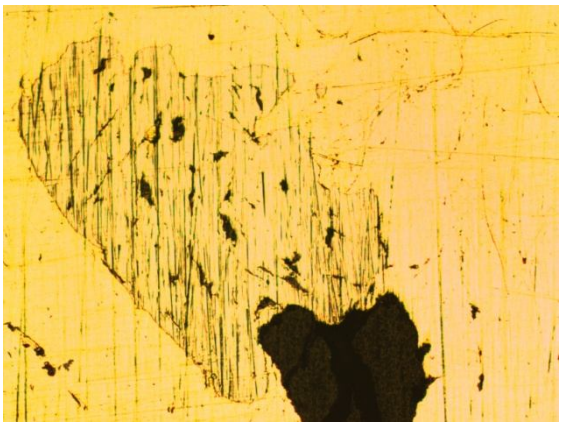
p) 90B10D-T350-P480\500X



r) 90B10D-T450-P480\500X



s) 90B10D-T450-P480\500X

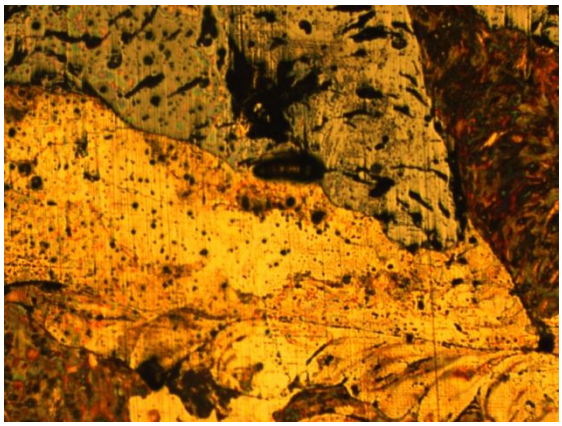


t) 90B10D-T450-P820\100X

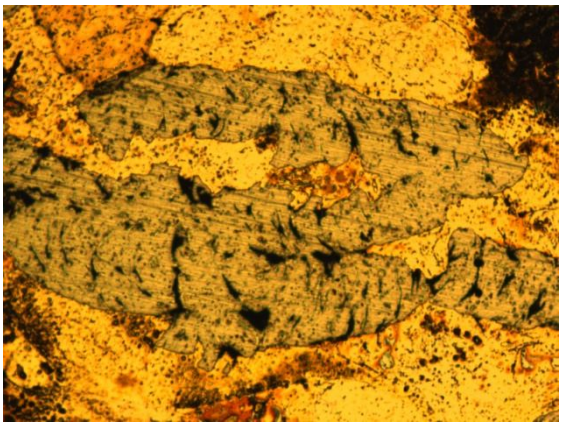


u) 90B10D-T450-P820\200X

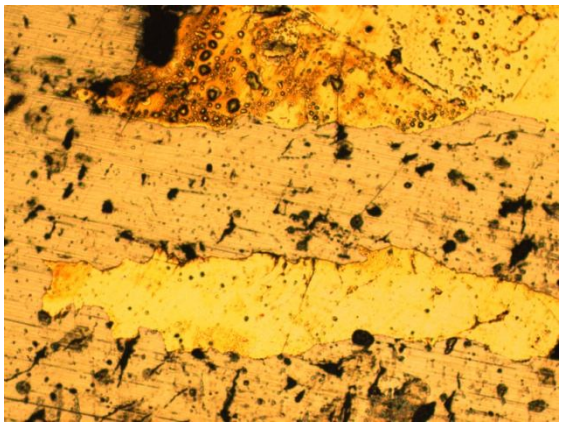
Şekil 4.25 Silindirik numunelerin üretimden sonraki mikro yapı görüntüleri



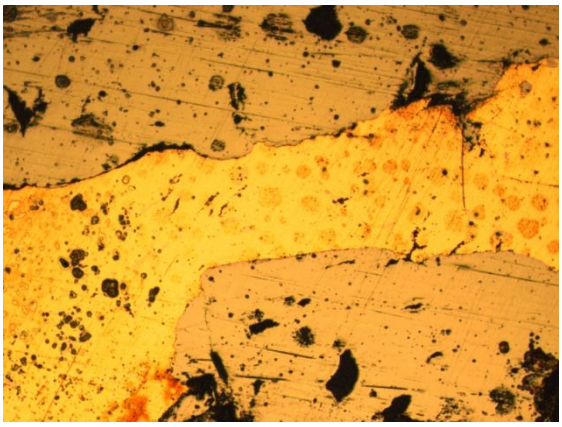
a) 60B40D-T350-P820\100X



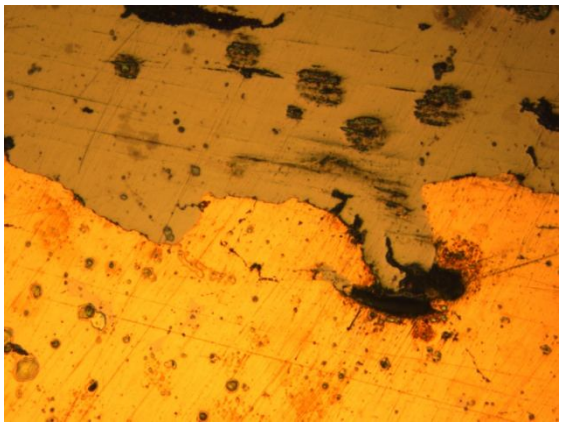
b) 60B40D-T350-P820\50X



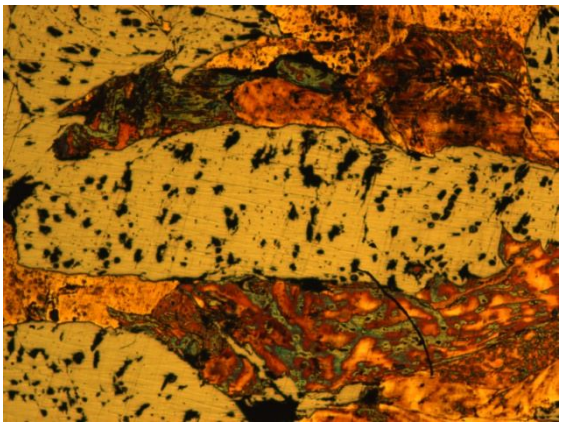
c) 60B40D-T350-P820\100X



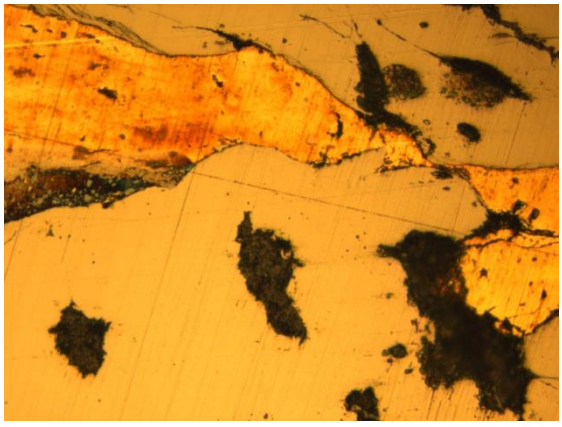
d) 60B40D-T350-P820\200X



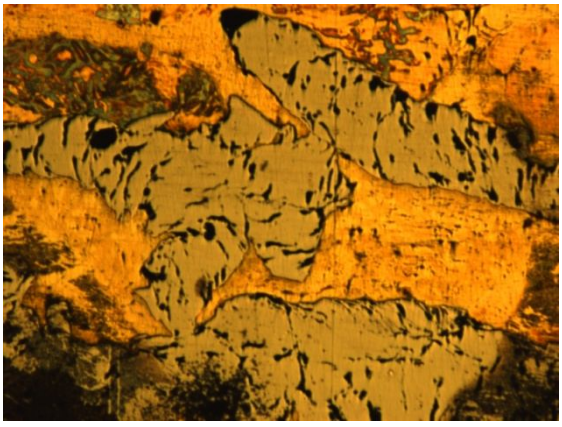
e) 60B40D-T350-P820\500X



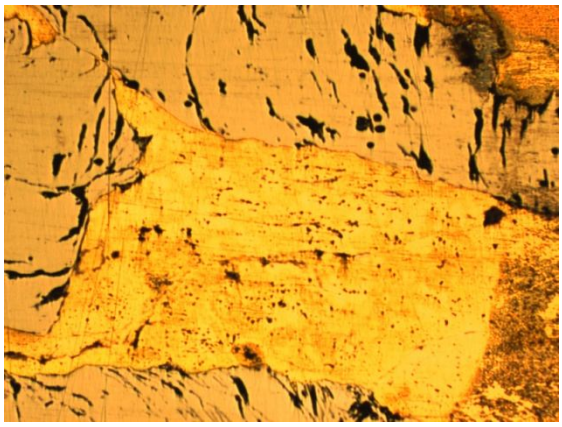
f) 60B40D-T450-P480\50X



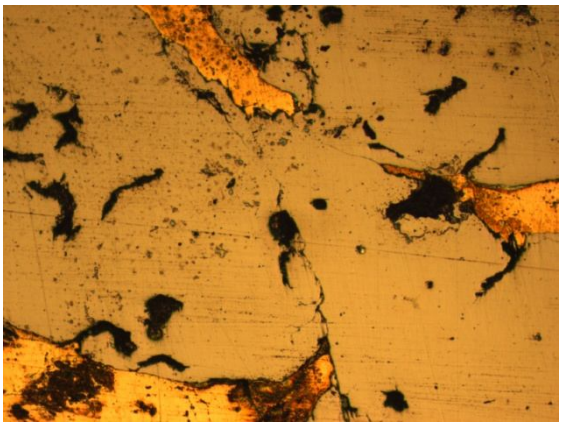
g) 60B40D-T450-P480\500X



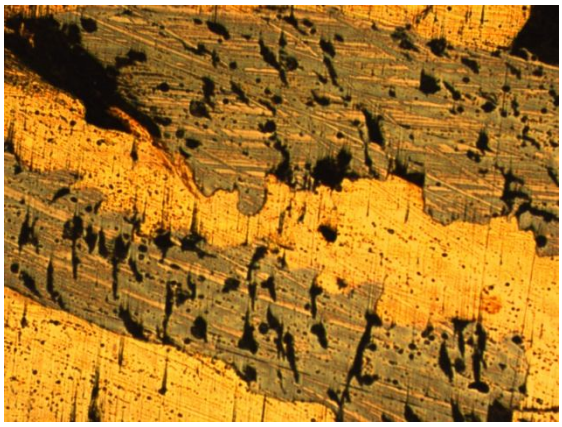
h) 60B40D-T450-P480\50X



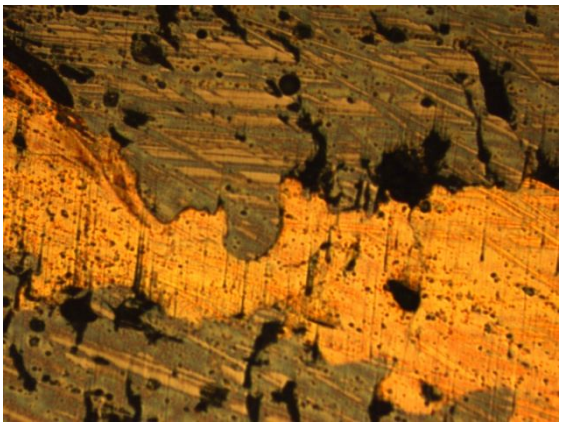
j) 60B40D-T450-P820\100X



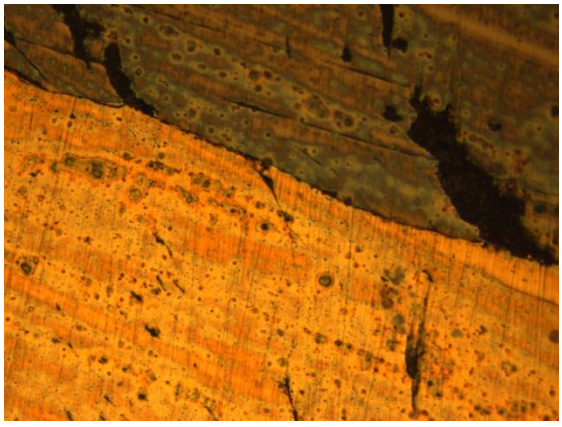
k) 60B40D-T450-P820\200X



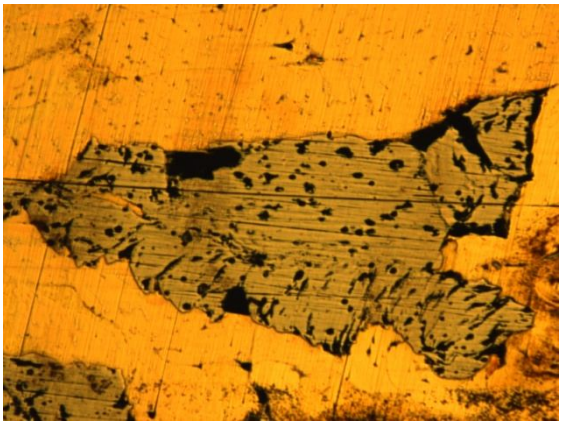
m) 90B10D-T350-P480\100X



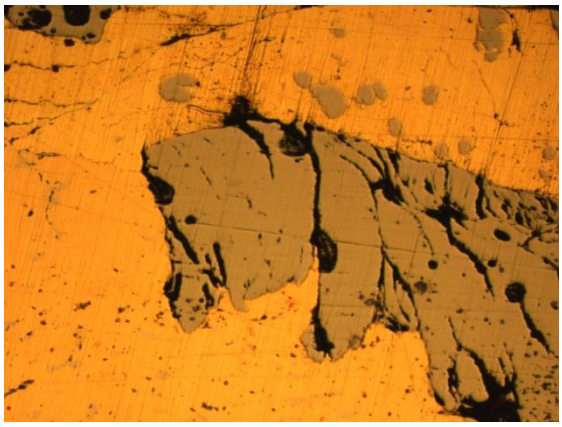
n) 90B10D-T350-P480\200X



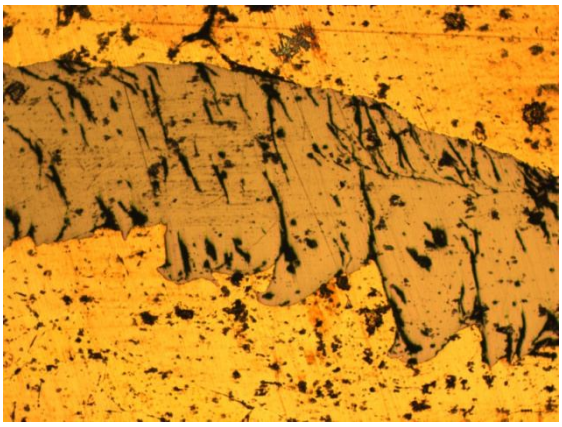
p) 90B10D-T350-P480\500X



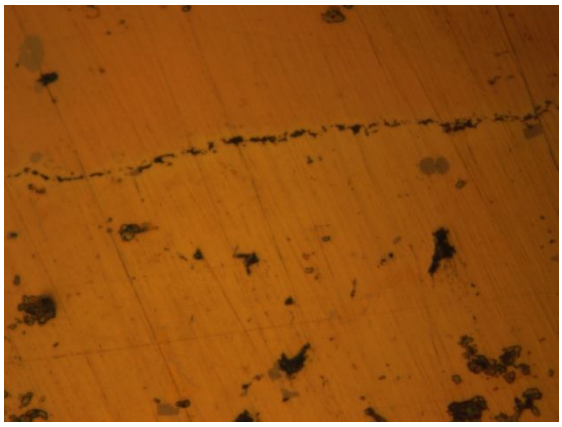
r) 90B10D-T350-P480\50X



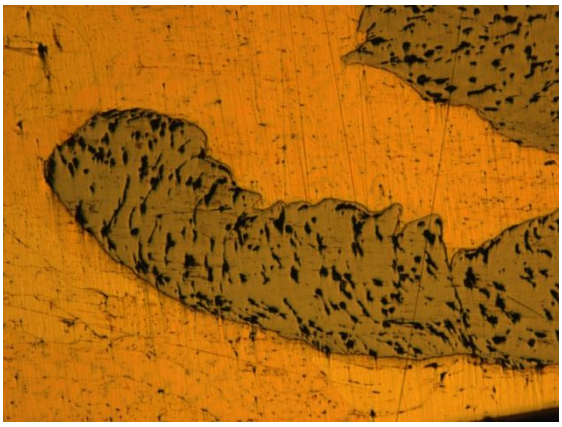
s) 90B10D-T350-P820\200X



t) 90B10D-T450-P820\100X



v) 90B10D-T450-P480\1000X



y) 90B10D-T450-P820\50X

Şekil 4.26 Prizmatik numunelerin üretimden sonraki mikro yapı görüntüleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bronz ve dökme demir malzemelere ait dört farklı kompozisyon, üç farklı basınç ve üç farklı sıcaklıkta sıcak presleme yardımıyla üretilen MMK malzemelere ait mekanik özellikler ilgili standartlara uygun olarak yapılan testler neticesinde belirlenmiş ve ilgili bölümlerde sunulmuşlardır. Mekanik testlere ek olarak alınan EDX sonuçları, SEM görüntüleri, Optik mikroskop görüntüleri de incelenerek yapılan bu çalışma hakkında elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Literatür incelemesinde numuneyi kalıptan çıkarırken yaşanan problemlerin katı yağlayıcı (grafit) kullanımıyla aşıldığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada herhangi bir çıkarma problemi yaşanmadığından katı yağlayıcıya ihtiyaç duyulmamıştır. Dökme demirin içerisindeki grafitin gerekli yağlamayı sağladığı düşünülmektedir. Ekstra grafit eklenmesi nodül çökelmesine sebep olarak malzeme mukavemetini olumsuz etkileyebilir.

- Kompozit malzemelerin yapısındaki dökme demir ve bronz bileşen arasında herhangi bir ara faz oluşmadığı, bu iki bileşenin bir birbirleri içerisine sızmadıkları fakat bronzun 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.
- Silindirik MMK malzemelerde ölçülen en yüksek gözeneklilik değeri %5,493, prizmatik numune için ise %20,914 tür. Her iki gözeneklilik değeri de 350˚ C üretilen numunelerde ölçülmüştür. Prizmatik numunelerin silindirik numunelerden daha gözenekli olmasının sebebi üretim basıncının daha düşük olmasıdır. Gözeneklilik değerinin artan sıcaklıkla ve basınçla azaldığı, artan dökme demir içeriğiyle arttığı tespit edilmiştir.

- Silindirik MMK malzemelerde ölçülen en yüksek Brinell Sertlik değeri 165, prizmatik numunelerde ise 145 tir. Böylelikle bronzun sertlik değeri ile kıyaslandığında silindirik numune için, %154, prizmatik numune için %135 iyileştirme yapılmıştır. Brinell sertlik testi neticesinde silindirik ve prizmatik numunelerden elde edilen değerlerin birbirinden çok farklı olmaması, sertlik deneyinin yüzeysel olması sebebiyledir. Sertlik değerinin istisnai durumlar olmakla birlikte; genellikle artan bronz oranına, sıcaklığa ve basınca bağlı olarak arttığı söylenebilir. Bu durum bronzun plastik deformasyona uğrayarak mukavemetinin artmasıyla açıklanabilir. Ayrıca Brinell testi sonuçlarına göre bronzun dökme demir talaşları için uygun bir matris oluşturduğu ve etkili bir birleşme sağlandığı söylenebilir.
- Silindirik MMK malzemelerde ölçülen en yüksek mikrovikers sertlik değeri 367, prizmatik numunelerde ise 260 tir. Böylelikle bronzun sertlik değeri ile kıyaslandığında silindirik numune için, %146, prizmatik numune için %104'lük bir iyileştirme yapılmıştır. Silindirik ve prizmatik numuneler arasındaki fark diğer testlerde olduğu gibi üretim basınçlarının farklılığından kaynaklanmadır. Test sonuçları neticesinde komşu talaşlar arasında efektif bir birleşme sağlanabildiği söylenebilir.
- Silindirik MMK malzemelerde ölçülen en yüksek basma mukavemeti 514 MPa dır. Böylelikle bronzun basma mukavemeti ile kıyaslandığında %104 lük bir iyileştirme yapılmıştır. Genel olarak MMK malzemelerin basma mukavemetleri bronzun minimum %85 ine kadar inmektedir. Bu durumda bronzun mekanik özelliklerinde çok fazla kayıp yaşanmadan geri dönüştürülebildiği kanıtlanmaktadır. Basma mukavemetinin genel olarak işlem parametrelerinden ve kompozisyondan çok fazla etkilenmediği gözlemlenmiştir.
- Basma testi neticesinde elde edilen rezilyans modülü, tokluk ve sekant modülü değerleri saf bronza oldukça yakındır (%80-90 aralığında). Bu durumda geri dönüştürülen bronzun elastik özelliklerini muhafaza ettiği kabul edilebilir.
- Eğme testi neticesinde elde edilen maksimum kuvvet 5652 N dur. Bronz ile kıyaslandığında bronzun maksimum kuvvetinin %62'sine karşılık

gelmektedir. Bu durumun üretim basıncının yetersizliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna ek olarak eğilme mekanik özelliklerinin basma deneyinden elde edilen verilere kıyasla daha düşük çıkmasının bir diğer sebebi, malzemenin çekme gerilmesine karşı mukavemetinin basma gerilmesine kıyasla oldukça düşük olmasıdır. Eğme deneyi neticesinde en iyi sonuçlar %90 bronz içeren, yüksek sıcaklık ve basınçta üretilen numunelerde elde edilmiştir. Diğer numunelerin neredeyse tamamında bronzla kıyaslanabilir sonuçlar elde edilememiştir.

- EDX analizi neticesinde ultrasonik yüzey temizliğinin ne kadar etkili olduğu belirlenmiştir. Bronz ve dökme demir talaşlarına ayrı ayrı 40 ar dakikalık temizlik işlemi uygulanmış ve EDX analizi neticesinde bronz yüzeyindeki oksitlerin %51inin, dökme demir yüzeyindeki oksitlerin %39unun temizlendiği tespit edilmiştir. Temizlik işlemi için deiyonize su kullanılmıştır ve gerek temizleme sıvısının gerekse temizlik süresinin bu işlem için uygun olduğu belirlenmiştir
- Yüzeyleri oksitten arındırılmış talaşların arasında daha etkili bir birleşme olacağı, temiz talaşlardan üretilen numunelere basma testi uygulanmasıyla ispatlanmıştır. %90 bronz içeren temiz ve kirli numunelerin basma mukavemetleri arasında %22'lik (temiz numune lehine) fark vardır. % 60 bronz içeren numuneler arasında ise %8'lik (temiz lehine) fark vardır. Bronzun dökme demire oranla daha kolay temizlenmesi sebebiyle eşit temizlik süresinde bronz daha fazla temizlenmiş ve yüksek bronz içerikli numunelerin basma mukavemetinde daha fazla artış gözlemlenmiştir. Böylelikle oksit miktarı ile talaşların birleşme kalitesinin ters orantılı olduğu söylenebilir.

Yapılan bu tez çalışması neticesinde bronz ve dökme demir talaşlarının yüksek verimle geri dönüştürülebildiği ispatlanmıştır. Diğer bir deyişle izostatik sıcak presleme yöntemi geri dönüşüm konusunda döküm yöntemine alternatif olabilecek bir yöntemdir. Bu yöntem yardımıyla bronz etkili bir şekilde dökme demir talaşlarının aralarını doldurarak etkili bir birleşme sağlanmıştır. Mikro yapı görüntülerine bakılarak en aktif birleşme mekanizmasının mekanik kilitlenme olduğu söylenebilir. Mekanik kilitlenmeye ek olarak bronz 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 oluştuğu 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. Dolayısıyla tane sınırlarında ikinci faz oluşumu gözlemlenmemiştir.

Elde edilen MMK malzeme çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Bunların başında kaymalı yatak elamanı olarak kullanılması gelmektedir. Bir kaymalı yatak elemanının üç temel özelliği vardır. Basma mukavemeti, gözenekliliği ve yağ emme kapasitesi, aşınma özellikleridir. Üretilen MMK malzemenin basma mukavemeti ve gözeneklilik değerleri kaymalı yatak olarak kullanımı için yeterlidir fakat malzemenin dış yüzeyinin içerdeki gözenekleri kapatması sonucu yağ emdirilememektedir. Ayrıca bu çalışma aşınma özellikleri değerlendirilmemiştir. Aşınma özellikleri incelendiğinde yatak olarak kullanılıp kullanılamayacağı daha net bir şekilde söylenilebilir. Üretilen MMK malzemenin gözenekli oluşu ve üretim parametrelerini değiştirerek gözenek miktarını kontrol edebilme özelliği, malzemeyi titreşim veya darbe sönümleme elemanı olarak kullanmaya imkan sağlayabilir.

5.2 Öneriler

Dökme demir ve bronz talaşlarının kullanıldığı bu çalışmada ileriki zamanlarda yapılabilecek çalışmalar aşağıda belirtilmiştir. Belirtilen bu öneriler gerek bu konuda çalışmak isteyen araştırmacılara gerekse bu malzemeyi endüstride kullanan veya kullanmak isteyen kullanıcılara yöneliktir.

1. Yapılan çalışmada kullanılan dişi ve erkek kalıp arasındaki çalışma toleransları problem yaratmaktadır. Sıcaklık arttıkça yumuşayan bronz kalıp boşluğuna dolarak çalışmayı zorlaştırmaktadır. Kalıbın çalışma toleransı daha da azaltılarak yüksek sıcaklıklarda ve basınçlarda çalışma imkanı bulunabilir.
2. Çalışmada üretilen numuneler ultrasonik olarak temizlenmemiştir fakat ultrasonik temizlik etkisi de araştırılmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalar da talaşların temizlenmesi, metaller arasında oluşan bağ kalitesini artırabilir.

3. Bu çalışmada bronz ve dökme demir talaşlarından başka bir malzeme kullanılmamıştır. Bronzların yüzeyini boraks (çinko sterat) ile aktive ederek dökme demirle arasındaki bağ oluşumu kolaylaşabilir ve bronz dökme demir etrafını daha rahat kaplayabilir.
4. Bu çalışmada ısıtma ve bekleme prosesi 25 dakika sürmektedir(15+10 dk). Daha etkili bir difüzyon sağlanması için basınç altında bekleme süresi artırılabilir.
5. Prizmatik numunelerin üretim basıncının yetersizliği, eğilme deneyi sonuçları bölümünde bahsedilmiştir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda prizmatik numunelerin üretim basınçlarının silindirik numuneler ile aynı olması, prizmatik numunelerin mekanik özellikleri açısından daha iyi sonuçlar verebilir.
6. Bu çalışma deneysel bir çalışma olduğu için seri üretime uygunluğu ve maliyet analizi araştırılmamıştır. Üretilen malzemenin endüstriyel alanda üretilebilirliği (seri üretime uygunluğu) ve maliyet analizi (döküm yöntemine kıyasla) yapılarak seri üretime başlanabilir.
7. Çalışmada kullanılan bronz malzeme hali hazırda yatak elemanı olarak kullanılmaktadır (Kendinden gözenekli olması sebebiyle). Üretilen MMK malzeme de gözenekli bir yapı olduğunda, kaymalı yatak olarak kullanıma uygun olabilir. Dolayısıyla MMK malzemenin tribolojik özellikleri incelenerek ve malzemelerin yağ emme ve depolama kapasiteleri ilgili standartlarla belirlenerek kaymalı yatak malzemesi olarak kullanıma elverişli olup olmadığı araştırılabilir.
8. Bu çalışmada üretilen MMK malzemenin kaymalı yatak olarak veya başka bir makine elemanı olarak kullanılabilmesi için hassas olarak talaşlı işlenebilmesi gerekir. Çünkü çoğu makine elemanı genellikle dar toleranslarda çalışır. Dolayısıyla üretilen malzemenin talaşlı işlenebilirliği konusu incelenerek malzemenin hangi işleme parametrelerinde işlenebildiği tespit edilebilir.
9. Bu çalışmada üretilen MMK malzemelerin içerisinde bulunan gözenekler malzemenin titreşim ve darbe sönümleme elemanı olarak kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Malzemenin doğal titreşim frekansları ve darbe dayanımları tespit edilerek bu amaçlarla kullanılıp kullanılamayacağı araştırılabilir.

10. Bu çalışmada çift etkili sıcak presleme işlemi ile malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Aynı malzemeler, soğuk presleme ve sıvı faz sinterleme işlemi ile üretilerek aralarındaki mekanik özellik farklılıkları belirlenebilir.
11. Çalışmanın başlarında uygulanması planlanan vakum ortamında presleme prosesi, bronzun aşırı yumuşaması ve vakum deliğini tıkaması sebebiyle iptal edilmiştir. Bu esnada bronz ve demir karışımının basınç etkisiyle 6 mm lik delikten silindirik çubuk şeklinde çıkması, ekstrüzyon yönteminin çift etkili sıcak presleme yöntemine alternatif oluşturabileceği fikrini oluşturmuştur. Dolayısıyla ekstrüzyon yöntemi ile üretimi gerçekleştirip elde edilen malzemenin mekanik özellikleri araştırılabilir.
12. Bu çalışmada üretilen kompozit malzemenin üretim parametreleri değiştirilerek gözeneklilik miktarına müdahale edilebilir. Dolayısıyla uygun üretim parametreleri seçilerek daha gözenekli hala getirilen malzemelerin filtre olarak kullanılıp kullanılamayacağı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Anderson de Paula Barbosa, Guerold Sergueevitch Bobrovnitchii, Ana Lúcia Diegues Skury, Renan da Silva Guimarães, Marcello Filgueira 2010 Structure, microstructure and mechanical properties of pm fe–cu– co alloys. Materials and Design 31, 522–526

ASM Handbook Vol.6 Welding, Brazing and Soldering, ASM international, 1993, 269-271

ASM Handbook Vol.8 Mechanical testing and evaluation, ASM international, 1993, 237

ASM Handbook Vol 09 Metallography and Microstructures, ASM international, 1993, 269

ASTM- E 290-97a, Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility, American Society for Testing and Materials

ASTM- E 9-89a, Standard Test Methods for Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature, American Society for Testing and Materials

Aydın M. 2008 Gözenekli seramik malzeme ile paslanmaz çeliğin difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilmesi Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No:3

Callister W.D. Fundamentals of Materials Science and Engineering Newyork 2001.

C.A Afşin Toz metalurjusi ders notları, Kayseri

Cesar Edil da Costa, Walter Contreras Zapata, Moisés Luiz Parucker (2003), Characterization of casting iron powder from recycled swarf Journal of Materials Processing Technology 143–144, 138–143

Çengel Y., Cimbala M.J. Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları Engin T., Öz H. D., Küçük H., Çeşmeci Ş., Güven yayıncılık, İzmir,2008 2-53,55

Çiğdem M. 2006, İmal usulleri, Çağlayan kitabevi, Beyoğlu, İstanbul 3-192

Donald, R.A. (Ed.), 1988, Composite Metarials, The Science and Engineering of Metarials, SI Edition, Van Nostrand Reinhold.Co.Ltd., 507-546.

Eker, Ayşegül , Malzeme bilgisi ders notları 2007, İstanbul

Garmong, G., Paton, N. E. and Argon, A. S., 1975. Attainment of Full İnterfacial Contact During Diffusion Bonding, Met. Trans. 6A 1269-1279

German, R.M., 2007. Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri, Sarıtaş-Türker-Durlu, Türk Toz Metalurjisi Derneği, Ankara 2-197.

H. Abdoos, H. Khorsand, A.R. Shahani 2009, Fatigue behavior of diffusion bonded powder metallurgy steel with heterogeneous microstructure. Materials and Design 30,1026–1031

Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., 1999, Metal matrix composites production by stir method, Journal of Material Process Technology, 1, 92-93.

Hirotaka Kato , Masahiro Takama, Yoshiro Iwai, Kazuo Washida, Yoshinori Sasaki 2003 Wear and mechanical properties of sintered copper–tin composites containing graphite or molybdenum disulfide. WearVolume 255, 573–578
14th International Conference on Wear of Materials.

Ho-Sung Leea,, Jong-Hoon Yoona, Yeong-Moo Yi 2008, Fabrication of titanium parts by massive diffusion bonding. Journal of materials processing technology 201, 280–284

J.B. Fogagnolo, E.M. Ruiz-Navas, M.A. Simón, M.A. Martinez 2003, recycling of aluminium alloy and aluminium matrix composite chips by pressing and hot extrusion. Journal of Materials Processing Technology 143–144, 792–795

J. Gronostajski, A. Matuszak 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

J. Gronostajski, H. Marciniak, A. Matuszak 2000, new methods of aluminium and aluminium-alloy chips recycling. Journal of Materials Processing Technology 106, 34-39

Karadağ H. B.2012 Çelik/Bronz talaş kompozitin üretimi ve mekanik özellikleri Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

Kayalı E.S., Ensari C., Dikeç F. Metalik malzemelerin mekanik deneyleri İTÜ Kimya-metalürji fakültesi ofset atölyesi, İstanbul, 1990,2-4,3-66,6-83

Kurt. A., 2001. Kendi kendini yağlayan toz metal yataklar,Türk Toz Metalurjisi Derneği Bülteni, Ankara, 17, 4.

Madeleine Durand-Charre , Microstructure of Steel and cast irons,H. Davidson B.Met. Ph.D. C.Eng. M.I.M. Newyork, 2003, 8-163

M.G. Fillabi, A. Simchi, A.H. Kokabi 2008, Effect of iron particle size on the diffusion bonding of fe–5%cupowder compact to wrought carbon steels. Materials and Design 29, 411–417

Mohamed IbrahimAbdel, EunYooYoon, Hyoung Seop Kim 2013, Recycling of AlSi8Cu3 alloy chips via high pressure torsion Materials Science&Engineering A560, 121–128. Materials Science&EngineeringA560 121–128

Niyazi Ozdemir, Mustafa Aksoy, Nuri Orhan, 2003, Effect of graphite shape in vacuum-free diffusion bonding of nodular cast iron with gray cast iron. Journalof Materials Processing Technology141, 228–233.

Reshad Guluzade, Ahmet Avcı, M. Turan Demirci, Ö. Faruk Erkendirci 2013, Fructure toughness of recycled AISI 1040 steel chip reinforced ALMG1SİCU aluminium chip composites. Materials and Design 52, 345–352

Sarıtaş. S. 1994. Toz Metalürjisi, Makine Mühendisleri El Kitabı, Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 65-82.

ShuyanWua,b, Zesheng Ji, Tielei Zhanga 2009, 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

S. Szezepanik, T. Sleboda 1996, The influence of the hot deformation and heat treatment on the properties of p/m aı-cu composites. Journal of Materials Processing Technology 60, 729-733

Sui Xiandong, Luo Chengping, Luo Zhuoxuan and Ouyang Liuzhang 1997, The Fabrication and Properties of Particle Reinforced Cast Metal Matrix Composites. Journal of Materials Processing Technology 63, 426-431

Sungur H. http://www.cncteknoloji.net/plastik-enjeksiyon-kaliplama/plastik-enjeksiyon-kaliplama.html [Ziyaret Tarihi: 5 Kasım 2014]

Taşkın M, 2000 Yüksek Karbonlu Çeliklerin Süper plastik Halde Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

W. Chmura, J. Gronostajski 2000, Mechanical and tribological properties of aluminium-base composites produced by the recycling of chips. Journal of Materials Processing Technology 106, 2-27

W. Chmura, Z. Gronostajski 2006, Bearing composites made from aluminium and aluminium bronze chips. Journal of Materials Processing Technology 178, 188–193

W. Chmura, Z.Gronostajski 2007, bearing materials obtained by diffusion bondingof aluminium and aluminium bronze chips. Archives of cıvıl and mechanical engineering vol. VII 2007 no. 2 Wrocław University of Technology, Institute of Engineering and Automation, ul. Łukasiewicz 3/5, 50-371, Wrocław, Poland.

Wen-Ya Li a, Chang-Jiu Li, Hanlin Liao, Christian Coddet 2007, Effect of heat treatment on the microstructure and microhardness of cold-sprayed tin bronze coating. Applied Surface Science 253, 5967–5971

Yıng Tao,Zheng Ming-yi, Hu Xiao-shi, Wu Kun 2010, Recycling of az91 mg alloy through consolidation of machined chips by extrusion and ECAP. Trans. Nonferrous Met. Soc. China 20, 604-607

Yıng Tao, Zheng Ming-yi, Hu Xiao-shi, Wu Kun 2010 Microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy prepared by solid-state recycling process from chips. Trans. Nonferrous Met. Soc. China 20, 783-788

Ryoichi Chibaa, Tamon Nakamurab, Mitsutoshi Kurodac 2011, Solid-state recycling of aluminium alloy swarf through cold profile extrusion and cold Rolling Journal of Materials Processing Technology 211, 1878– 1887

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Abdullah ASLAN
Uyruğu	**:**	Türk
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Konya 18.02.1990
Telefon	**:**	0554 662 67 42
Faks	**:**	
e-mail	**:**	aaslan@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Karatay S.D.M.P. Anadolu Lisesi, Karatay, KONYA	2008
Üniversite	:	Niğde Üniversitesi, Merkez, NİĞDE	2012
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi,Selçuklu, Konya	-
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2012-2013	Eriell Group	Ar-Ge Sorumlusu
2013-2014	Tübitak 1001 Projesi (113M141)	Araştırmacı
2014-	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Malzeme Mekaniği

YABANCI DİLLER

İngilizce

IELTS(6.0) Reading(6.0) , Listening(6.0), Writing(6.0), Speaking(6.5)

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Abdullah ASLAN, Ömer Sinan ŞAHİN, Emin SALUR, Aydin Güneş, Hakan Burak KARADAĞ, Ahmet AKDEMİR, A New Method for Recycling of Metal Chips, JOSUNAS,2014

(Bu akademik yayın bu tez çalışmasından yapılmıştır)