



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK METAL TALAŞLARININ GERİ
DÖNÜŞTÜRÜLMESİYLE ÜRETİLEN METAL
MATRİS KOMPOZİT MALZEMELERİN
TALAŞLI İŞLENEBİLİRLİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Emin SALUR

YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Emin SALUR tarafından hazırlanan “Atık metal talaşlarının geri dönüştürülmesiyle üretilen metal matris kompozit malzemelerin talaşlı işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması” adlı tez çalışması 29/06/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA TEZİ~~ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

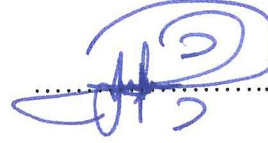
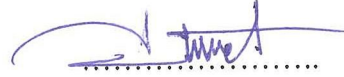
Danışman

Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Üye

Yrd. Doç. Dr. M. Turan DEMİRCİ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

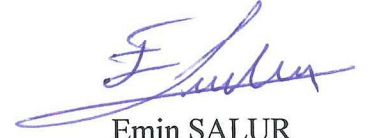
Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 113M141 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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



Emin SALUR

29.06.2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK METAL TALAŞLARININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİYLE ÜRETİLEN METAL MATRİS KOMPOZİT MALZEMELERİN TALAŞLI İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emin SALUR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

2017, 81 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Yrd. Doç. Dr. Mehmet Turan DEMİRCİ
Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

Bu tez çalışmasında Bronz (CuSn10) ve GGG-40 (Küresel grafitli dökme demir) talaşlarının çift etkili sıcak presleme yöntemiyle geri dönüştürülmesi neticesinde elde edilen metal matris kompozit malzemelerin talaşlı işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir.

Bu araştırmada, kimyasal bileşimi belirli olarak CuSn10 ve GGG-40 çubuklar dökülmüştür. Bu çubukların torna tezgâhında işlenmesi sonucu oluşan talaşlar kırıldıktan ve elendikten sonra dört farklı oranda karıştırılmıştır. Elde edilen bu karışımlar üç farklı basınç ve sıcaklık değerinde silindirik kalıp içerisinde çift etkili pres aracılığıyla basılarak metal matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler delik delme ve tornalama deneylerine tabi tutulmuştur. İşlenebilirlik deneyleri, CNC freze ve universal torna tezgâhlarında soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Delik delme deneylerinde sabit kesme hızı ve talaş derinliğinde iki farklı ilerlemenin oluşan kuvvetlere ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Tornalama işleminde ise sabit kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinde işlenebilirlik kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, farklı üretim parametrelerinin işlenebilirlik özelliklerine farklı etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak bahsetmek gerekirse delik delme ve tornalama işleminde kompozisyondaki dökme demir oranının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü artmış fakat itme kuvvetleri azalmıştır. Delik delme işleminde, numune üretiminde kullanılan basınç değerinin işlenebilirlik üzerine çok fazla etkisinin olmadığı görülmüştür. Tornalama esnasında genel olarak oluşan maksimum kuvvetler üretim basıncının en düşük olduğu değerlerde gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bronz ve dökme demir talaşı, işlenebilirlik, kesme kuvvetleri, metal matris kompozit malzeme, yüzey pürüzlülüğü

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF MACHINABILITY PROPERTIES OF METAL MATRIX COMPOSITES PRODUCED BY RECYCLING OF WASTE METAL CHIPS

Emin SALUR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY

**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

2017, 81 Pages

Jury

Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Asst. Prof. Dr. Mehmet Turan DEMİRCİ

Asst. Prof. Dr. Ahmet CAN

In this thesis, machinability properties of the metal matrix composites (MMC) that were produced of bronze (CuSn10) and cast iron (GGG-40) chips by recycling with double action hot press method were investigated.

For this work, first of all, CuSn10 and GGG-40 bars were casted at the desired chemical composition. After chips obtained from the bars which machined by turning lathe were broken and sifted, they were mixed in four different ratios. The mixed chips were produced at three different pressure (480, 640, 820 MPa) and temperature (350 °C, 400 °C, 450 °C) by double action hot press. MMCs were tested by drilling and turning. Machinability tests were made without using cooling liquid by CNC milling machine and universal turning lathe. In drilling tests, the effect of two different feeds and production parameters on cutting forces and surface roughness were investigated. In case of turning, the effect of different production parameters on cutting forces and surface roughness were examined. As a result, it was observed that different production parameters have different effects on machinability properties.

Keywords: Bronze and cast iron chips, cutting forces, machinability, metal matrix composites (MMC), surface roughness

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında beni projesine dahil eden, yüksek lisansa başladığım günden itibaren gerek akademik olarak bilimsel katkılarını ve tecrübelerini esirgemeyen gerekse sosyal anlamda her türlü desteğini gösteren değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN'e ve Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi arz ederim.

Ayrıca çalışmaların başından beri her aşamasında yanımda olan ve desteğini esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Abdullah ASLAN'a üretim aşamasında yardımcı olan Sayın Arş. Gör. Aydın GÜNEŞ'e, çalışma boyunca cihazlarından ve yorumlarından faydalandığımız Sayın Arş. Gör. Mustafa KUNTOĞLU ve sayın Prof. Dr. Hacı SAĞLAM'a, deney düzenine kurulumunda yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Osman ÖZTÜRK ve Doç. Dr. İlhan ASILTÜRK'e, yapılan tüm atölye işlerinde fikir ve uygulama bazında desteğini esirgemeyen teknisyenlerimiz Sayın Eyüp UYSAL'a ve Sayın Sami ÇAKAR'a ve tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu ve bundan sonraki çalışmalarım da desteğini esirgemeyecek olan abim ve sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet Nuri SALUR'a ve aileme sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

Emin SALUR
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Kompozit Malzemeler	8
3.1.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	11
3.1.2 Toz Metalürjisi.....	13
3.1.3 Toz Metalürjisi ile Sıcak İzostatik Presleme Yöntemleri Arasındaki Farklılıklar	15
3.2 Talaşlı İmalat	16
3.2.1 Talaş Kaldırma Mekanizması	17
3.2.2 Talaş Oluşumu	18
3.2.3 Talaş Şekilleri	19
3.2.4 Talaş Kaldırma İşleminde Oluşan Kuvvetler	20
3.3 İşlenebilirlik	21
3.3.1 Delik Delme	23
3.3.2 Tornalama	25
3.3.3 Yüzey Pürüzlülüğü	26
3.4 Kullanılan Malzemeler ve Temini	28
3.4.1 Bronz (CuSn10)	29
3.4.2 Küresel Grafitli Dökme Demir (GGG-40).....	30
3.5 Üretim Sistemi ve Numune Hazırlanması	32
3.5.1 Üretim Sistemi	32
3.5.2 Numune Hazırlama	38
3.6 Delik Delme İşlemi	44
3.7 Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	47
3.8 Tornalama İşlemi	49
3.8.1 Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi	51
3.9 Deney Tesisatının Kurulması.....	52
3.9.1 Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	54
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	56
4.1. Delme Deneyi Sonuçları	56
4.1.1. İlerleme Hızının Ve Farklı Üretim Parametrelerinin İtme Kuvvetlerine Etkisi	56

4.1.2 İlerleme Hızının Ve Farklı Üretim Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüklerine Etkisi	59
4.2 Tornalama Deneyi Sonuçları	65
4.2.1 Farklı Üretim Parametrelerinin Oluşan Esas Kesme Kuvvetlerine Etkisi	66
4.2.2 Farklı Üretim Parametrelerinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüklerine Etkisi.....	69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
5.1 Sonuçlar	74
5.2 Öneriler	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

MMK: Metal Matrisli Kompozit
TM: Toz Metalürjisi
KGDD: Küresel Grafitli Dökme Demir
YT/BUE: Yığıntı Talaş
PCD: Çok Kristalli Elmas
TSE: Türk Standartları Enstitüsü
ISO: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
DIN: Alman Standartlar Enstitüsü
 R_a : Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
 R_z : Ortalama Pürüz Yüksekliği
 F_c : Esas Kesme Kuvveti
 F_r : Radyal Kuvvet
 F_f : İlerleme Kuvveti

1. GİRİŞ

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de kullanılan malzemeler medeniyetlerin gelişmesini ve insan hayatını önemli miktarda etkilemiştir. İlk kurulan medeniyetlere bakıldığında kullanılan malzemelerin etkisi açıkça görülmektedir. (Ör: Bronz çağı, taş devri, demir çağı vs.). İnsanlar yaratıldıkları günden itibaren malzemelere ihtiyaç duymuşlardır. İlk başlarda doğada var olan malzemeler kullanılırken, artan ihtiyaçlar, sanayi devrimi ve teknolojik gelişmeler sonucu farklı malzemeler kullanılmıştır ve günümüzde hala çeşitli malzeme arama çalışmaları her geçen gün artarak devam etmektedir (Aslan, 2014). Teknoloji ilerledikçe insanların arayışları da ilerleme göstermiş ve yeni ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır. Kullanılan geleneksel malzemeler bu ihtiyaçları karşılayamamış ve farklı malzemelerin en iyi özelliklerinden meydana gelen malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sonucu olarak oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denilmiştir.

Kompozit birbirinden ayrı iki ya da daha fazla malzemenin makro boyutta birleşimi sonucu oluşan yeni malzeme sistemi olarak tanımlanır. Daha geniş anlamda kompozitler geleneksel malzemelere kıyasla daha iyi özelliklere sahip malzeme elde etmek için kimyasal özellikleri farklı iki ya da daha fazla malzemenin bir araya gelmesi sonucu oluşan yapılardır (Ekici, 2012). Bu yapıların sahip olduğu (hafiflik, tokluk, yorulma, aşınma) dayanımlarının yüksek olması sebebiyle özellikle uzay ve havacılık, otomotiv, spor ve savunma sanayi gibi alanlarda oldukça fazla kullanılmaktadır.

Artan dünya nüfusu ve azalan doğal kaynaklar sebebiyle geleneksel malzemeler yerine yeni malzemelere ve üretim yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Hem maliyetinin düşük olması hem de ham madde ihtiyacının az olması sebebiyle doğal dengeye verilen zararları da engelleyen geri dönüşüm yöntemleriyle imalat prosesleri dünyanın en önemli konularından biri haline gelmiştir. Ayrıca geri dönüşümle yeniden dönüştürülen maddelerin ham madde olarak kullanılması ve enerji tasarrufu sağlaması da geri dönüşüme gösterilen ilginin artmasına sebep olmuş ulusal ve uluslararası çalışmalar sonucunda geri dönüşüm birçok alanda zorunlu tutulmuş ve bu gelişmeler sonucu yeni bir yöntemin ortaya çıkmasına vesile olmuştur.

Geri dönüşüm yöntemleri diğer yöntemlere göre oldukça düşük maliyetlidir. Bunun sonucu olarak geri dönüşümün önemi dünya çapında her geçen gün artmaktadır. Çevre kirliliğinin engellenmesi açısından da atık malzemelerin ham madde olarak kullanılması da oldukça önemlidir. Metaller ise bu atık malzemelerin başında gelmektedir.

Metaller geri dönüşüm ve geri kazanım piyasasında oldukça büyük paya sahiptirler. Sanayileşme ile başlayan ve devam etmekte olan süreçte özellikle demir, çelik ve alüminyum metallerinin geri dönüşümü çok geniş yelpazeye sahiptir. Metaller için en yaygın geri dönüşüm metodu ergitme yöntemidir. Ergitme yönteminde hurdalar kullanım alanlarına göre çeşitli ergitme yöntemleriyle (ark ergitme, indüksiyon ile ergitme, potalı fırınlar ile ergitme, kupol ocakta ergitme) ergitilir ve böylece yeniden kullanıma kazandırılır. Fakat bu işlemler yüksek miktarda enerji gerektirir ve yüzeyde oluşan oksit tabakaları nedeniyle malzeme üzerinde ısı yalıtkan olarak davranır ve ısı iletimini azaltır. Ayrıca malzeme içerisinde bulunan hava boşlukları da ısı iletimini azaltarak malzemeyi ergitmeyi zorlaştırır (Aslan, 2014).

Yapılan çalışmada klasik yöntemlerden farklı olarak yeni metot geliştirilmiştir. Bu yeni metotta çift etkili pres ile talaşlı imalat sonucu oluşan talaşlar belirli sıcaklık ve basınç altında preslenmiş ve geri dönüşüm sağlanmıştır. Bu metot sayesinde malzeme yüksek oranda (%95) geri kazanılmaktadır. Bu oran döküm yöntemiyle kıyaslandığında çok daha çevreci ve düşük enerjilerle yapılmaktadır. Üretimin hem kapalı kalıpta meydana geliyor olması zehirli gazların salınımı engellenmektedir hem de ergitme işlemi olmadığı için enerji ihtiyacı düşük ve çalışma şartları daha kolay gerçekleşmiştir.

Bu imalat yönteminde dört farklı karışım oranında bronz (CuSn10) ve küresel grafitli dökme demir (GGG-40) talaşları farklı basınç ve sıcaklıklarda basılarak üretilmiştir.

Üretilen metal matrisli kompozitlerin (MMK) işlenebilirlik özellikleri, yüzey pürüzlülüğüne ve oluşan kesme kuvvetlerine göre incelenmiştir. Delik delme deneylerinde kesme hızı ve derinlik sabit tutulmuş farklı üretim parametreleri ve ilerleme şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneylerinde ise ilerleme, kesme hızı ve derinliği sabit tutularak farklı üretim parametrelerinin etkisi incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gronostajski ve Matuszak (1999), yaptıkları çalışmada, alüminyum ve alüminyum alaşımı talaşlarının geri dönüşümü üzerine yeni bir metot üzerinde çalışmışlardır. Bu yeni metotta eritme işlemi olmadan talaşlar direk bitmiş ürün haline getirilmiştir. Toz metalürjisi yöntemiyle kompozit malzeme üretimi yapıldıktan sonra iyi özellikleri karakterize edilmiştir. Tozlar 2100-4000 bar basınç altında soğuk preslenerek ve 500-550 °C de farklı açılara sahip konik kalıplar kullanılarak sıcak ekstrüzyon yapılmıştır. %15-30 arasında takviye malzeme eklenmesi çekme ve akma mukavemetini azaltmıştır. Basma testinde ise ikisinin de arttığı gözlemlenmiştir. Takviye malzemesinin tane boyutunun büyümesi mukavemeti artırırken şekillendirme kabiliyetini azalttığını tespit etmişlerdir.

Metal matrisli kompozit malzemelerin yüksek tokluk ve dayanımlarıyla birlikte yüksek sıcaklık özellikleri diğer malzemelere kıyasla daha iyi olmasına rağmen işlenebilirlik özellikleri kötüdür. Diğer yandan kompozitleri işlemek için kullanılan kesici takımların çabuk aşınması da maliyet artışına sebep olmaktadır (Günay, 2009). Bu özelliklerin etkisini azaltmak amacıyla gerekli üretim ve işleme parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları şu şekildedir.

Krishnamurthy ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada, silisyum karbür ve grafit takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini incelemişlerdir. Kesme parametrelerinin oluşan kuvvetler üzerinde etkisini belirlemişlerdir. Deneyler Al-SiC ve Al-grafit kompozitlerinin işlenebilirlik özelliklerini belirlemek için merkezi karma tasarım (CCD) sistemine göre gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin işlenmesi sırasında oluşan kuvvetlere etki eden faktörler belirlenmiştir. Al-SiC malzemesi için kesme derinliği yaklaşık %90 oranında etkilediği takviye oranı ise %4 oranlarında etkilerken, bu değerler Al-grafit için sırasıyla %59 ve %22 oranlarındadır. İlerleme ve kesme hızının artmasıyla, Al-SiC malzemesinde kuvvetin arttığı, Al-grafit malzemesinde azaldığı belirlenmiştir.

Kılıçkap ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, %5 SiC-p takviyeli alüminyum esaslı MMK malzemenin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Farklı hızlarda(50, 100, 150 m/dk), farklı ilerlemelerde (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev) ve farklı kesme derinliklerinde (0.5, 1 ve 1,5 mm) kaplamasız ve TiN kaplamalı K10 takım ucu kullanılmıştır. Soğutma sıvısı kullanılmadan yapılan deneylerde, takım aşınmasının kesme hızının artmasıyla birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Kaplamalı uç kullanıldığından

oluşan takım aşınmasının kaplamasız uç kullandığındakine göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ise ilerleme ve kesme hızından etkilenmiştir. Yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemede daha iyi yüzeyler elde edilmiştir.

Lin ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, %20 oranında SiC-p takviyeli A359 alüminyum esaslı MMK malzemenin tornalanması sırasında meydana gelen kuvvetleri ve takım aşınmasını çoklu regresyon analizi (MRA) ve genel radyal temelli fonksiyon (GRBF) sinir ağı metotlarını kullanarak incelemişlerdir. Farklı kesme hızları (300, 500, 700 m/dk), farklı ilerleme (0.1, 0.2, 0.4 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (0.5 mm) kullanarak yağlama veya soğutma sıvısı kullanmadan deneyler gerçekleştirilmiştir. İlerleme ve kesme hızının artmasıyla birlikte kesme kuvvetlerinin ve takım aşınmasının arttığı sonucuna varmışlardır. Deneylerden elde ettikleri veriler üzerinde yaptıkları MRA sonuçları ile GRBF tahminlerinin benzer olduğu tespit edilmiştir.

Ozben ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada, Silisyum karbür takviyeli alüminyum metal matris kompozitin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini incelemişlerdir. Farklı oranlarda SiC-p takviyesinin mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Takviyenin artmasıyla birlikte darbe tokluğu ve sertlik artarken çekme mukavemeti farklı bir eğilim trendi göstermiştir. SiC-p takviyesinin artmasıyla birlikte daha fazla takım aşınması meydana gelmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ise genellikle ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak artış göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğü takviye oranının artmasıyla birlikte de bir artış göstermiştir.

Cakir ve Isik (2008), yaptıkları çalışmada, farklı östemperleme sıcaklık ve zamanlarında östemperlenmiş sünek demirin işlenebilirliğini takım ömrü, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü açısından incelemişlerdir. Farklı sıcaklıklarda östemperleme süreleri sırasıyla 1 ve 2 saat olan numunelerin işlenebilirliklerini kıyaslamışlardır. Takım aşınması, kesme kuvveti ve yüzey kalitesi açısından östemperleme süresi 1 saat olan numunelerin işlenebilirliklerinin daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Sekulic ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada, sekiz farklı malzemenin alın frezelenmesinde oluşan kesme kuvvetlerini incelemişlerdir. Malzemelerin sertliğinin, mukavemetinin, kimyasal kompozisyonlarının, mikro yapılarının kesme kuvvetleri üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Düşük sertlik ve mukavemet değerlerinde daha düşük kesme kuvvetleri ve daha iyi işlenebilirlik elde edildiğini tespit etmişlerdir. Bakır ve bakır alaşımlarının çelikten çok daha kolay

işlendiğini, bakırın bronzdan daha zor işlendiğini fakat bronzunda pirinçten daha zor işlendiğini belirtmişlerdir.

Reddy ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada, Al/SiC-p MMK malzemenin frezeleme sonucu işlenebilirlik özelliklerinin deneysel sonuçlarını incelemişlerdir. Deneyler TiAlN kaplı karbür kesici uçla gerçekleştirilmiştir. Farklı kesme parametrelerinin yüzey kalitesine ve alt yüzey hasar miktarına etkilerini SiC-p takviyeli Al ve takviyesiz Al alaşımları için incelemişlerdir. Takviye elemanın varlığı hem yüzey pürüzlülüğü hem de takım ucuna yığılma eğilimini azaltmıştır. Kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmişlerdir. İlerleme hızının artmasıyla birlikte ise yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirtmişlerdir.

Kumar ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada, iğ devri ve ilerleme oranının karbon çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Beş farklı karbon alaşım çeliği işlenmiştir. Düşük ilerleme oranında ve yüksek iğ devrinde numuneler işlendiği zaman daha iyi yüzey kalitesinin elde edileceğini belirtmişlerdir.

Kiswanto ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada, 1100 alüminyum alaşımının mikro-delme işleminde iğ devri, ilerleme hızı ve işleme zamanının yüzey pürüzlülüğüne ve talaş formuna etkisini incelemişlerdir. İlerleme oranının ve işleme zamanının yüzey pürüzlülüğüne çok etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Düşük ilerleme oranlarında daha düzgün yüzeyler elde edildiğini fakat sürekli talaş ve daha uzun işleme zamanına sebep olduğunu tespit etmişlerdir.

Manna ve Bhattacharayya (2003), yaptıkları çalışmada silisyum karbür takviyeli alüminyum esaslı metal matris kompozitlerin (Al/SiC) tornalama işlemi boyunca işlenebilirlik özelliklerini incelemişlerdir. İşleme parametrelerinden kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Ayrıca kesme hızı ve ilerlemenin serbest yüzey aşınmasına etkisi de araştırılmıştır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin takım aşınmasına ve yığıntı talaş oluşumuna (BUE) etkisi analiz edilmiştir. Kesme kuvvetlerinin kesme hızından bağımsız olduğu 60 ve 150 m/dk arasındaki kesme hızı bölgesinin Al/SiC malzemesi için uygun olduğunu tespit etmişlerdir. Serbest yüzey aşınması için kesme hızıyla kıyaslandığı zaman ilerlemenin daha az etkisi olduğunu belirlemişlerdir. Yüksek hız, düşük ilerleme ve kesme derinliğinde daha iyi yüzey elde etmişlerdir.

Shoba ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada, metal matrisli kompozitleri işlerken takviye malzemesinin kesme ve itme kuvvetlerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda takviye yapılmış ve yapılmamış numuneler için farklı işleme koşullarında

oluşan kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. İş parçasının termal yumuşamasından dolayı kesme hızı arttıkça oluşan kesme kuvvetlerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Kannan ve Kishawy (2008), yaptıkları çalışmada, tornalama işleminde kuru ve ıslak durumlarda talaş formunu, yüzey kalitesi ve takım aşınmasını incelemişlerdir. Soğutucunun takım ömrü üzerine etkisinin düşük hızlardan daha çok yüksek hızlarda ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Islak durumda, yüksek hızlarda takım ömrünün arttığını fakat yüzey kalitesinin bozulduğunu tespit etmişlerdir. Bunun sebebi olarak da yüzeyden kopan talaşlarını soğutma sıvısıyla yüzeyden uzaklaşırken yüzeyde çukurların oluşmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Islak durumlarda kesme yapıldığı zaman işlenmiş yüzeyde daha yüksek seviyelerde mikro sertliğe sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Sornakumar ve Kumar (2008), yaptıkları çalışmada, bronz-alüminyum kompozit malzemesinin karbür uçla işlenebilirliğini incelemişlerdir. Bronz-alüminyum kompozit malzemelerini karıştırılmalı dökümle hazırlamışlardır. Deneyler sonucu bronz-alüminyum malzemesini işledikten sonra karbür uçta oluşan aşınmanın bronzu işledikten oluşan aşınmadan daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Artan kesme hızlarıyla birlikte oluşan kesme kuvvetlerinin azaldığını saptanmıştır.

Vilarinho ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, kimyasal kompozisyonların pirincin işlenebilirliği üzerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada hem ticari alaşımlar hem de laboratuvarda hazırlanan alaşımların etkisi incelenmiştir. Bakır içeriği açısından incelendiği zaman kesme kuvvetleri ve kimyasal kompozisyonlar arasında çok önemli bir bağlantı olmadığını tespit etmişlerdir. Cu-Sn-Zn ve Al-Cu-Zn üçlü alaşımların sertliğinin işlenebilirlik üzerinde önemli bir role sahip olduğunu belirtmişlerdir.

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

MMK malzemeler, geleneksel malzemelere göre sahip oldukları üstün özellikleri sayesinde birçok mühendislik uygulamasında kullanılan ve her geçen gün kullanımı artan malzeme grubudur. Birçok farklı yöntemlerle üretilen MMK malzemeler, genel olarak son şekillerine yakın üretilmelerine rağmen istenilen boyut ve yüzey kalitesi için temel işleme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat MMK malzemeleri oluşturan takviye fazlarının yüksek dayanımları ve sert olmaları, işlenebilirliklerini zorlaştırmakta ve bunun sonucu olarak kullanım alanlarını kısıtlamaktadır.

Yapılan çalışmalarda genellikle alüminyum ve alaşımları matris olarak, çeşitli seramiklerde takviye elemanı olarak seçildiği gözlenmiştir. Farklı MMK malzemeler üzerine yapılmış çalışmalar oldukça azdır. Takviye oranının işlenebilirlik üzerine etkisini detaylı inceleyen çok fazla çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmada, yeni geliştirilen metotta atık talaşların çift etkili pres yardımıyla sıcaklık altında preslenerek geri dönüşümü sağlanarak üretilen MMK malzemelerin işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir. Bu sayede literatürde bulunan eksikler giderilmiş olacaktır. Üretilen malzemelerin işlenebiliyor olması ham numunenin bir makine elemanına dönüştürülebilir olacağını göstermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde sırasıyla kompozit malzemeler hakkında genel bilgiler, metal matrisli kompozitler ve üretim yöntemleri, toz metalürjisi, talaşlı imalat, işlenebilirlik konularında bilgiler verilmiştir. Çalışmalarda kullanılan malzemeler, üretim metodu ve kullanılan cihazlar tanıtılmıştır. Daha sonra üretilen MMK malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini belirlemek için kullanılan materyal ve yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Kompozit Malzemeler

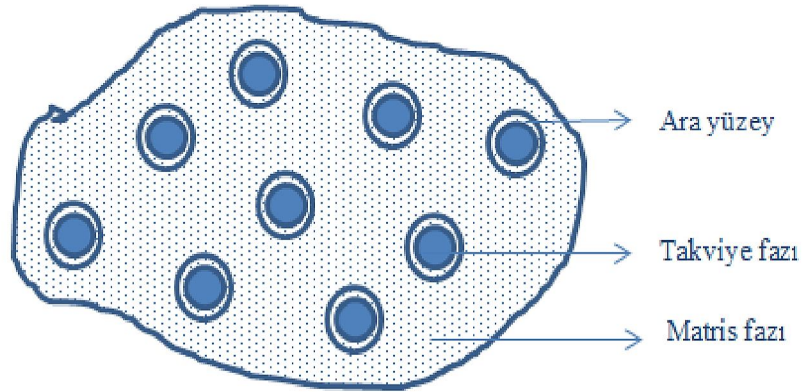
Geniş anlamda ‘kompozit’ kelimesi iki veya daha fazla parça demektir. Kompozit malzeme, ayrıldıkları zaman elde edilen malzemelerin her birinden daha üstün karakteristik özelliklere sahip olan farklı özelliklere sahip iki ya da daha fazla malzemenin birleştirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Geleneksel malzemelere (metal, seramik, polimer, vb.) ek olarak çeşitli alanlarda kullanılan farklı bir grup malzemelerdir. Geniş kapsamda bazı kompozit malzeme örnekleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kompozit malzemelere örnekler

	Bileşenler	Uygulama Alanları
1.Organik Matrisli Kompozitler <i>Kâğıt, karton, Kerpiç Ok yayı</i>	<i>Reçine, selüloz Çamur, saman, ağaç dalı Ağaç levhalar, deri</i>	<i>Basım ve ambalajlama Eski evlerin yapımında Avcılık, savaş ekipmanı</i>
2.Metal Matrisli Kompozitler	<i>Alüminyum, karbon fiberler</i>	<i>Uzay ve havacılık Otomobil</i>
3.Mineral Matrisli Kompozitler <i>Beton Seramik kompozitler</i>	<i>Çimento, kum, çakıl Seramik, cam fiberler</i>	<i>İnşaat mühendisliği Uzay, bio malzeme, roket</i>
4. Sandviçler <i>Tabakalar Çekirdekler</i>	<i>Metaller, kompozitler Köpük, bal peteği</i>	<i>Dış cephe kaplamaları ve birçok alanda</i>

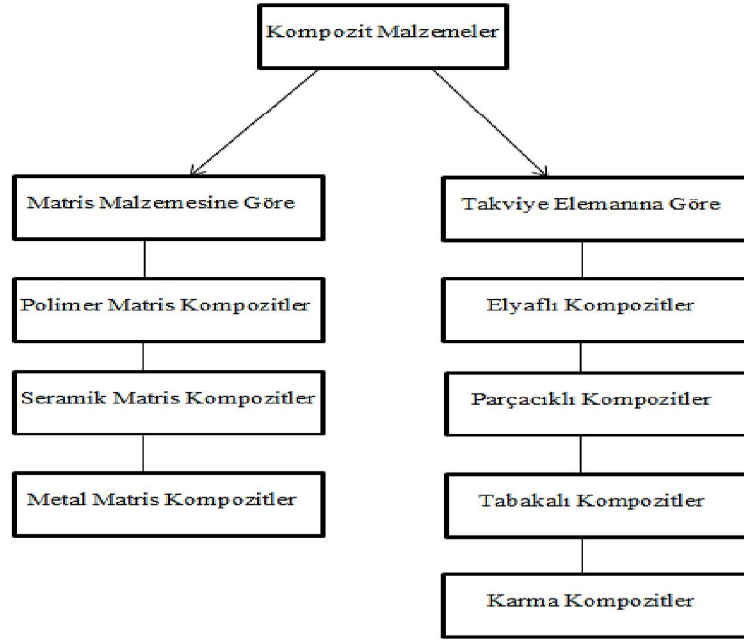
Kompozit malzemeler yapısında, malzeme özelliklerini iyileştiren takviye malzemesi, bu malzemeyi bir arada tutarak yükü paylaşan matris malzemesi ve matris ile takviye arasındaki yapışmayı belirleyen ara yüzey malzemesi bileşenlerini bulundurmaktadır. Matris fazı hacimce fazla ve sürekli olan fazdır. Yapıyı bir arada

tutmak, gelen yük ve darbeleri takviye elemanlarına aktarmak ve takviye elemanlarını korumak gibi görevleri de vardır. Takviye fazı ise matrisin dayanım ve rijitliğini artırır. Kompozit sistemdeki faz bileşenlerinin malzeme kullanımı ve tipine göre farklı rolleri vardır. Şekil 3.1’de kompozit malzemelerdeki fazları göstermektedir.



Şekil 3.1 Kompozit malzemelerdeki bileşenler

Günümüzde ilerleyen teknolojilerle birlikte, uzay ve havacılık, gemi, otomobil, enerji gibi birçok sektörde farklı malzemelerden istenilen özelliklerin kombinasyonuna sahip olan kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozit malzemelerin üretim seçenekleri sonsuz denebilecek kadar fazladır. Bundan dolayı sınıflandırılmaları oldukça zordur fakat yaygın olarak kullanılan sınıflandırmalar mevcuttur. Genel olarak, kompozitler matris ve takviye malzemelerine göre iki gruba ayrılarak sınıflandırılır. Şekil 3.2’de kompozit malzemelerin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin karakteristik özellikleri diğer malzemelere göre birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Uzun ömürleri, yüksek mekanik ve aşınma dayanımları, hafif olmaları, vb. birçok özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler. Kompozit malzemelerin de tüm malzemelerin sahip olduğu gibi kullanım alanlarına göre avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar Çizelge 3.2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Yüksek mukavemet	Maliyet
Yorulma, aşınma ve korozyon dayanımı	İşlenebilirlik
Hafiflik ve rijitlik	Geri dönüşüm olasılığının az olması
Elektrik iletkenlik	Yapışma sorunu
Akustik iletkenlik	Bazı kompozitler için üretim zorluğu
Isıl iletkenlik ve termal özellikler	Standartlaşmış kaliteleri yoktur
Estetiklik	
Çeşitlilik	
Sızdırmazlık	
Kolay montaj ve tamir edilebilirlik	

Kompozit malzemeler, sahip oldukları avantajlar sayesinde endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalara bakıldığında çok farklı türlerinin kullanıldığı, geleneksel malzemelere en büyük alternatiflerden olan metal matrisli kompozitler (MMK) göze çarpmaktadır. Son yıllarda MMK ile ilgili birçok farklı üretim yöntemleri geliştirilmiş ve bu yöntemler literatürde olumlu şekilde yer almıştır.

3.1.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal matris kompozit (MMK), en az bir tanesi metal olan, iki veya daha fazla bileşenlerinin ise metal veya farklı bir malzeme olarak bir araya gelmesiyle elde edilen yeni malzemelerdir. MMK malzemelerin oluşum seçenekleri oldukça fazladır. MMK'lerin matris fazı genellikle mekanik özellikleri yüksek olan hafif metal ve metal alaşımlarından oluşmaktadır. Takviye elemanını geometrisine göre ise metal matrisli kompozitler Şekil 3.3'de görüldüğü gibi matris içerisinde partikül, kısa ve sürekli fiber veya whisker şeklinde yer alır. Takviye elemanı kompozitin maliyetini, özelliklerini ve performansını belirlediği için çok önemlidir. Partikül veya sürekli fiber takviye elemanları MMK malzemelerin özelliklerinin gelişmesi için önemlidir ve farklı uygulamalar için kullanılırlar. Uygulama alanına en uygun kompoziti elde etmek için metal matrisinin hafiflik ve iyi mekanik özelliklerine ek olarak takviye elemanın; boyutu, şekli, dağılımı, vb. özellikleri çok önemlidir.



Şekil 3.3 Takviye fazı geometrisine göre MMK malzemeler (Aslan, 2014)

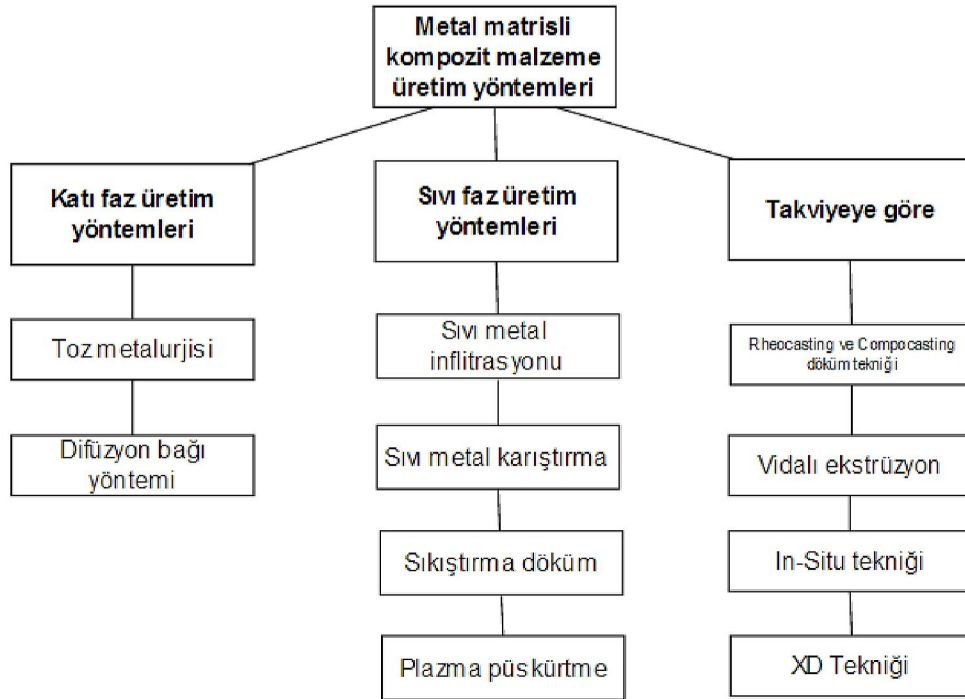
MMK malzemeler metallere göre üstün özelliklere sahiptir. Bunlar:

- Özgül mukavemet ve özgül modül
- İyi korozyon direnci,
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenlik

- Tekrar üretilebilirlik
- Yüksek dayanım (çekme, basma, aşınma)
- Estetik görünüm
- Radyoaktif dayanıklılık

olarak sıralanabilir (Chawla, 2006). Fakat metaller gibi standartlara sahip olmadıkları için MMK malzemeler hakkında elde edilen bilgiler arasında farklılıklar da mevcuttur. Karmaşık üretim yöntemleri, maliyeti yüksek üretim sistem ve ekipmanlarını da MMK malzemelerin dezavantajları olarak sıralayabiliriz.

MMK malzemelere, üretimleri esnasında kompoziti oluşturan malzemelerin en iyi özelliklerini bir araya getirerek üstün özellikler kazandırılabilir. Uygun üretim yöntemini seçmek için maliyet ve ürün kalitesi temel faktördür. Bu doğrultuda farklı üretim yöntemleri geliştirilmiştir (Günay, 2009). Bu yöntemler Şekil 3.4' de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 MMK malzemelerin üretim yöntemleri (Aslan, 2014)

Üretim yönteminin seçiminde maliyet ve ürün kalitesine ek olarak takviye ve matris malzemesi arasındaki uyum, takviye malzemesinin matris içerisindeki homojen dağılımı, ara yüzey bağının sağlanması, uygun çalışma sıcaklık aralığının sağlanması gibi parametreler de dikkate alınmalıdır.

3.1.2 Toz Metalürjisi

Toz metalürjisi (TM), genel anlamıyla (0,1-200 μ m) boyutlarındaki metal tozlarının çeşitli bağlayıcılar yardımıyla sıcaklık ve basınç altında bir araya getirilme işlemidir. MMK malzemelerin üretiminde kullanılan en yaygın tekniklerden biridir. Takviye partiküllerin sıvı metal tarafından ısıtılmasındaki güçlük nedeniyle TM yöntemiyle kompozit malzeme üretimi ilk geliştirilen yöntemlerdendir (Huda ve ark., 1995).

TM, boyutsal hassasiyeti yüksek olan, karmaşık ve küçük parçaların üretimi için en uygun yöntemlerden birisidir. Son şekle yakın geometriyi elde etmek kompozit, küçük ve karmaşık malzemeler için oldukça maliyetli ve zor bir işlemdir. Malzeme kaybının oldukça az, verimliliğin yüksek olduğu TM yöntemi enerji ve hammadde ihtiyaçlarını karşılayarak geleneksel yöntemlere alternatif oluşturmaktadır. Ayrıca TM yöntemi hassas mikro yapı kontrolüne sahiptir ve proses istenilen hassasiyete uygun olacak şekilde belirlenir.

Döküm ve dövme tekniklerine kıyasla mekanik özellikleri daha düşük olabilir. Ek işlemlerle bu özellikler iyileştirilebilir fakat maliyetin artmasına sebep olur. Yüksek kalıp maliyeti nedeniyle belirli sayıda parça üzerinde seri üretim için daha uygundur. Üretim esnasında presleme ve sinterlemenin ayrı yapılmasından dolayı elde edilen parçada kesit boyunca yoğunluklar farklılık gösterebilir ve dikkat edilmesi gerekmektedir.

TM üretim yönteminde kullanılan metal tozlarının şekilleri ve boyutları (5-200 μ m) arasında farklılık gösterir. Bu farklılıkları ve dağılımı tespit etmek için ışık analizi, mikroskopik muayene, elek analizi gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Parçacık boyutu küçüldükçe homojen dağıtma işlemi zorlaşır. Özellikle 100 μ m' nin altındaki parçacıklar yüksek çekim kuvvetleriyle dağıtma işlemine direnç gösterirler (Saritaş, 1994).

TM yöntemiyle elde edilen malzemenin özelliklerini, bir araya gelecek olan parçaların imalatında kullanılan partiküllerin özellikleri belirlemektedir. Metal tozlarının özelliklerinin belirlenmesi, TM yöntemiyle üretilecek olan malzemelerin boyut hassasiyeti, yüzey pürüzlülüğü ve çalışma parametrelerini etkileyeceği için büyük öneme sahiptir. Kullanılacak olan metal tozlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini

bilmek gerekir (Kurt, 2001). Fiziksel özellikleri belirlemek için tane şekli, boyutu ve dağılımına dikkat edilir. Kimyasal özellikler için ise tozların safsızlıklarına ve yüzde kimyasal kompozisyonlarına dikkat etmek gerekmektedir. Çok fazla sayıda tane şekli olduğundan dolayı hepsini ifade etmek zordur. Yaygın olarak kullanılan tane şekilleri ve isimleri Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Tane şekilleri (German, 2007)

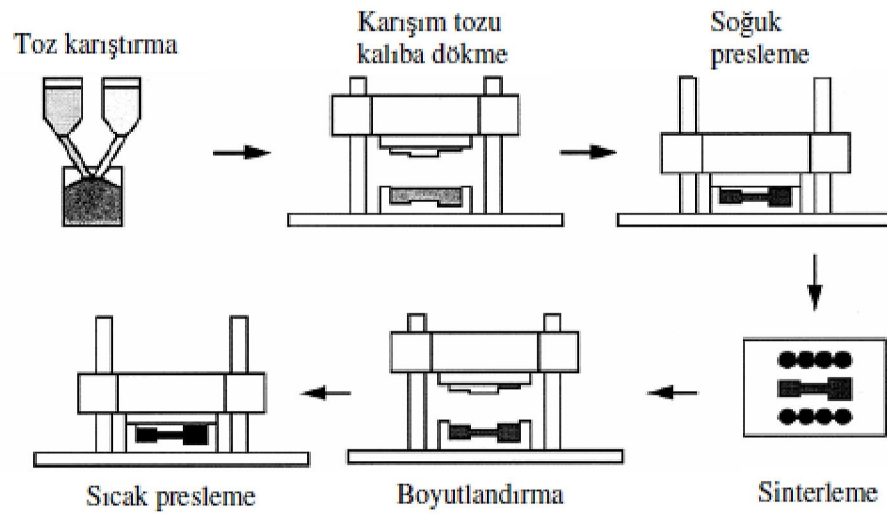
*Toz üretim yöntemleri

TM yöntemiyle üretim yapabilmek için tozları şekillendirmek ve aralarında bağ oluşturabilmek gerekmektedir. Bir toz için uygun üretim yöntemini seçmek için tozların özelliklerine ve bu özelliklerin ihtiyaçları ne kadar karşılayabildiğine bakılmalıdır. Toz üretmek için kullanılan başlıca yöntemler; mekanik üretim, kimyasal üretim, elektrolit biriktirme, atomizasyon ve buharlaştırma teknikleridir (German, 2007).

Darbe, aşındırarak öğütme, kesme ve basma olmak üzere dört farklı şekilde mekanik üretim yöntemi vardır. *Darbe*, ani ve çok hızlı olarak gerçekleştirilir ve malzeme küçük parçalara ayrılır. *Aşındırarak öğütme*, aşındırıcıların birbiri üzerinde sürtünmesi sonucu parçacık boyutunun küçültülmesi işlemidir. *Kesme*, talaşlı imalatla malzemelerin kesilerek parçalanmasıdır. Fakat kesme işlemi sonucu oluşan tozların büyük olma ihtimali vardır. *Basma*, basma kuvvetleri altında malzemenin kırılma noktasına kadar deformasyona uğratılması sonucu toz haline getirme işlemidir. Haddelenmiş malzemelerin kesme işleminde talaşlı imalat sonucunda düzensiz ve iri şekilde tozlar elde edilir. Metal tozu elde etmek için talaşlı işleme sonucu ortaya çıkan

talaş hurdaları önemli bir kaynaktır. Kimyasal yöntemlerle bu hurdalar temizlenir ve boyutlarının küçültülmesi için öğütme işlemine maruz kalırlar. Öğütme işlemi parçacık şeklini ve boyutunu değiştirmek için oldukça yaygın bir yöntemdir. İşleme sıvısı ve hava kaynaklı kirliliklere ek olarak kimyasal kirliliğe de sahip olan tozların kontrolü öğütme işleminin olumsuz tarafıdır (German, 2007).

TM üretim aşamaları üretilecek olan parçanın fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Fakat en iyi özelliklere sahip malzeme üretmek için başlıca Şekil 3.6’da gösterilen basamaklar uygulanır.



Şekil 3.6 Toz metalürjisi üretim aşamaları (Günay, 2009)

3.1.3 Toz Metalürjisi ile Sıcak İzostatik Presleme Yöntemleri Arasındaki Farklılıklar

Toz metalürjisi yönteminin üstünlüklerine rağmen bazı dezavantajları da vardır. Kullanılacak olan metal tozlarının pahalı olması, ekipman maliyetinin yüksek olması, sinterleme ve presleme işleminin ayrı yapılmasından dolayı parça boyunca yoğunluk değişimleri bunlardan bazılarıdır.

Sıcak presleme yöntemi, tozların kapalı bir kalıp içerisinde (eş eksenli ve eş basınçlı pistonlarla) pres yardımıyla istenilen sıcaklık altında belirli bir süre basılarak malzeme üretme yöntemidir. Bu çalışma kapsamında uygulanacak olan yöntemin TM yöntemine göre iki tane üstünlüğü vardır. İlk olarak bu yöntemde kullanılacak olan talaşlar üretim sonrasında oluşan hurda talaşlardan oluşmaktadır. İkincisi ise presleme

işleminin sıcaklık altında yapılması presleme işleminden sonra yapılan sinterleme işlemine olan ihtiyacı ortadan kaldırmıştır. Hem tozların atıklardan oluşması, hem de sinterleme işlemine gerek duyulmaması zaman, işçilik, enerji tasarrufu sağlar ve bunların etkileşimi sonucu oluşan maliyetin düşürülmesi konusunda da önemli rol oynar.

3.2 Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat, iş parçasının uygun talaşlı imalat tezgâhlarına bağlandıktan sonra gerekli olan kesici takımlar aracılığıyla iş parçasından talaş kaldırılarak parçanın şekillendirilmesini kapsayan yöntemdir. Son yıllarda gelişen birçok yeni imalat yöntemleri (kalıplama, kimyasal talaşlı işleme, elektro erozyon ile işleme, vb.) olmasına rağmen, talaşlı imalat yöntemi 200 yılı aşkın süredir gerçekleştirilmekte ve hala endüstride kullanılan imalat yöntemlerinin önemli bir oranına sahiptir (Morehead, 2007). Farklı şekillendirme yöntemleriyle (haddeleme, dövme, vb.) üretilen malzemeleri kullanıma hazır hale getirmek için genellikle talaşlı imalat yöntemine ihtiyaç duyulur. Talaşlı imalat işlemi sadece parçalara tamamen son şekillerini kazandırmak için kullanılmaz aynı zamanda öncesinde şekil verilmiş olan parçalar üzerinde bitirme işlemi olarak da sıklıkla kullanılmaktadır.

Talaşlı imalat yöntemi endüstride çok fazla yer almaktadır. Bundan dolayı talaşlı imalat yönteminin maliyetini optimize etmek için kesici takımların performansları ve iş parçalarının işlenebilirlik özellikleri üzerine çok fazla çalışma yapılmıştır. Bu yapılan çalışmalarda bir diğer hedef ise talaşlı imalat sonucu oluşan parçada daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmektir. Hem maliyetin düşürüldüğü hem de talaşlı imalatı işleminin azaltılarak istenilen yüzey kalitesinin elde edildiği çalışmalar sınırlıdır.

Talaşlı imalat sistemi, genellikle en uygun kesici takım-iş parçası-takım tezgâhı birleşimini bulmaya çalışmaktır. Yüksek kesme hızlarında, hızlı şekilde daha fazla talaş kaldırarak ve ölçü tamlığını sağlayarak iyi yüzey kalitesi elde etmek talaşlı imalatın amaçlarından ve en uygun kombinasyonu bulmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir çoğunluğu ise zor şartlarda dahi işlemeye devam edebilen kesici takım malzemeleri üzerinedir. İşlemesi zor olan yeni yapısal alaşımların ortaya çıkması, yüksek verimlilik ve düşük üretim maliyeti için artan talep kesici takımların gelişimi için etkili olan faktörlerden bazılarıdır (Ezugwu, 2005).

R = Bileşke takım kuvveti

γ = Talaş Açısı

R' = Bileşke talaş kuvveti

ϕ = Kayma Açısı

t = Deforme olmamış talaş kalınlığı

α = Boşluk Açısı

t_c = Deforme olan talaş kalınlığı

l_s = kayma düzlemi uzunluğu

V_c = Talaş hızı

r = Kesici takım uç radyusu

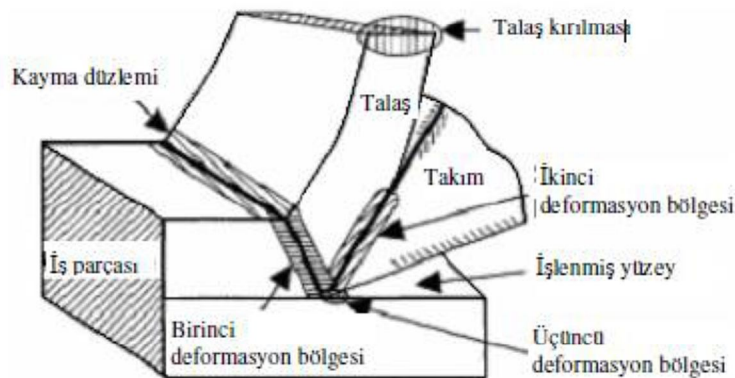
v = Kesme hızı

w = İş parçası genişliği

şeklinde tanımlanır.

3.2.2 Talaş Oluşumu

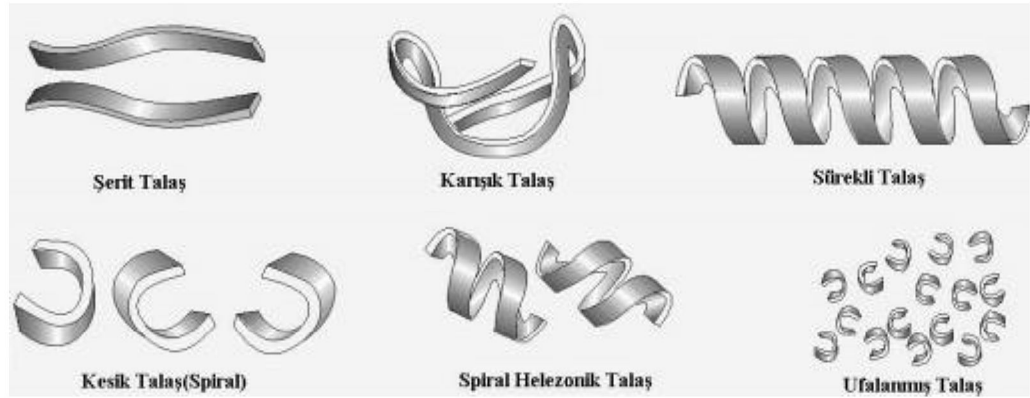
Talaş kaldırma işlemi, kayma gerilmesi sonucu meydana gelen bir durum olarak değerlendirilebilir. Talaş oluşumu ince bir bölgede meydana gelir. Kesici takım önünde yer alan basma alanında yüksek deformasyon hızı sonucu oluşan yüksek gerinimli plastik bölge bulunmaktadır. Talaş oluşumu bu alandaki iş parçasının deformasyonu sonucu gerçekleşir. Bu alan da diğer tüm plastik deformasyon işlemlerinde olduğu gibi plastik ve elastik basma bölgelerinden oluşmaktadır. Elastik bölge sınırının bittiği noktada plastik bölge başlar. Plastik şekil değiştirme sonrasında, sürtünme, ısı oluşumu, talaş kıvrılması, parça yüzeyinde sertleşme, takım ucunda aşınma başlangıcı olayları meydana gelir. Dik kesme işlemi boyunca meydana gelen işleme zamanında Şekil 3.8’de gösterildiği gibi üç farklı deformasyon bölgesi oluşmaktadır. *Birinci deformasyon bölgesi*, kesici takım ve iş parçası arasındaki hareket sonucu meydana gelen gerilme parçayı birinci bölgede plastik deformasyona uğraması sonucu talaş oluşan bölgedir. *İkinci deformasyon bölgesi*, sürtünme kuvvetinin etkisiyle takımla talaşın temas ettiği bölge boyunca oluşan basınçtan kaynaklı takımla talaş arası yüzeyde oluşan deformasyondur. *Üçüncü deformasyon bölgesi*, kesici takımın yan yüzeyinin işlediği yüzeye teması sonucu oluşan deformasyondur (Günay, 2009).



Şekil 3.8 Plastik deformasyon bölgeleri (Günay, 2009)

3.2.3 Talaş Şekilleri

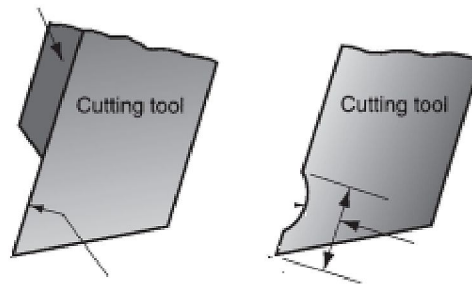
Çeşitli talaşlı imalat tezgâhlarında gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemlerinde işleme parametreleri, malzeme, işleme şekli, vb. parametrelere göre farklı talaş şekilleri oluşmaktadır. Oluşan bu farklı talaş şekilleri bitirme işlemlerini, yüzey kalitesini, takım ömrünü önemli derecede etkiler. Çok fazla şekilde talaş şekli oluşmaktadır fakat genelde karşılaşılanlarını; sürekli, süreksiz, yığıntı talaş tipleri olarak sınıflandırabiliriz (Şahin, 2000a). Oluşan değişik talaş çeşitleri Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 İşleme sonucu oluşan farklı talaş şekilleri (Şahin, 2000a).

Sürekli Talaş

Yüksek kesme hızlarında nispeten daha küçük ilerleme ve derinliklerde sünek malzemeleri işlerken meydana gelen uzun sürekli oluşan talaş tipidir. Genellikle bu talaş tipi oluştuğunda iyi yüzey elde edilir. Takım üzerinde keskin bir kesici kenar ve düşük takım-talaş sürtünmesi sürekli talaş oluşumunu tetikler. Özellikle tornalama da uzun sürekli talaşlar takıma dolanma ve talaş atma gibi problemlere neden olurlar. Bu problemleri çözmek için takımlar genellikle Şekil 3.10’da gösterildiği gibi talaş kırıcı özelliğe sahiptirler.



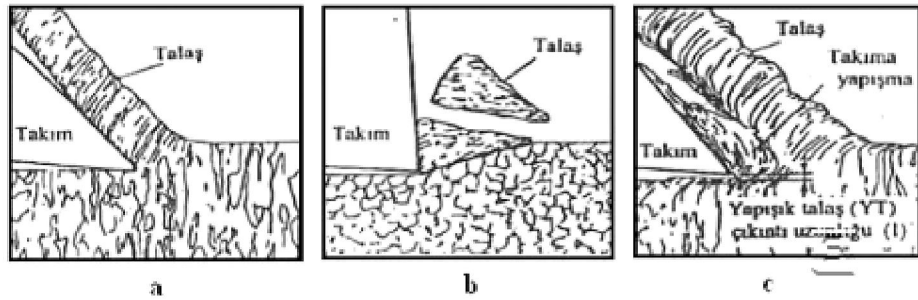
Şekil 3.10 Talaş kırıcı takımlar (Mikell, 1999)

Süreksiz Talaş

Nispeten daha kırılgan malzemeleri (dökme demir gibi) düşük kesme hızlarında işlerken meydana gelen ve talaşların genellikle ayrı dilimlerde oluştuğu talaş tipidir. Bu durum işlenmiş yüzeyde düzgünsüzlüğe neden olur. Yüksek takım-talaş sürtünmesi, büyük kesme derinliği ve ilerleme bu düzgünsüzlüğün artmasına sebep olur.

Yığıntı Talaş (YT/BUE)

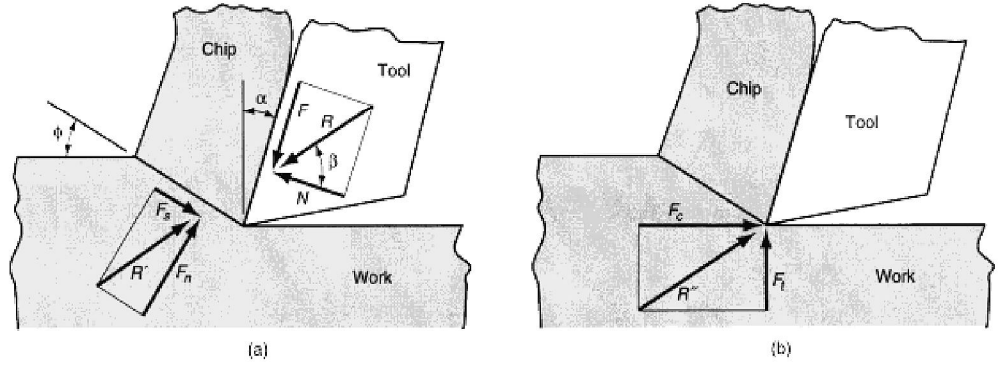
Düşük ve orta kesme hızlarında sünek malzemeleri işlerken, takım ve talaş arasındaki sürtünmeden dolayı iş parçasının bir kısmının kesme kenarının talaş yüzüne yapışarak oluşan talaş tipidir. Sürtünme çok büyük olduğu için iş parçasından kaldırılan talaş takım yüzüne kayar. BUE oluşan ve büyüyen kararsız olduğu zaman kırılan bir döngüsel oluşumdur. Kırılmalar sonucu takım malzemesinde de kopmalar meydana gelir ve takım üzerinde mikro oyuklara sebep olarak takım ömrünü azaltır. Bu oyuklara ‘Adezyon aşınması’ da denir. Talaş alt yüzeyinden takım yüzeyine doğru taşınan kırılmış partiküller mekanik hareket sonucu takım yüzeyinde aşınma meydana getirirler. Bu durum ise ‘Abrezif aşınma’ olarak adlandırılır. Şekil 3.11’ de yukarıda bahsedilen talaş tiplerinin oluşumları gösterilmektedir.



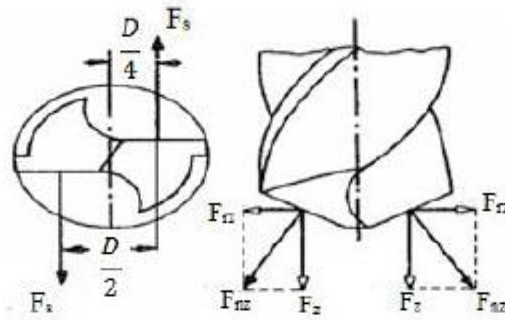
Şekil 3.11 Talaş tipleri; (a) Sürekli talaş (b) Süreksiz talaş (c) Yığıntı (BUE) talaş (Akkurt, 2000)

3.2.4 Talaş Kaldırma İşleminde Oluşan Kuvvetler

Talaş kaldırma esnasında oluşan kuvvetlerin yüzey kalitesi, takım ömrü, kesme performansına ve bunların etkileşimi olarak birim parça maliyetine doğrudan etkisi vardır. İmalatın sürekliliği, güvenilir, kaliteli ve ekonomik olarak devam etmesi için işleme sırasında oluşan kuvvetlerin hassas bir şekilde belirlenmesi gerekir. Talaş kaldırma esnasında oluşan kuvvetler Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Delik delme işleminde oluşan kuvvetler ise Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Kesmede oluşan kuvvetler; (a) Ortogonal kesmede talaşa etkiyen kuvvetler, (b) Ortogonal kesmede takıma etkiyen kuvvetler (Mikell, 1999)



Şekil 3.13 Delik delme işleminde oluşan kuvvetler (Kaybal, 2015)

3.3 İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, en genel manada hangi malzemenin uygun takım ve kesme şartlarında daha kolay işlenebildiğini ifade eder. İşlenebilirlik, evrensel bir tanıma sahip olmamakla birlikte standart bir özellik de değildir. İşlenebilirlik için literatürde yer alan bazı tanımlar şu şekildedir:

İşlenebilirlik; uygun kesme parametreleri ve takım kullanılarak malzemeye şekil verebilmenin göreceli olarak kolaylığı veya zorluğudur (Coromant, 1996).

İşlenebilirlik; malzemenin, işleme parametreleri ve takıma bağlı olarak istenilen yüzey boyutu ve toleransa daha kolay nasıl getirilebileceğidir (Ezugwu, 2005).

İşlenebilirlik; malzemeye özgü bir özellik olarak tanımlansa da sadece iş parçasına bağlı olmayan aynı zamanda işleme yöntemi ve parametrelerinin de etkili olduğu bir özelliktir (DeGarmo ve ark., 1997).

İşlenebilirlik, malzemenin sahip olduğu talaş kaldırma işlemine etkisi olan tüm özellikleri veya talaş kaldırma işlemiyle üretimin kolay veya zor olmasıdır (Özçatalbaş, 1996).

İşlenebilirlik araştırmalarının genel amacı, en düşük maliyetle en iyi ürün kalitesi için gerekli olan iş parçası-kesici takım etkileşimini incelemektir. İşlenebilirlik son 200 yıldır kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır, 1900'lü yılların ortalarından sonra talaş kaldırmanın fiziksel mekaniği analitik olarak çalışılmaya başlanmıştır. Metal kesme mekaniğinin esasının talaşa dayandığı bilgisinin geliştiği 1940-1960 arasında yer alan zaman dilimi işlenebilirliğin 'Altın Çağı' olarak değerlendirilir (Morehead, 2007).

İşlenebilirliği ölçmenin kabul edilmiş bir metodu veya standardı yoktur. Bir malzeme için gerçekleştirilen işlenebilirlik testleri sonucu bazı veriler elde edilebilir. Fakat bu işlenebilirlik değerleri bazı işlemler için iyi olarak kabul edilirken başka işlemler için uygun olmayabilir. Mukavemet ve sertlik tek başına işlenebilirlik için yeterli değildir. Mikro yapı, yapı içerisindeki kalıntılar, talaşın sıvanma eğilimi, yapı içerisindeki katkı maddeleri gibi faktörlerin de işlenebilirlik üzerine etkisi vardır (Çakır, 1999).

Bir malzemenin işlenebilirliği genel olarak aşağıda belirtilen kriter veya kriterlere göre tanımlanarak ölçülebilir.

1-Takım Ömrü veya Aşınması: Takımda müsaade edilen aşınma miktarına kadar veya takım kullanılamaz hale gelmeden önce talaş kaldırma miktarı veya süresini ifade eder.

2-Talaş Şekli: Takımın kesme etkisine ve iş parçasının özelliklerine göre oluşan talaş biçimini ifade eder.

3-Kesme Kuvvetleri veya Harcanan Güç: Genellikle bir dinamometre yardımıyla takım üzerine etkiyen kuvvetleri veya gerekli gücü ifade eder.

4-Yüzey Kalitesi: Kesme şartları altında işleme parametrelerine ve malzemeye bağlı olarak parça yüzeyindeki pürüzlülüğü ifade eder.

5-Yığıntı Talaş (YT/BUE) Eğilimi: Kesme şartları altında takım ve talaş arasındaki sürtünmeden dolayı iş parçasının takım kenarına yapışma eğilimini ifade eder.

Kompozit malzemelerin işlenmesi geleneksel malzemelere (hafif metaller gibi) göre daha zordur. Bunun sonucu olarak doğru kesici takım seçimi büyük önem arz etmektedir.

Metal matrisli kompozitlerin işlenebilirliği işleme sırasında yüksek takım aşınmasına sebep olduğu için oldukça önemlidir. Al_2O_3/SiC takviyeli hafif alaşımlı kompozitler üzerine yapılan çalışmalar, takımlardaki abrazif aşınmadan dolayı

işlenebilirliklerinin kötü olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca işlenmiş yüzey kalitesinin de takım aşınması sonucu kötüleştiğini belirtmişlerdir (Behera ve Sutradhar, 2012).

SiC takviyeli alüminyum esaslı veya Al_2O_3 (alümina) elyaf takviyeli MMK malzemelerin takviye elemanlarının hali hazırda seramik takımlarda kullanılıyor olmasından dolayı bu MMK'lerin işlenebilmeleri zordur. Abrasif aşınma sonucu takım aşınması meydana gelebilir ve bunun sonucu olarak maliyet artar. Geleneksel malzemelerin işlenmesi için gerekli bilgi ve tecrübe MMK malzemelerde her zaman uygulanamaz. Uygun kesici takım üzerine yapılan araştırmalar da kendi içlerinde çelişebilmektedir (Şahin, 2000b).

Sert metal grubu (K10) ve çok kristalli elmas (PCD) kesici takımlar SiC takviyeli MMK malzemelerin işlenebilirliği için önerilmektedir. PCD takımlar ile daha kaliteli yüzeyler elde edilirken sert metaller çabuk takım aşınmasına neden olmaktadır. PCD takımlarla gerçekleştirilen işlemlerde kesme kuvvetleri küçük ve sabit kalmaktadır (Şahin, 2000b).

3.3.1 Delik Delme

Delik delme işlemi talaş kaldırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir ve genellikle talaş kaldırma işlemlerinde son olarak uygulanır. Aslında ilke olarak delik delme işlemiyle tornalama, planyalama gibi talaş kaldırma işlemleri arasında fark yoktur. Fakat delik delme işleminde, talaşın tahliyesinin zor olması, matkapla iş parçası arasında sürtünmenin daha çok olması, soğutma sıvısının zor verilmesi gibi zorluklar göz önünden bulundurulunca, delik delme işleminin tek ağızlı takımla yapılan talaş kaldırma işlemlerine göre daha karışık ve zor şartlarda yapıldığı sonucuna varılır (Şeker, 2009).

Tornalamayla birlikte delik delme işlemi en önemli metal kesme işlemlerinden biridir ve tüm metal kesme işlemlerinin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır (Tönshoff ve ark., 1994). Talaş kaldırma işlemleri arasında bu kadar önemli paya sahip olan delik delme işlemi beraberinde delme işlemi esnasında karşılaşılan sorunların çözümü için atılacak adımların önemini de arttırmaktadır.

Delik delme işlemi çok farklı malzemelere veya iş parçalarına uygulanabilir. Bazı durumlarda delinmesi gereken yüzeyde yüksek tolerans doğruluğuna gerek duyulmazken bazı hassas delik delme durumlarında ise (kama deliği, kalıp pimleri) tolerans doğruluğu gereklidir (Krar ve ark., 1998).

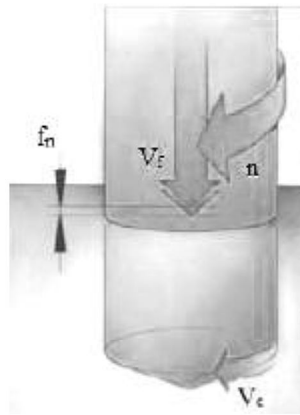
Kompozit malzemelerin işlenmesinde delme işlemi büyük öneme sahiptir. Kompozit malzemeler her ne kadar son şekillerine yakın olarak imal edilse de bazen talaş kaldırmak gerekebilir. Otomotiv, uzay ve havacılık sanayilerinde kompozit malzemelerin perçin ve cıvatalı birleştirilmelerinde kullanılan işlemlerin başında gelmektedir. Küçük bir uçakta bile bazen 100000'in üzerinde delik delmek gerekmektedir ve bu da delme işleminin önemini göstermektedir (El-Sonbaty ve ark., 2004). Özellikle otomotiv ve havacılık sanayilerinde delik delme işlemiyle kompozit malzemelerin montajı diğer talaş kaldırma işlemlerine göre en ekonomik ve etkili işlemlerden biri olarak değerlendirilebilir (Tsao, 2008).

3.3.1.1 Delme İşlemi Temel Faktörleri

Kesme hızı (m/dk) ve ilerleme (mm/dev) olmak üzere delik delme işleminde iki farklı kesme değeri vardır. Kesme hızı (V_c) fener mili hızından yararlanılarak hesaplanır. Dakikadaki devir sayısı (n), fener mili hızı olarak tanımlanır. Takım çapı ' D ' ile ifade edilirse, bir devir boyunca $\pi \cdot D$ olan bir çemberi tanımlar. Matkap çevresinden merkeze doğru ilerledikçe kesme hızının azalması ve merkezde sıfır olması işlemedeki zorluğu ifade eder (Kaybal, 2014).

Bir devir boyunca takımın yapmış olduğu aksel hareket devir başına ilerlemeyi ifade eder. Bu ifade matkabın ilerleme kapasitesini belirler. İlerleme hızı (V_f) birim zamandaki uzunluğa bağlı olarak takımın iş parçasına göre ilerlemesidir. Tabla veya tezgâh ilerlemesi olarak da bilinir. Matkabın iş parçasına girme hızı, fener mili hızının devir başına ilerlemeyle çarpılmasıyla ifade edilir. Delik delme esnasında oluşan temel faktörler Şekil 3.14'de gösterildiği gibidir.

$$V_c = \pi \times D \times n / 1000 \quad (1)$$

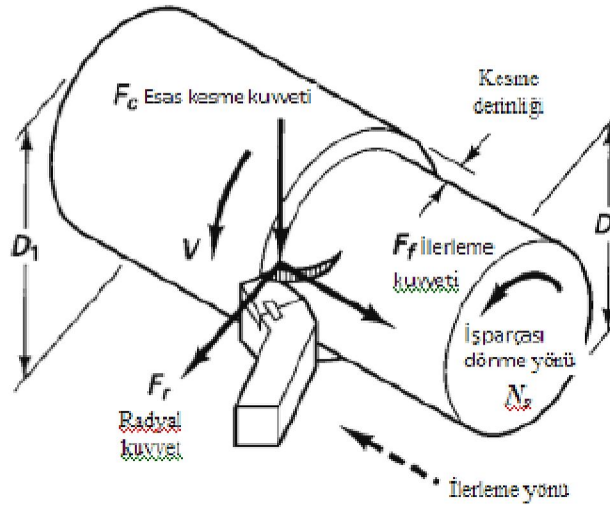


Şekil 3.14 Delik delme işleminde temel parametreler (Kaybal, 2014)

3.3.2 Tornalama

Tornalama işleminde neredeyse tüm kesme şartları, oluşan kuvvetleri etkilemektedir. Talaş derinliği ve ilerleme başta olmak üzere, kesme hızı, takım geometrisi, soğutma sıvısı gibi diğer etkenler de sıralanabilir. Oluşan kesme kuvvetleri takım tezgâhlarının tasarımında da oldukça önemli yere sahiptir. Kullanılan takım malzemesi de bu kuvvetleri etkilemektedir. Bu nedenle kesme kuvvetlerinin analizi ve buna uygun takım ve tezgâh seçimi üzerinde düşünülmesi gereken karmaşık konulardandır (Bahçeci, 2006). Tornalama sırasında oluşan kuvvetler Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Burada; F_c , kesme hızı yönünde etkiyen esas kesme kuvvetini ifade eder ve genellikle oluşan en büyük kuvvettir. F_f , takım ilerlemesi yönündeki ilerleme kuvvetini ifade eder. F_r ise, işlenen yüzeye dik olan radyal kuvveti ifade eder. Oluşan bu kuvvetlerin vektörel olarak toplanmasıyla da bileşke kuvvet ifade edilir.

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (2)$$



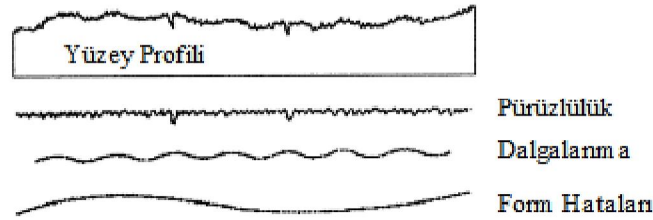
Şekil 3.15 Tornalama esnasında oluşan kesme kuvvetleri (Günay, 2009)

3.3.3 Yüzey Pürüzlülüğü

En geniş anlamda yüzey pürüzlülüğü yüzey dokusunun bir parçasıdır denebilir. 20. yüzyılın ilk çeyreğine kadar malzeme yüzey pürüzlülük değerleri, yüzeye bakılarak veya dokunarak ölçülürdü. Yüksek yansımaya sahip yüzeylerin pürüzlülük değerinin az olduğu düşünülürdü. Fakat bu değerlendirmeler ilerleyen zamanlarda yerini farklı yöntemlere bıraktı. Çünkü yüzey kalitesi sadece ölçek tamlığı ve estetik için değil, yorulma ömrü, kırılma tokluğu gibi fiziksel ve kimyasal özellikler için de önemlidir.

Makine parçalarının işlenmesi sonucu yüzey kalitesinin iyi olması en çok talep gören müşteri isteklerindendir. Talaşlı imalat sonucu elde edilen parça yüzeyleri düz olmayıp tepe, çukur ve çıkıntılı bir yüzeye sahiptir (Arafat, 2009).

Yüzey dokusu en genel olarak rastgele ve yüzey profilinin nominal yüzey çizgisinden tekrarlı sapması olarak açıklanabilir. Fakat gerçekte, yüzey her ne kadar kaygan ve parlak gibi görünse de asla tam olarak düz değildir. Yüzey profili Şekil 3.16'da gösterildiği gibi 3 ana gruba ayrılır. Pürüzlülük, şeklin bitmesi ve takım hareketi sonucu oluşur. Dalgalanma, işlem mekanizmasında meydana gelen değişimler sonucu oluşur. Form hataları ise, kesme kuvvetlerinden dolayı iş parçasında meydana gelen deformasyonlar sonucu oluşur.



Şekil 3.16 Pürüzlülük, dalgalanma, form hatalarından oluşan yüzey profili (Kopač ve Bahor, 2001)

Yüzey pürüzlülük sonuçlarının değerlendirilmesi belirli standartlara göre yapılmaktadır. Buna göre oluşan pürüzler, yüzeye dik bir kesitte, profil ortalama çizgisi ve referans profiline göre, ölçüm uzunluğu boyunca belirlenir (Akkurt, 2000). Yüzey pürüzlülük tespitleri için Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından da belirli kurallar belirlenmiştir.

Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğüne etki eden başlıca faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- Takım tezgâhının rijitliği,

- Takım tutucunun rijitliği,
- Kesme parametreleri (ilerleme, kesme hızı, talaş derinliği)
- Takım geometrisi
- Malzemenin sahip olduğu mekanik özellikler,
- Malzemenin yapısındaki bozukluklar,
- Kalıp ve bağlama aparatları,
- Takım malzemesinin özellikleri ve aşınması,
- Yataklama sonucu oluşan hatalar, vb.

3.3.3.1 Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesinde Kullanılan Parametreler

Yüzey pürüzlülük değerlendirmelerinde kullanılan birden çok fazla parametre vardır. Bunlar aşağıdaki gibi adlandırılmak ve gösterilmektedir.

R_a: Yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması

R_z: Ortalama pürüz yüksekliği veya on nokta yükseklik parametresi

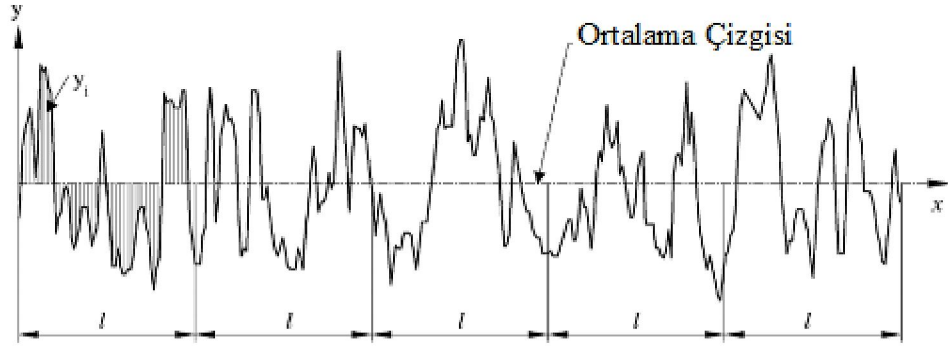
R_t: Ölçülen mesafe için maksimum derinlik ve maksimum yüksekliğin toplamı

R_q: Ra değerlerinin karekökünü veren ifadedir.

Fakat standartlarda verilen en önemli 2 parametre Ra ve Rz değerleridir.

***R_a: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (µm)**

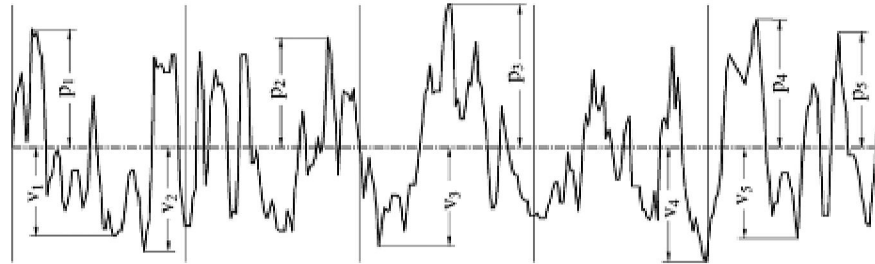
Ortalama yüzey pürüzlülüğü veya merkez ortalama çizgisi (CLA) olarak da bilinen Ra değeri genel kalite kontrolü için en yaygın kullanılan parametredir. Şekil 3.17’de gösterildiği gibi pürüzlülük düzensizliklerinin ortalama çizgisinden mutlak sapmalarının ortalamasıdır. Ölçmesi ve tanımlaması kolay olan bir parametre olduğu kadar yükseklik farklılıkları için de iyi bir genel fikir verir. Yüzey profilindeki küçük değişiklikler için yeterince hassas değildir ve dalga boyu hakkında herhangi bir bilgi vermez (Gadelmawla ve ark., 2002).



Şekil 3.17 Ortalama yüzey pürüzlülüğünün tanımı (Gadelmawla ve ark., 2002)

*** R_z : Ortalama pürüz yüksekliği veya on nokta yükseklik parametresi (μm)**

Bu parametre rastgele meydana gelen yüksek tepe veya derin çukurlar için R_a 'ya göre daha hassastır. İki metoda göre tanımlanırlar. Bunlardan birincisi Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO); R_z parametresini, profil ölçüm boyunca oluşan en yüksek 5 tepe ve en derin 5 çukur ortalamasının yükseklikleri arasındaki fark olarak tanımlar. Alman Standart'ı (DIN) ise; bu parametreyi profil ölçüm boyunca oluşan en yüksek 5 tepe ve en derin 5 çukur toplamının ortalaması olarak tanımlar. Şekil 3.18'de bu iki standarda göre R_z 'nin tanımı gösterilmektedir (Gadelmawla ve ark., 2002).



Şekil 3.18 On nokta yükseklik parametresinin $R_{z(ISO)}$, $R_{z(DIN)}$ standartlarına göre tanımı (Gadelmawla ve ark., 2002)

3.4 Kullanılan Malzemeler ve Temini

Üretilcek olan metal matrisli kompozit malzemeler için bronz (CuSn10) talaşları matris malzemesi olarak, dökme demir (GGG-40) talaşları ise takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak olan CuSn10 ve GGG-40 talaşları, deneysel bir çalışma yapılacağı için hazır(atık) talaş olarak temin edilmeyip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek sanayide bulunan Alkor döküm Tic. Ltd. Şti. firmasına döktürülerek temin edilmiştir. Daha sonra bu döküm çubuklarından talaş oluşturma işlemi 'numune üretimi' başlığı altında detaylı şekilde anlatılacaktır.

3.4.1 Bronz (CuSn10)

Genellikle bakır elementinin; alüminyum, kalay, nikel, kurşun gibi alaşım elementleriyle oluşturduğu alaşımlara bronz denir. Bronz malzemeler pirinç malzemelere göre daha yüksek dayanım ve üstün özelliklere (yüksek korozyon direnci vb.) sahiptirler. Bronz malzemelerin yüksek korozif ortamlarda sergilediği üstün direnç en önemli karakteristik özelliklerindendir. Saf bakır sünek olmasına rağmen düşük mekanik özelliklere sahiptir. Fakat bazı elementlerle alaşımlandırılarak ısıtma işlem görmüş çeliklere benzer mekanik özellikler sergileyebilirler.

Bakırın kalayla alaşımlandırılması tribolojik özelliklerini oldukça geliştirmektedir. Bronzun sahip olduğu yüksek mekanik özelliklerin yanı sıra yüksek sürtünme, korozyon ve ısıtma dayanım göstermesi bronzun yatak malzemesi olarak sıkça kullanılması için en önemli etkenlerdendir.

Kalay bronzu içerdiği kalay miktarına göre endüstride çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda gösterildiği şekildedir.

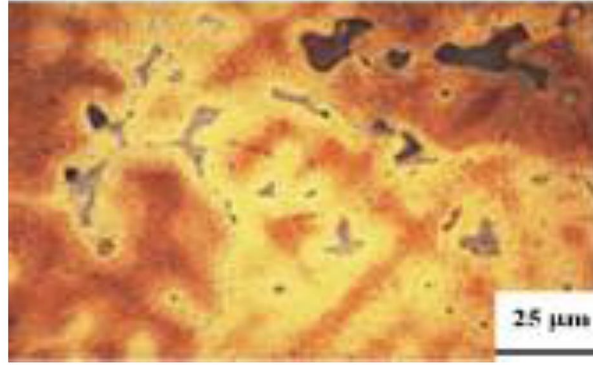
- % 3–8 kalaylı bronz: Levhadan para ve madalya yapmak için tercih edilir. Aşınmaya karşı dayanıklıdır, kolay şekillendirilebilir, renk ve parlaklığını muhafaza eder. Bu bronzdan yapılan çubuk, tel ve benzerleri; mücevherat ve süs eşyaları yapımında kullanılır.
- % 8–12 kalaylı bronz: Deniz suyu ile birlikte bazı kimyasal maddelere karşı gösterdiği dayanıklılık sebebiyle musluk, vana gibi malzemelerin ve bazı makine parçalarının yapımında kullanılır. Ayrıca yapıdaki kalay aşınma direncini artırdığından dolayı yatak elemanı olarak da kullanılır.
- % 13–20 kalaylı bronz: Mekanik aşınmaya karşı dayanıklıdır ve metal yataklarda kullanılır.
- % 30–40 kalaylı eski tip bronz: Bu alaşımlar beyaz renkte, sert ve kırılgandır. Eski zamanlarda genellikle ayna yapımında kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında ise % 10 kalay oranına sahip CuSn10 bronzu kullanılmıştır. Çalışmada neden CuSn10 kullanıldığı maddeler halinde ifade edilmiştir.

- CuSn10 endüstride yaygın şekilde yatak malzemesi olarak hâlihazırda kullanılmaktadır. Bu durum bronzun yatak üretimi için elverişli bir malzeme olduğunun göstergesidir. Dökme demir talaşlarının takviyesiyle de mevcut mekanik özelliklerin daha da geliştirilmesi amaçlanmıştır.

- Bronz da dökme demir talaşları gibi talaşlı imalat sonucu kırık talaş oluşturur ve oluşan talaşların boyutları birbirine yakındır.
- Bronz malzemeyi işlerken fazla bir ısınma meydana gelmediği için kesme sıvısı pek fazla kullanılmamaktadır. Kuru işleme sonucu oluşan talaşlar kesme sıvısıyla işleme yapıldıktan sonra oluşan talaşlara göre daha temizdir.

Bu çalışma için kullanılacak olan bronz (CuSn10) malzemesinin ağırlıkça yüzde kimyasal içeriği Çizelge 3.3'te verilmektedir. Şekil 3.19'da ise çalışmada kullanılacak olan bronzun ait mikro yapı görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 3.19 CuSn10 mikro yapı görüntüsü (x100) (Aslan, 2014)

Çizelge 3.3 CuSn10 kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)

CuSn10	Cu	Sn	Pb	Zn
	89,2	9,33	0,01	0,41

3.4.2 Küresel Grafitli Dökme Demir (GGG-40)

Döküm öncesinde malzeme ergimiş haldeyken, dökme demire Magnezyum (Mg) ve/ veya Seryum(Ce) elementi ilavesi farklı mikro yapılar ile bunun sonucu olarak da farklı mekanik özelliklerin elde edilmesine sebep olur. Bu işlem sonrasında oluşan grafitler lamelli değil küresel şekildedir. Bu şekilde oluşan dökme demir türüne küresel grafitli dökme demir veya sfero dökme demir denir. Mikro yapılarına göre dört farklı tipi olduğu söylenebilir; ferritik, perlitik, beynitik ve martenzitik küresel grafitli dökme demir (KGDD). Meydana gelen küresel grafitleri uygun bir oranda tutulması gerekmektedir. Eğer bu oran fazla olursa grafitler bir nevi çentik etkisi oluştururlar ve mekanik özellikleri olumsuz etkilerler. Yapıdaki karbon yüzdesini en az seviyelerde tutarak bu oranın dengelenmesi sağlanabilir. Öncelikli hedef bu yönde olmalıdır. Diğer sfero dökümlerde karbon yüzdesi % 3.6-3.7 arasında iken GGG-40'ın karbon yüzdesi %

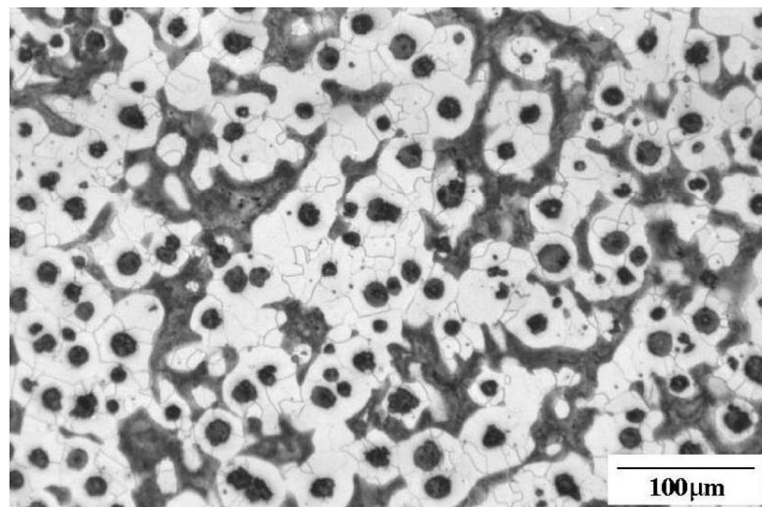
3-3.3 arasındadır. Yapının ferritik olması dikkat edilmesi gereken diğer bir husustur. Bunun için ise yapıdaki % Si oranını arttırmak gerekir. Ferritin kırılma sayısı dikkate alınarak silisyum (Si) yüzdesinin %1.9-2.0 aralığında tutulması gerekir. Bunlara dikkat edilerek yapılan döküm sonrasında oluşan yapı ferritik bir yapıdır. Isıl işlem sonucu yapı perlitik hale dönüştürülebilir. Kullanılan malzemeler kimyasal bileşen olarak küresel grafitli dökme demirin yapısında mevcut olsa da uygulanan ısıl işlemler ve üretim prosesleri sonucu malzemenin mekanik özellikleri değişebilir (Callister, 2001).

GGG-40 dökme demirinin sahip olduğu mekanik özellikler çeliklerin sahip olduğu mekanik özelliklere son derece yakındır. Ferritik bir küresel grafitli dökme demirin çekme dayanımı 380-480 MPa arasında, yüzde kopma uzaması cinsinden sünekliği ise %10-20 arasında değişmektedir. İşlenebilirlik özellikleri de son derece iyidir. Valfler, silindir gömleği, pompa gövdesi ve darbe 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 çalışma için kullanılacak olan GGG-40 malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.4'te verilmektedir. Şekil 3.20'de ise ferrit içerisinde dağılmış küresel grafitlerin görüntüsünü içeren GGG-40'a ait mikro yapı görüntüsü gösterilmektedir.

Çizelge 3.4 GGG40 kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)

GGG40	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
	93,4	3,55	2,43	0,277	0,0218	0,0216	0,0374	0,0063



Şekil 3.20 GGG-40 mikro yapı görüntüsü (x100) (Durand-Charre, 2004)

Yapılacak olan çalışma için küresel grafitli dökme demir (GGG-40) kullanılmasının nedenleri aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- Küresel grafitli dökme demirler sanayide oldukça çok geniş alanda kullanılmaktadır ve dolayısıyla fazla miktarda atık olarak talaş birikmektedir. Geri dönüşüm işlemiyle bu atık talaşların verimliliğini arttırmak ve maliyetten önemli oranda tasarruf elde etmek amacıyla bu talaşlar kullanılmıştır.
- Küresel grafitli dökme demir malzemeler işlendikten sonra kırık talaş oluştururlar. Bu durum talaş boyutlarının eş olmasını sağlar ve homojenizasyonu sağlanmış olur. Talaş boyutlarının ve geometrilerinin birbirine yakın olması üretim işlemini kolaylaştırır ve maliyeti oldukça düşürür.
- Küresel grafitli dökme demir kolay işlendiği için kesme sıvısına gerek duyulmaz ve kuru işleme yapıldığı için talaşlar nispeten daha temiz olmaktadır.
- Küresel grafitli dökme demirlerin mekanik ve kimyasal özelliklerinin yatak malzemesi için uygun olması gibi özelliklerinden dolayı GGG-40 seçilmiştir.

Yatak malzemeleri daha çok basma doğrultusundaki yüklere maruz kalmaktadırlar. GGG-40 malzemeler; çekme doğrultusunda da yüksek mukavemet özelliği gösterebilirler de, diğer dökme demir türlerine göre daha yüksek basma mukavemet değerlerine sahiptirler ve bundan dolayı yatak malzemesi olarak endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.5 Üretim Sistemi ve Numune Hazırlanması

Bu çalışmada Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi ve Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan çeşitli tezgâhların yanı sıra, çalışmaya uygun olarak tasarlanan ve imal ettirilen ekipmanlar kullanılmıştır. Ekipmanlara uygun olarak çalışma şartları belirlenmiş ve numune üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.5.1 Üretim Sistemi

Bu çalışmada kullanılan imalat düzeneği, geniş kapsamlı literatür araştırması sonucu amaca yönelik ekipmanlarla oluşturulmuştur. İmalatta kullanılan cihazlardan bazıları hazır olarak temin edilmiştir bazıları ise gerekli işlemlere uygun olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretim esnasında kullanılan ekipmanlar şunlardır;

- Konik karıştırıcı
- 2 adet dişi kalıp

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

***Çift Etkili Pres:**

Çalışmalarda Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi atölyesinde yer alan basınç kilitleme valfli 150 tonluk Şekil 3.21’de gösterilen çift etkili pres kullanılmıştır. Sertlik profil dağılımının her yerde eşit olmasını sağlamak için çift etkili pres kullanılmasına karar verilmiştir. Çünkü tek yönlü pres yardımıyla yapılan imalatlar sonucu sertlik profili sıkıştırma yüzeyinden uzaklaştıkça azalmaktadır (Karadağ, 2012). Bu pres sisteminin basınç kilitleme valfi yardımıyla sistem sürekli çalıştırılmasının önüne geçilmesi ve istenilen basınca ulaşıldığında valfi kapatarak sabit basınç altında çalışma imkânı sunması imalatı kolaylaştıran diğer bir etkidir. Sistemin çalışma sırasındaki presleme basıncını ve sistem çalışmazken presleme basıncını ölçmek ve sistemi kontrol altında tutmak için pres üzerine iki adet manometre bağlanmıştır.

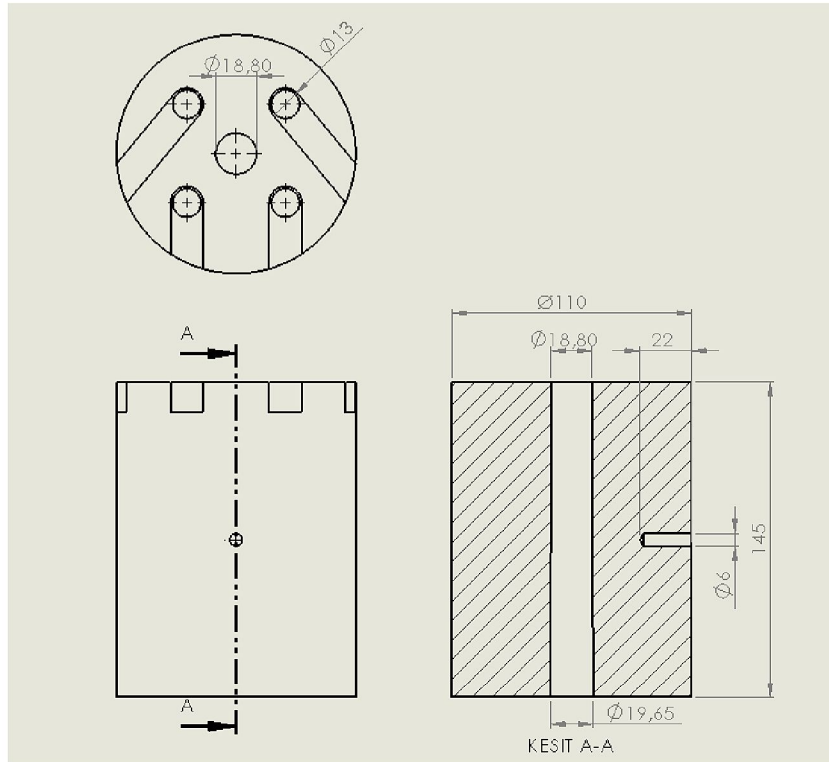


Şekil 3.21 Çift etkili pres

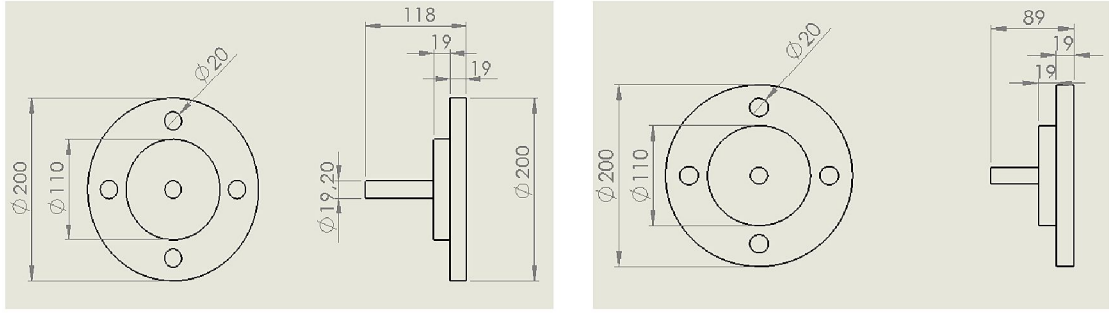
*Dişi ve Erkek Kalıp:

İmalat için bir adet dişi, iki adet ise erkek kalıp bilgisayar destekli çizim programı olan Solidworks programında tasarlanmış ve Kurşunel Çelik firması tarafından imal ettirilmiştir. Tasarlanmış olan dişi ve erkek kalıpların teknik resimleri sırasıyla Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de verilmektedir. Kalıp tasarımı ve malzeme seçimi yüksek sıcaklık ve basınç altındaki çalışma şartlarına göre seçilmelidir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda bile iyi mekanik özelliklere sahip olan Qro-90 sıcak iş takım çeliği seçilmiştir. Bu malzemenin aşınma dayanımı ve mukavemeti yüksektir. Çalışma sıcaklıklarına göre ise ısıl işlemi yaptırılmıştır.

Kalıplar (dişi ve erkek) arası çalışma boşluğu 0,5 mm olarak belirlenmiştir. Numunelerin kalıptan daha rahat çıkarılması için dişi kalıptaki delik yukardan aşağıya doğru çok az bir ölçüde (0,85 mm) genişlemektedir. Üst ve alt delikler arasında bu şekilde bir fark olmazsa üretilen numuneler kalıp dışına çıkarılamaz. Isıl işlem sonucu kalıp yüzeylerinde 50 Rc sertlik değeri elde edilmiştir. Presleme sırasında burkulmaya engel olmak için erkek kalıpların tutucu bölümleri daha kalın yapılmıştır. Fakat bu duruma rağmen erkek kalıplarda eğilmeler ve burkulmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Erkek kalıpların daha uzun ömürlü olması için tutucu bölümlerin minimum kalınlığının 15 mm yapılması ve çalışma sıcaklıklarına göre uygun ısıl işlemlerinin yaptırılması dikkat edilmesi gereken noktalardandır.



Şekil 3.22 Silindirik dişi kalıbın teknik resmi

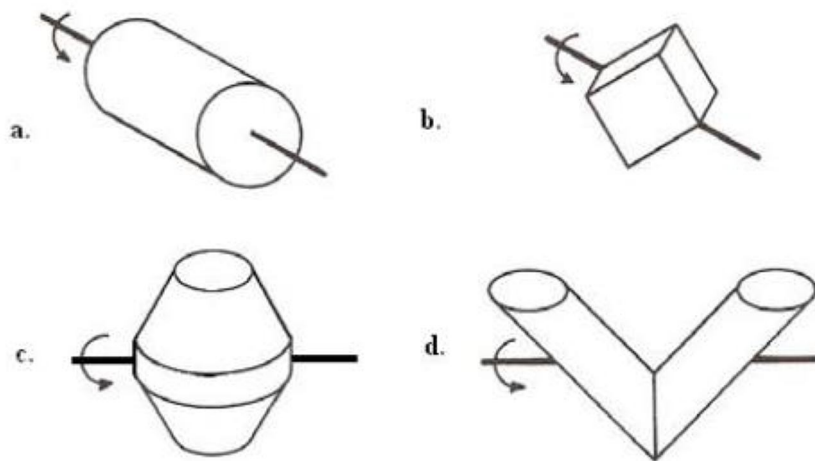


Şekil 3.23 Silindirik erkek zımbaların teknik resmi

***Konik karıştırıcı:**

Karıştırma işlemleri toz metalürjisindeki en önemli konuların başında gelmektedir. Tozların karıştırılması, taşıma sırasında oluşan titreşimler sonrası meydana gelen tane ayrışmasını engellemek için yapılır. Tozların parçacık boyutları, yoğunlukları ve şekillerinin farklı olması sonucu ayrışma meydana gelebilir ve bunun sonucunda tozlar düzensiz bir şekilde kümelenebilir. Bu durum ise malzemelerin özelliklerinin konuma bağlılığını etkiler ve uygulanan bir kuvvet sonucu malzeme homojen cevap veremez.

Şekil 3.24’de görüldüğü gibi karıştırma işlemi silindirik, çift taraflı konik, V şekilli ve prizmatik şeklindeki kapalı kaplar ile gerçekleştirilebilir. Kapların hacim olarak en az %30- %40 arasında dolu olması gerekir. Bu dolum oranı karıştırma verimini direkt olarak etkileyen faktörlerdendir (German, 1989).



Şekil 3.24 Karıştırıcı kap türleri (German, 1989)

Karıştırma kabının dönme hızı ise verimliliği etkileyen diğer bir faktördür. Düşük dönme hızlarında, karışımın homojen olması için gerekli süre uzamış olur. Serbest düşüş yapan partikül sayısında artış meydana gelir ve bu partiküller boyutsal olarak ayrışır. Bu durum yüksek dönme hızlarında meydana geldiğinde ise merkezkaç kuvvetinin etkisi ile partiküller karıştırma kabının duvarına yapışır ve sürekli bir akış sağlanamadığı için heterojen bir karışım elde edilir. Merkezkaç kuvvetinin az olduğu, türbülans oluşumunun meydana geldiği hızlarda en iyi karıştırma işlemi gerçekleştirilir (German, 2007).

Yapılan çalışmalarda verimliliğin yüksek olduğu, karıştırma süresinin ise kısa olduğu Şekil 3.25’de gösterilen çift taraflı konik karıştırıcı kullanılmıştır. Tasarımı için gerekli literatür taraması yapılmış ve kabul gören geometrilerde imalatı yapılmıştır.



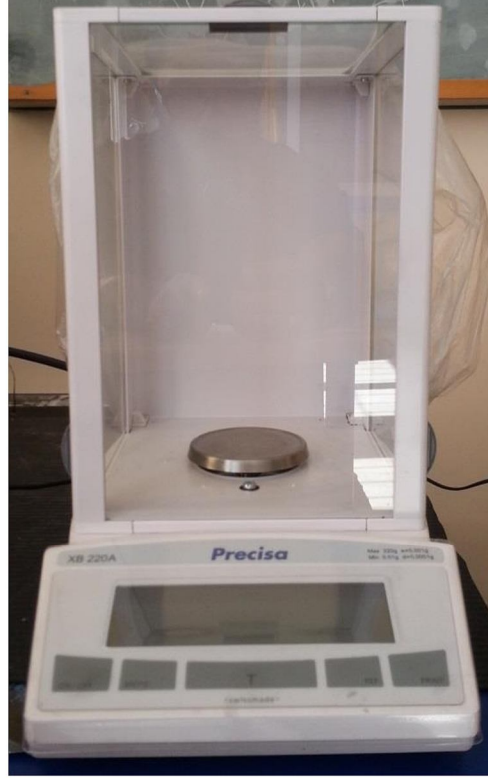
Şekil 3.25 Çift taraflı konik karıştırıcı

***Hassas terazi:**

Yapılan çalışmalarda bronz (CuSn10) ve dökme demir (GGG40) olmak üzere iki farklı talaş kullanılarak karışımlar oluşturulmuştur. Bir adet numunenin ağırlığı 80 gr olarak belirlenmiş ve talaşlar belirlenen 4 farklı karışım oranına göre hazırlanmıştır. Bu karışım oranları ise şu şekildedir.

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

İstenilen gramajda karışım oluşturmak ve bu karışımın oranlarını belirlemek için Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi atölyesinde bulunan Şekil 3.26’da gösterilen Precisa marka hassas terazi kullanılmıştır. Terazinin hassasiyeti ise 0.001 gr olarak verilmiştir.



Şekil 3.26 Hassas terazi

***Fişek rezistans:**

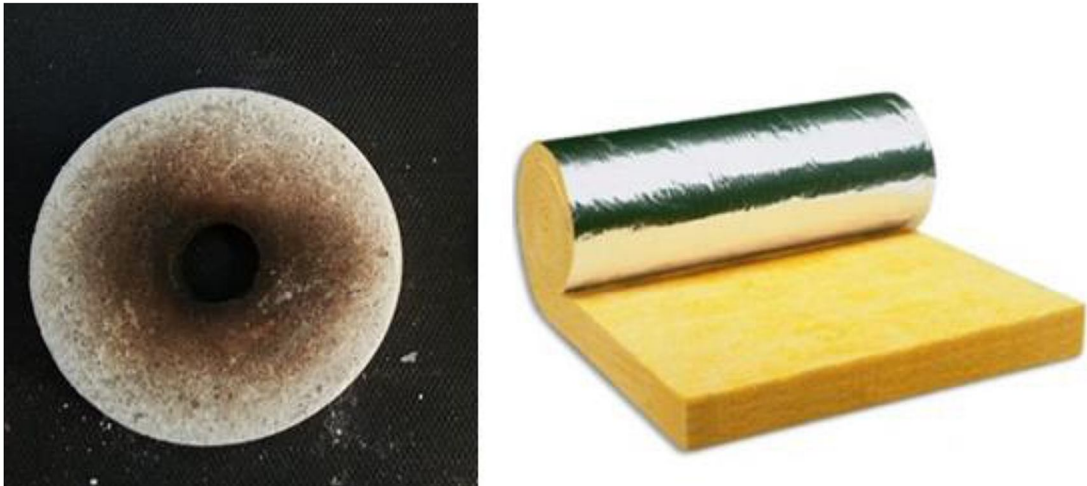
Kalıbın istenilen sıcaklığa getirilmesi çalışmalarda meydana gelen en önemli parametrelerden birisi olmuştur. Doğrudan elektrik verilerek veya farklı kalıp ısıtma sistemleri denenmiştir. Fakat istenilen performans elde edilememiştir. Dişi kalıba doğrudan elektrik verilmesi sonucu meydana gelen ısıtmada istenilen sonuçlar elde edilememiştir. Doğrudan elektrik vererek yapılan ısıtma esnasında oluşan manyetik alan ise çalışma şartlarını kötü etkileyen bir diğer parametredir. Yapılan araştırmalar sonucu fişek rezistansların en uygun ısıtma yöntemi olduğuna karar verilmiştir. Dişi kalıbın ağırlık ve boyutuna göre 130 mm boyunda ve 13 mm çapında olmak üzere Şekil 3.27’de gösterilen fişek rezistanslardan dört adet kullanılmıştır. Rezistansların birbirine seri bağlanması sonucu 2000 Watt’lık bir ısıtma gücü ortaya çıkmıştır. Bu sayede 700 °C sıcaklıklara kadar bir ısıtma sağlanmıştır ve bu işlem yaklaşık bir saat içerisinde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.27 Fişek rezistans

***İzolasyon malzemeleri:**

Çalışmalar yüksek sıcaklıklarda yapıldığı için hem ısı kaybını önlemek hem de çalışma ortamını daha güvenilir hale getirmek amacıyla dişi kalıpla sehpa arasına yüksek sıcaklık ve basınca dayanabilen seramikten yapılmış bir izolasyon malzemesi kullanılmıştır. Buna ek olarak 1000 °C sıcaklığa kadar dayanıklı olan taş yünü ile dişi kalıp kaplanmıştır. Kullanılan malzemeler Şekil 3.28’de gösterilmektedir.



Şekil 3.28 Seramik ve taş yünü izolasyon malzemeleri

3.5.2 Numune Hazırlama

Çalışmalar için üç farklı sıcaklık, üç farklı basınç ve dört farklı karışım oranında üç farklı parametreye bağlı olarak üç tekrar olmak üzere toplam 108 tane numune

üretimiştir. Literatür taramaları ve yapılan araştırmalara bakarak çalışma kapsamında kullanılabilecek olan bir istatistiksel yaklaşım araştırılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda Taguchi yaklaşımı uygulanarak çalışmalar yapılırsa 90 tane numunenin yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Bu yaklaşımın sonucunda ortaya çıkan numune sayısı üretilmesi gereken numune sayısından çok farklı olmadığı için tam faktöriyel çalışma yapılmıştır.

İmalat düzeneği çalışır hale getirildikten sonra çalışılması yapılacak olan parametreler (basınç, sıcaklık ve karışım oranları) belirlenmiştir. Bu parametrelerin belirlenmesi için ön denemeler yapılmıştır. Bu ön denemeler sonucu güvenilir bir üretim ortamı ve üretimin başarıyla tamamlanabildiği çalışma aralıkları belirlenmiştir. Bu belirlemeler sonucunda Çizelge 3.5’de gösterilen parametreler incelenecektir.

Çizelge 3.5 Üretim parametreleri ve deney sayısı

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



Şekil 3.29 Etkili bir birleşimin meydana gelmediği ön deneme numuneleri

Çalışmanın asıl amacı kullanılacak olan talaşların atık talaş olarak elde edilmesi ve bu şekilde üretimin gerçekleştirilmesidir. Fakat yapılacak olan çalışmalar deneysel çalışmalar olacağı için kullanılacak olan malzeme talaşlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi sonuçları daha güvenilir ve iyi değerlendirmek için gerekmektedir. Piyasada bulunan atık talaşların maruz kaldığı imalat yöntemleri fiziksel ve kimyasal özellikleri, uygulanan ısıt işlemler vb. gibi özellikleri tam olarak bilinemez. Tüm bu nedenlerden dolayı talaşlar Şekil 3.30’da görüldüğü gibi 22 mm çapa sahip

silindirik çubuklar halinde dökürülmüş daha sonra ise torna tezgâhında tüm parametreler (kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme) aynı olacak şekilde işlenerek Şekil 3.33’de gösterilen talaşlar elde edilmiştir. Elde edilen bu talaşlar Şekil 3.31’de gösterilen bilyeli değirmende kırılmış ve boyutların birbirine yakın olması sağlanmıştır. Bu talaşlar da Şekil 3.32’de gösterilen 1mm-2mm eleklerden geçirilmiş ve elekler arasında kalan talaşlar kullanılmıştır.



Şekil 3.30 Talaşların elde edildiği çubuklar



Şekil 3.31 Bilyeli değirmen

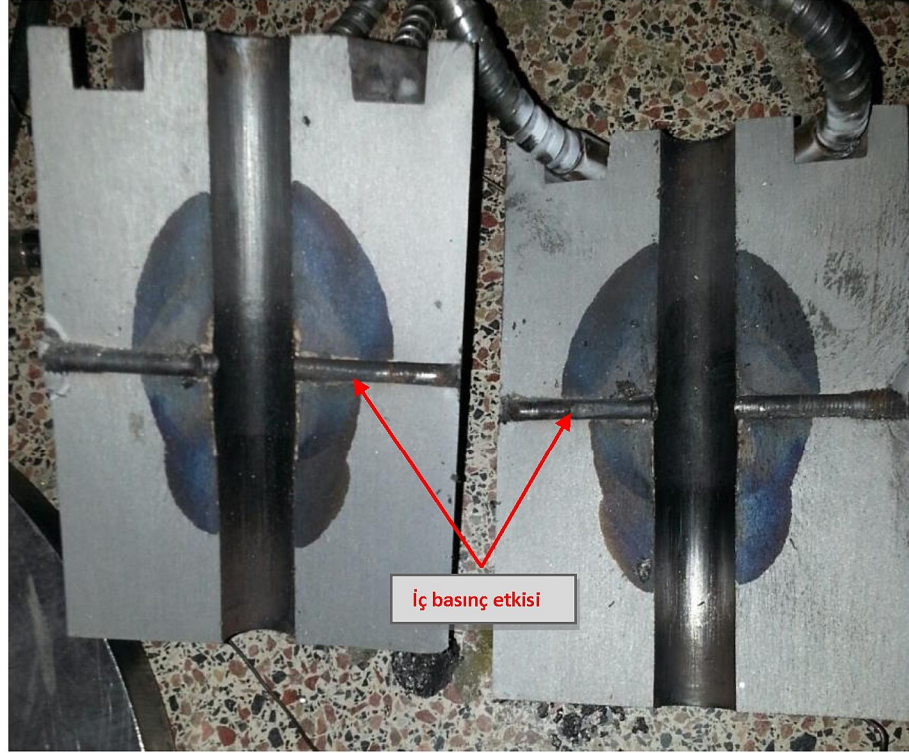


Şekil 3.32 1mm ve 2mm lik elekler



Şekil 3.33 CuSn10 ve GGG-40 talaşları

Çalışmalarda kullanılan dökme demir ve bronz malzemelerinin ergime sıcaklıkları sırasıyla 1527°C ve 925°C mertebelerindedir. Verilen bu ergime sıcaklıkları kütle halindeki malzemelerin oda şartları altındaki değerleridir fakat çalışmalarda malzemeler talaş formuna sahip olduğu için çok daha düşük sıcaklıklarda bile yumuşamıştır. Ayrıca basınç etkisi de işleme dâhil olunca talaşlar $450\text{--}500^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerleri arasında bile aşırı yumuşama (sıvı gibi) göstermiştir. Bu durum ise çalışmayı son derece zorlaştırmıştır. Daha önce bahsedildiği üzere erkek ve dişi kalıp arasında $0,5\text{ mm}$ 'lik bir çalışma aralığına ve en küçük talaş boyutunun 1 mm uzunluğa sahip olmasına rağmen bronz malzeme macun kıvamına gelmiştir. Daha sonra bu erimiş olan bronz malzeme erkek ve dişi kalıp arasına sıvanmıştır. Bu nedenle başlangıçta düşünülen 650°C sıcaklık mertebelerinden 450°C mertebelerine düşürülmüştür. Yumuşamış olan bronz malzeme bir sıvı malzeme gibi davranarak dişi kalıbın iç yüzeyinde hidrostatik basınç oluşturmuştur. Oluşan bu basıncın etkisiyle 110 mm çapa sahip ısıtılmış işlem görmüş olan sıcak iş takım çeliği malzemeden imal edilen kalıp Şekil 3.34'de görüldüğü gibi ortadan ikiye ayrılarak kırılmıştır. Kalıbın iç yüzeyinde oluşan basınçtan dolayı kırıldığı yine Şekil 3.34'de görülmekte olan talaşların sıkışma aralığına denk gelen bölümlerin aşırı şekilde zorlanmasına bağlı olarak renk değişiminin meydana gelmesinden de anlaşılr.



Şekil 3.34 İç basınç etkisi ile kırılan kalıp

İlk olarak kalıp içerisinde vakum ortamında presleme yapılması planlanmıştır. Presleme sırasında sıcaklığın yüksek olması ve bu durumun oksitlenmeye neden olabileceği düşünülmüştür. Oksitlenme metal talaşları arasında bağ oluşumunu olumsuz yönde etkileyebilir. Oksitlenmeyi önlemek için sıkıştırma sırasında kalıbın içerisindeki havayı pompayla çekerek vakumlu presleme yapılması planlanmıştır. Bronz talaşlarının düşük sıcaklıklarda bile yumuşaması hatta macun kıvamına gelerek vakum deliğine dolması sonucu pompa girişine engel olmuştur. Bu durum da yüksek sıcaklıklara çıkıldığında vakumlama işleminin mümkün olmayacağını göstermiş ve vakumlama işleminden vazgeçilmiştir. Kalıplar arasına meydana gelen bu sıvanma durumu Şekil 3.35 ve Şekil 3.36’da gösterilmektedir.



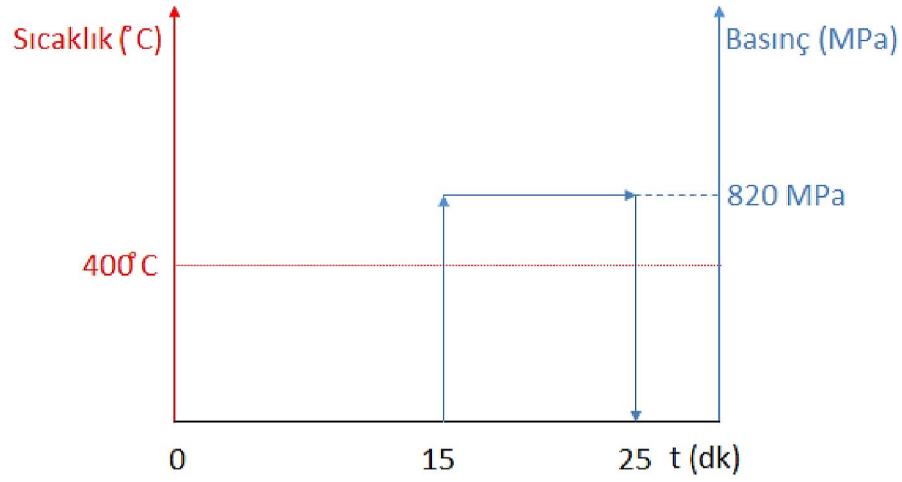
Şekil 3.35 Bronzun kalıplar arasına sıvaması



Şekil 3.36 Kalıpların arasına sıvayan CuSn10

Üretim süreci, gerekli olan % karışım oranına göre tartılan bronz ve dökme demir talaşlarının 20 dk. boyunca konik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmasıyla başlar. Homojen bir karışım elde edildikten sonra talaş karışımı kalıp içerisine dökülür. Başlangıçta talaşlar kalıp soğukken ön sıkıştırma işlemine tabi tutulduktan sonra sıcak preslemeye geçilmesi düşünülmüştür fakat özellikle numunenin kalıptan çıkarılması gibi problemlerle karşılaşmış ve talaş karışımının doğrudan ısıtılan kalıba konulduktan sonra preslemenin daha doğru olacağı düşünülmüştür. Numuneleri kalıptan kolay çıkarabilmek için yağlayıcı olarak grafit kullanılmış ve kalıp yüzeylerine sürülmüştür. Karışım talaşlarını kalıba doldurduktan sonra numunenin havayla olan temasını nispeten kesmek için erkek kalıplar yaklaşık 5'er mm alt ve üst yüzeyden dişi kalıp içerisine sokulur. Daha sonra karışım talaşı sabit sıcaklık altında 15 dakika bekletilir. Bu işlem talaşlar arasında sıcaklık dağılımının homojen olması içindir. Talaşlar arasında

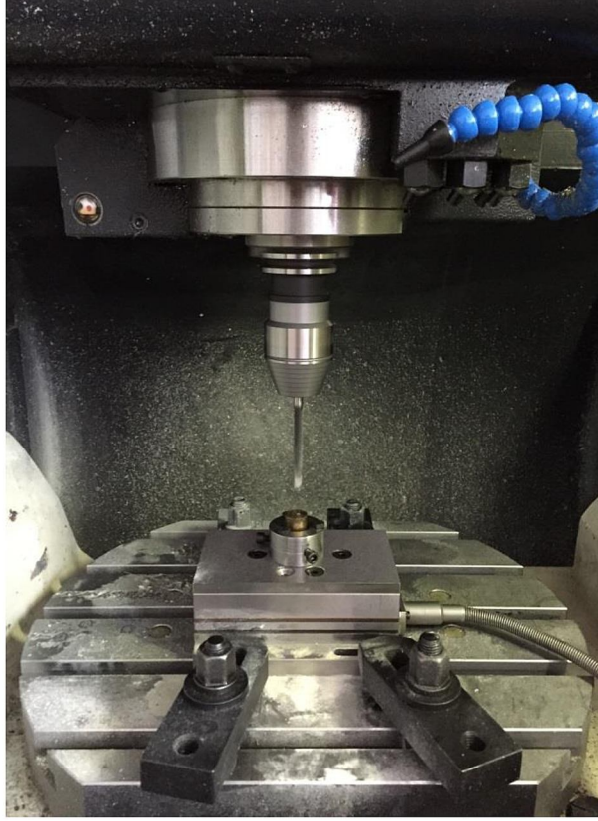
hava(gözenek) bulunması dışardan iç kısımlara doğru olan ısı transferini zorlaştırır. Bunun nedeni havanın ısı iletim katsayısının düşük olması ve buna bağlı olarak yalıtkan gibi davranmasıdır. Gerekli bekleme süresi dolduktan sonra erkek kalıplar yardımıyla eş zamanlı olarak sıkıştırma işlemi tamamlanır. Presin basıncı istenilen basınç değerine getirilir ve talaşlar bu basınçta sıkıştırılır. Sabit sıcaklık altında istenilen basınç altında 10 dakika bekletildikten sonra numune kalıptan çıkarılır. Kalıptan çıkan numunenin sıcaklığı çok yüksek olduğu için atmosfer ortamında soğuması beklenir ve üretim tamamlanmış olur. Yukarıda bahsedilen üretim aşamaları Şekil 3.37’de grafiklerle ifade edilmiştir.



Şekil 3.37 Üretim prosesi

3.6 Delik Delme İşlemi

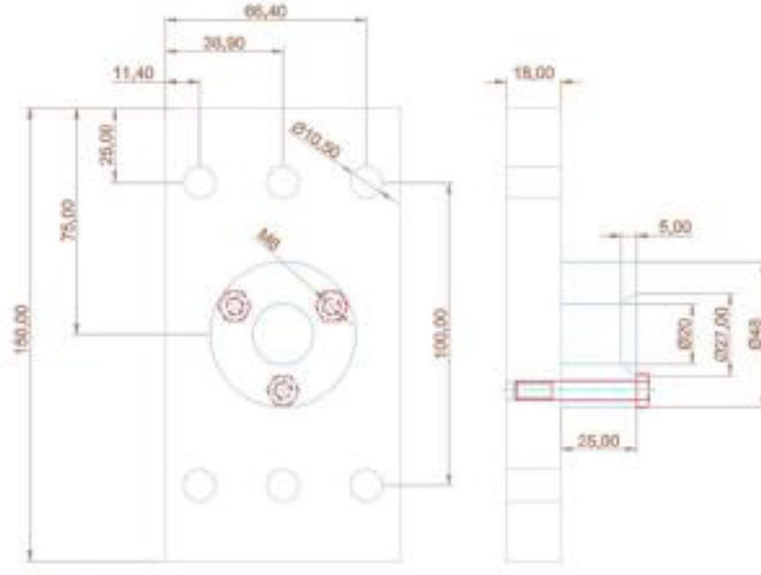
Delik delme deneyleri Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Talaşlı İmalat Laboratuvarlarında yapılmıştır. Tezgâh olarak Şekil 3.38’de gösterilen Mazak Variaxis 500-50X model işleme merkezi ve deney düzeneği kullanılmıştır. Ölçüm cihazı olarak ise Şekil 3.39’de gösterilen Kistler 9257B model dinamometre kullanılmıştır. Öncelikli olarak numunelerimizi tezgâha bağlamak ve dinamometre yardımıyla ölçüm alabilmek için bağlama aparatı tasarlanmış ve üretilmiştir. Bağlama aparatının teknik resmi Şekil 3.40’ da gösterilmiştir. Üretimi ve montajı tamamlanmış olan aparata numune yerleşimi ise Şekil 3.41’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.38 Deney düzeneği ve CNC dik işleme merkezi



Şekil 3.391 Kistler 9257B model dinamometre

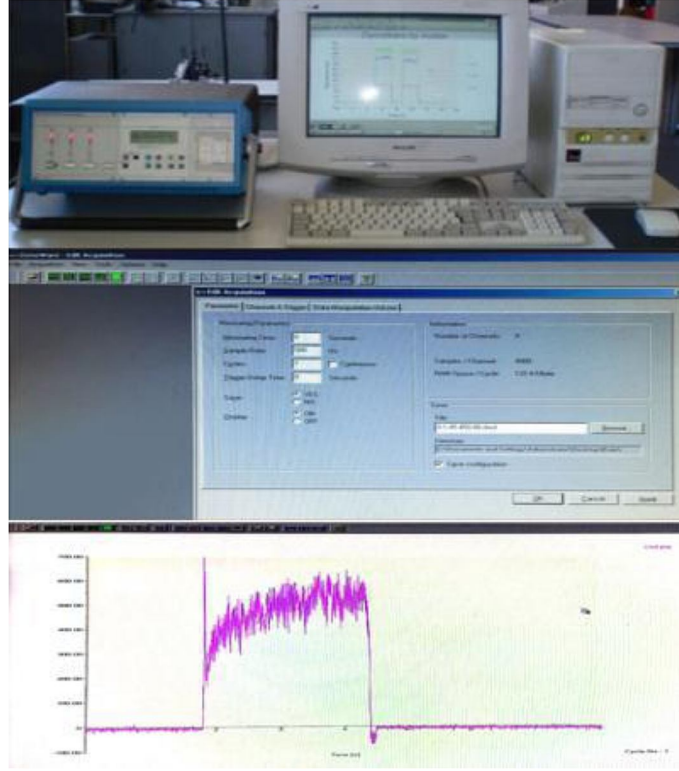


Şekil 3.40 Bağlama aparatı teknik resmi



Şekil 3.41 Bağlama aparatı ve montajı

Delme esnasında oluşan kuvvetleri ölçebilmek için 'Dynoware' yazılımı kullanılmıştır. Kullanılan ekipmanlar ve programın ara yüzü Şekil 3.42'da gösterilmiştir.



Şekil 3.42 Dynaware yazılımı ve ekipmanlar

3.7 Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

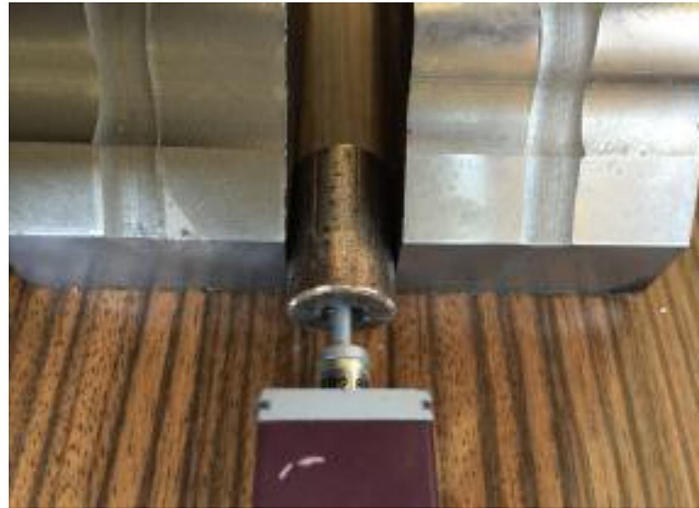
Yapılan çalışmalarda yüzey pürüzlülük ölçme aleti olarak Şekil 3.43’de görülen dokunmalı iğne taramalı Mitutoyo SJ-301 model yüzey pürüzlülük ölçüm test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz metal ve ahşap malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün ölçümünde kullanılmaktadır. Cihazın kısımları, ana gövde buna bağlı olan iğne uç parçası ve detektörüdür. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazında ana gövde içinde bir sürücü bulunmaktadır. Şekil 3.44’de de görüldüğü üzere iğne uç parçası bu sürücü üzerine monte edilmektedir. İğne uçlu sürücü eksen doğrultusunda Şekil 3.45’de görüldüğü gibi yüzeyden itibaren 4-6 mm arasında içeriye doğru konumlandırılmıştır. Ölçümlerin doğru sonuçlar vermesi için ölçülen yüzeyin hareket etmemesi gerekmektedir. Bu nedenle numuneler Şekil 3.45’de görüldüğü gibi iki tarafından desteklenmiştir. Tüm numunelerdeki delikler yaklaşık 120° döndürülerek üç farklı doğrultuda üçer tekrarlı olacak şekilde ölçümler alınıp ortalama değerleri hesaplanmıştır. Sürücünün ilerleme hızı ölçüm sırasında saniyede 0,5 mm, dönüş sırasında ise saniyede 1 mm’dir. Test cihazında Ra ve Rz parametreleri ölçülmektedir.



Şekil 3.43 Mitutoyo SJ-301 yüzey pürüzlülük ölçme cihazı



Şekil 3.44 İğne uç parçalı sürücü



Şekil 3.45 İğne uç parçalı sürücünün konumlandırılması

3.8 Tornalama İşlemi

Tornalama işlemleri Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler Şekil 3.46’de gösterilen Tezsan T 165-MF model torna tezgâhında yapılmıştır. Kullanılan tezgâhın diğer universal tezgâhlardaki gibi kısıtlı çalışma aralığına sahip olması biraz problem oluşturmuştur. Tezgâh özellikleri ve tezgâhın çalışma hız aralıklarına göre en uygun işleme parametrelerini belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.46 Torna tezgâhı

Tezgâhın sahip olduğu ilerleme değerleri ve devir sayıları Çizelge 3.6’da gösterilmiştir. Kırmızı ile işaretlenen parametreler deneylerde kullanılan değerlerdir.

Çizelge 3.6 a-) Tezgâhın ilerleme değerleri (mm/dev), b-) Tezgâhın devir sayıları (dev/dk)

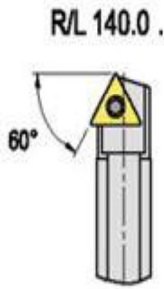
0,043	0,053	0,064	0,075	35	60	93	175
0,085	0,107	0,128	0,15	248	430	660	1240
0,171	0,214	0,256	0,299	70	120	186	350
0,342	0,428	0,513	0,598	496	860	1320	2480

a-)

b-)

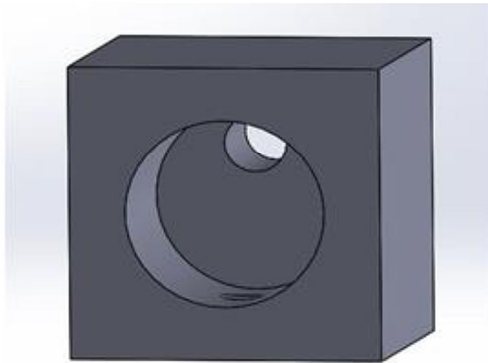
Takımı tutmak için R/L 140 0 20 16 kodlu 60° açılı Takımsaş marka bir kartuş (delik barası) kullanılmıştır. Kartuş kesilerek dinamometreye bağlanmıştır. Takım tutucuya ait özellikler Çizelge 3.7’de gösterilmiştir (Kuntoğlu, 2016).

Çizelge 3.7 Kartuşun özellikleri (Kuntoğlu, 2016)



Uygulama Application	Kod Code	Stok Stock		Ölçüler Dimensions							Uç Tipi Insert Type	Uç Vidası Insert Screw	Torx Anahtar Torx Wrench	
		R	L	h	h ₁	d	l ₁	l ₂	l ₃	f				
	RL 140 0	8 06	○	○	7	7	8	30	10.5	—	1.47	TC...0602..	7722113	T07
		10 09	○	○	8.5	8.5	10	50	14.0	—	1.7	TC...0902..		
		12 11	○	○	10.5	10.5	12	68	15.3	60	2.2	TC...1103..	7815101	T08 IP
		18 11	○	○	14.0	14.0	16	98	15.3	90	2.2			
		20 16	○	○	17.0	17.0	20	128	19.0	120	2.3	TC...16T3..	7815102	T15 IP

Takım tutucuyu dinamometreye bağlamak için Şekil 3.47’de gösterilen bağlama aparatı tasarlanıp imal ettirildikten sonra kartuşla beraber takım tutucu son şekline kavuşturulmuştur.



Şekil 3.47 Takım tutucu montajında kullanılan bağlama aparatı ve kartuşun son hali (Kuntoğlu, 2016)

3.8.1 Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi

Deneylerde kullanılacak olan tezgâhın sahip olduğu ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği gibi parametrelerin arasından gerekli olan işlenebilirlik parametrelerinin tayini için en uygun seçimin yapılması gerekmektedir. Bunun için ise ilk olarak deney parametreleri belirlenmiştir ve sonrasında bu parametreler üzerinden seçim gerçekleştirilmiştir. En uygun işleme parametrelerini bulmak için ön deneyler yapılmıştır. Yapılan ön deneyler esnasında en uygun parametrelerin belirlenmesi çalışma sonucunu yorumlamayı kolaylaştıracak faktörlerdendir.

En uygun işleme parametreleri belirleme işlemi, deneylerin gerçekleştirildiği tezgâh için yapılmıştır. Başka bir tezgâh için (CNC veya üniversal) bu değerler, tezgâh özellikleri ve çalışma aralıkları farklı olduğu için farklı olabilir. Tezgâhta meydana gelen titreşimler ve takımda oluşan kuvvetler gibi özellikler bu farklılığı meydana getirirler.

Uygun kesici ucu belirlemek için tezgâhın sahip olduğu devir sayısı, ilerleme değerleri ve takım tutucunun geometrisi dikkate alınmış ve bu parametrelere uygun olan takım seçilmiştir. Bu doğrultuda tezgâh devir sayıları (90-860 dev/dk), ilerleme (0,05-0,25 mm/dev) değerleri ve takım tutucu için de uygun olan Böhler marka TCMT 16T304 takım geometrisine sahip olan P25 kalitedeki uç seçilmiştir. Kesici ucun belirlenmesinden sonra deneylerde kullanılacak ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği değerleri için bir ön deney planı hazırlanmış ve aynı numune üzerinden ön denemeler yapılmıştır.

Tezgâhın sağlıklı çalışma aralığı göz önünde bulundurularak kesme parametreleri tayin edilmiştir. Deneylerin amacı üretilen malzemelerdeki farklı üretim parametrelerinin oluşan kuvvetlere ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek olduğu için ve 36 farklı numunede bu etkileri görebilmek için en uygun işleme parametrelerinin belirlenmesi sonucu sabit değerlerde kesme parametreleri seçilmiştir.

İlerleme değeri için Çizelge 3.6'da yer alan en düşük ve en yüksek 4 değer tırlama meydana getirmiştir. Yapılan ön çalışmalarda diğer değerlerde malzemenin işlenmesinde kopma, tırlama gibi sorunlarla karşılaşıldığı için en uygun ilerleme değeri 0,128 mm/dev olarak seçilmiştir.

Talaş derinliği için ise 0,5 ve 2 mm arasında deneyler yapılmış ve 2 mm kaldırılmaya çalışıldığında tırlama ve malzeme içerisindeki boşluklardan dolayı kırılmalar meydana gelmiştir. Talaş derinliğinin 0,5 mm seçilerek yapıldığı deneylerde

ise yüzey pürüzlülük farkları çok belirgin olmadığı için en uygun değer olarak 1 mm seçilmiştir.

Kesme hızı için Çizelge 3.6’da görüldüğü gibi en yüksek değer olan 2480 dev/dk devir sayısında tezgâh boşa çalışırken bile çok fazla titreşim meydana getirmektedir. Titreşimin ve harcanan gücün en az seviyede olduğu 860 dev/dk değeri seçilmiş ve kesme hızı dönüşümü yapılmıştır.

3.9 Deney Tesisatının Kurulması

Deney tesisatı ölçüm cihazları, bilgisayar ve universal torna tezgâhından oluşmaktadır. Ölçüm cihazları olarak dinamometre ve dinamometre sensörü kullanılmıştır. Deney tesisatı Şekil 3.48’de gösterilmektedir.



Şekil 3.48 Deney tesisatının gösterimi

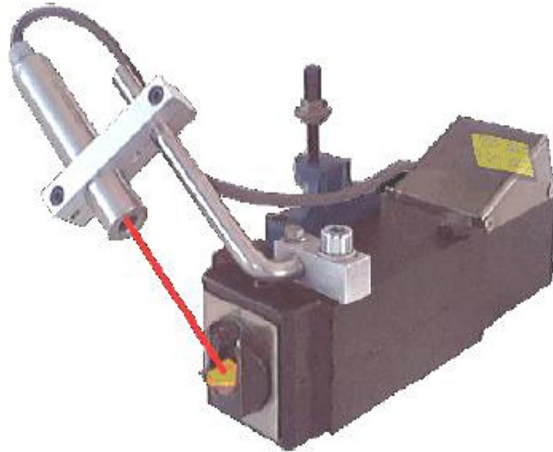
Dinamometre sensöründen elde edilen kuvvet sinyalleri doğrudan bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 3.49’de dinamometrenin ve sensörlerin tezgâha bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 3.49 Dinamometre ve sensörlerin tezgâha bağlantısı

Kullanılan TelC marka dinamometre ve oluşan sıcaklığı ölçmek için kullanılan termometre Şekil 3.50’de görülmektedir. Dinamometre üç eksenli kuvvet ölçmekte ve saniyede 10 ölçüm yapabilmektedir. Ayrıca talaş kaldırma sırasında oluşan takım ucu sıcaklığını da ölçmektedir. Yazılım bilgisayara yüklendikten sonra ölçülen değerler bilgisayar ortamında kaydedilebilir veya dinamometre üzerindeki ekrandan okunabilmektedir.

Sıcaklık ölçme cihazı ise dinamometreye vidalanarak bağlanmıştır ve oluşan sıcaklığı ışıma yolu ile ölçmektedir. Cihazın ölçüm aralığı 300-800 °C sıcaklık değerleridir ve ideal ölçüm uzaklığı takım ucundan 100 mm’dir. Fakat yapılan ön deneylerde oluşan talaşların toz halinde olması ve sıcaklığının en düşük ölçüm değerinden (300°C) düşük olması nedeniyle ön çalışmalarda kullanılan sıcaklık sensöründen veri alınamadığı için yapılacak olan deneylerde sıcaklık ölçülememiştir.





Şekil 3.50 Dinamometre ve sıcaklık ölçerin bağlantısı

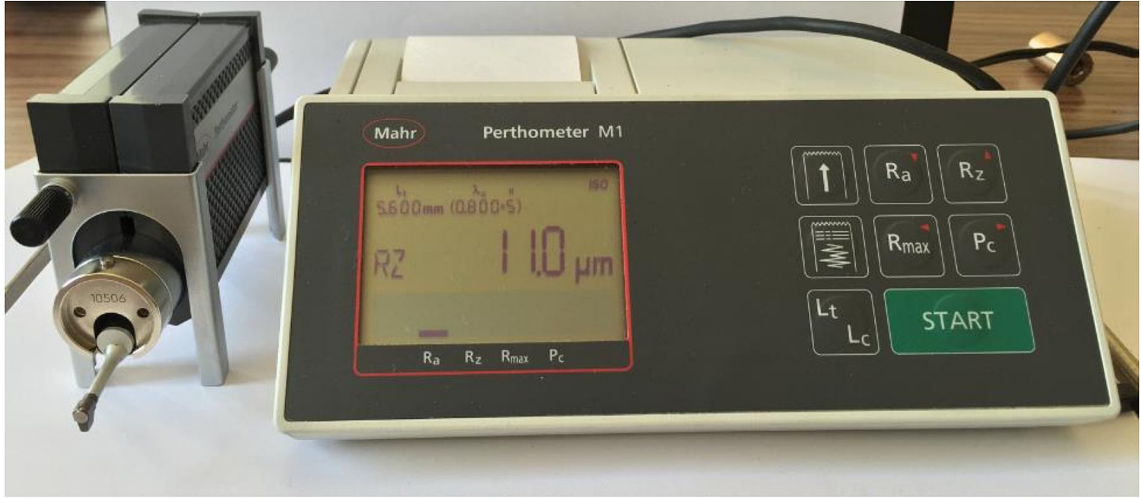
3.9.1 Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Yapılan tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülük ölçme aleti olarak Şekil 3.51’de görülen dokunmalı iğne taramalı Mahr M-1 model yüzey pürüzlülük ölçüm test cihazı kullanılmıştır. Ana çalışma prensibi ve cihaz kısımları olarak delik delme işleminde kullanılan pürüzlülük cihazına benzemektedir. Fakat taşınabilir olması ve ölçülen pürüzlülük değerlerinin çıktısını verebilmesi gibi özellikleriyle diğer cihazdan daha üstündür. Cihazın sahip olduğu özellikler Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Mahr M-1 pürüzlülük cihazı teknik özellikler

Ölçüm aralığı	150 μ m’ye kadar
Birimler	İnç ve metre
Standartlar	DIN/ISO/JIS
Ölçme uzunluğu	1,75 - 5,6 - 17,5 (mm)
Ölçülen Parametreler	R _a , R _z , R _{max} , R _{pc}
Dil	Seçilebilir 14 dil (3 Asya dili)
Ağırlık	90 gr

Ölçümlerin daha doğru sonuçlar verebilmesi için numunelerin hareket etmemeleri gerekir. Bu nedenle Şekil 3.52’de gösterildiği gibi numuneler destekleme parçalarıyla sabitlenmiştir. Tüm numuneler yanal yüzeylerinden 120° farkla döndürülerek üç farklı doğrultuda üçer tekrarlı olacak şekilde üçer ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalama değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.51 Mahr M-1 model yüzey pürüzlülük cihazı



Şekil 3.52 Sürücünün konumlandırılması ve ölçme düzeneği

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

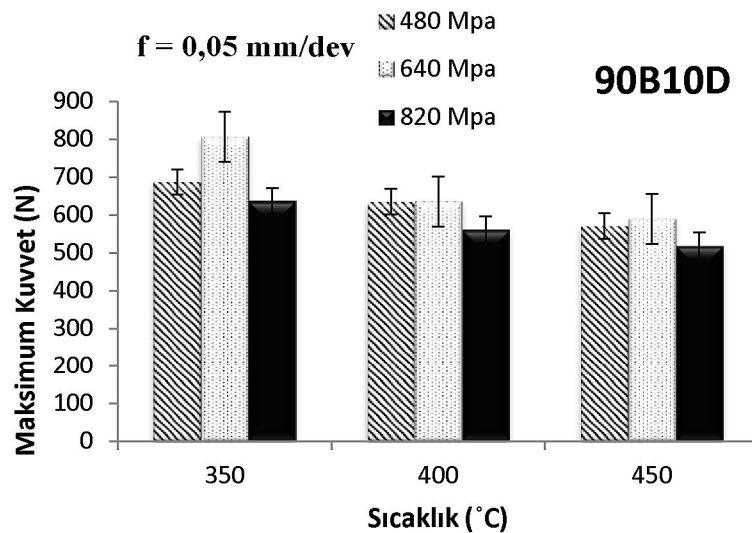
Bu bölümde, delik delme ve tornalama deneylerinin yorumlanması yer almaktadır.

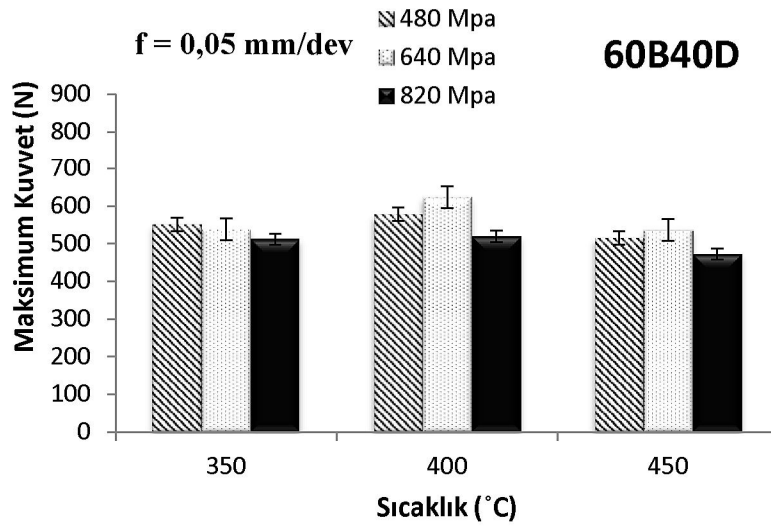
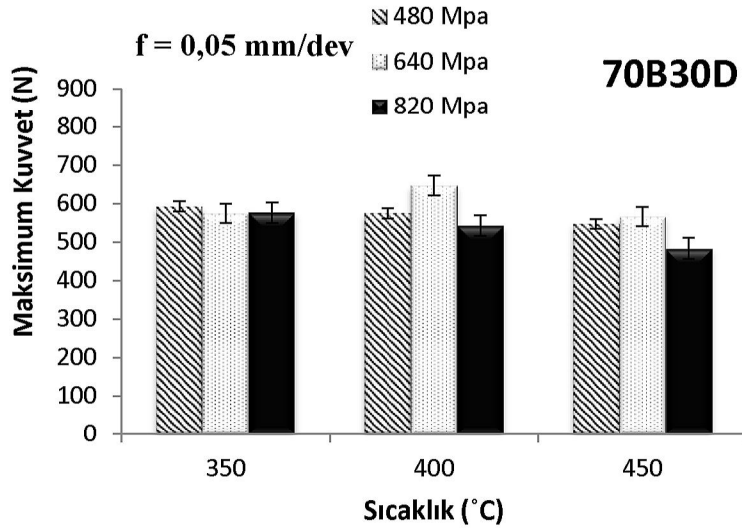
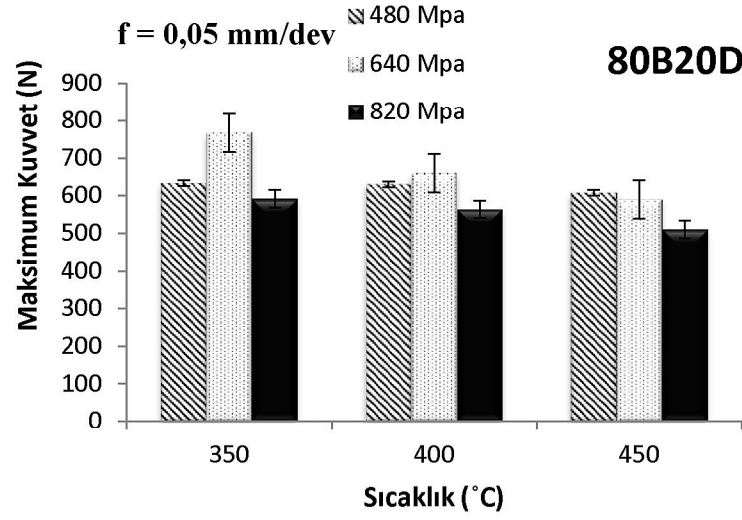
4.1. Delme Deneyi Sonuçları

4.1.1. İlerleme Hızının Ve Farklı Üretim Parametrelerinin İtme Kuvvetlerine Etkisi

Delme deneyleri sonucunda minimum, ortalama ve maksimum kuvvetler ‘Dynoware’ yazılımı yardımıyla belirlenmiştir. Numunelerin delme işleminde oluşan maksimum kuvvetler dikkate alınmıştır. Tüm numuneler alt ve üst yüzeylerinden kesme hızı sabit tutularak iki farklı ilerleme hızıyla tekrarlarıyla beraber delindikten sonra standart sapmalarıyla birlikte sütun grafiklerle gösterilmiştir. İlerleme hızı 0,05 mm/dev ile delinen numunelerde oluşan maksimum kuvvetler Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

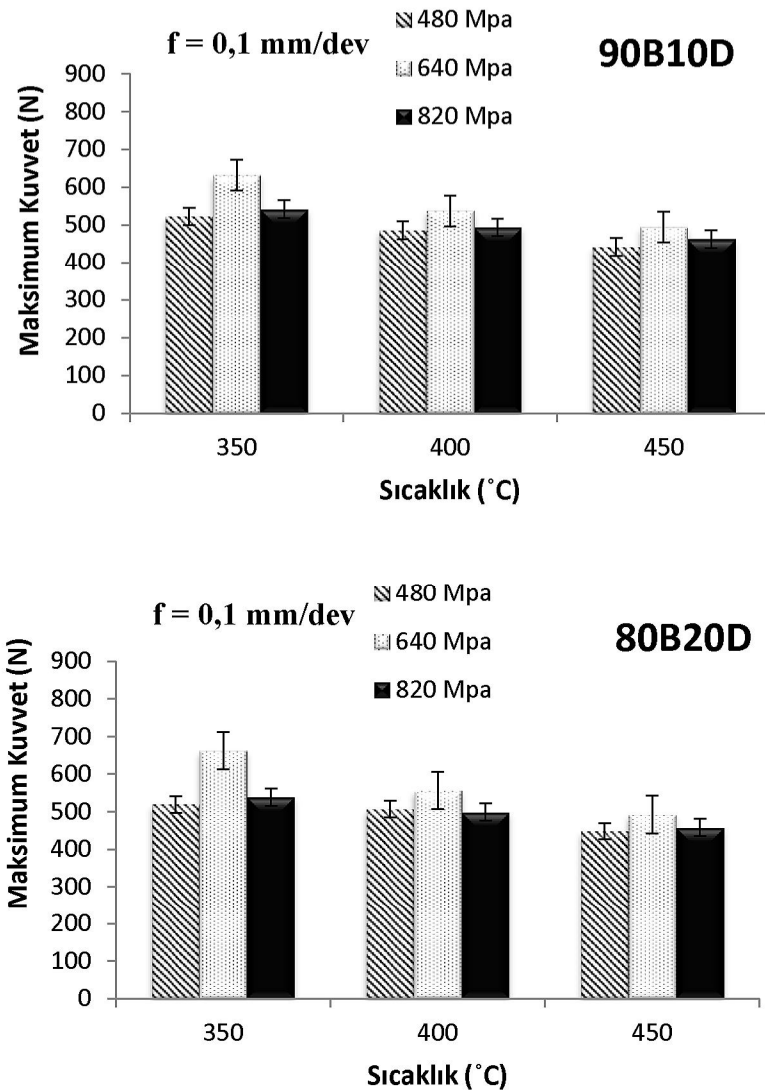
Şekil 4.1 incelendiğinde oluşan maksimum itme kuvveti 640 MPa, 350 °C 90B10D numunesinde 806,27 N büyüklüğünde meydana gelmiştir. Oluşan minimum itme kuvveti ise 820 MPa, 450 °C 60B40D numunesinde 472,23 N büyüklüğünde meydana gelmiştir. Genel eğilime bakıldığında % kompozisyondaki dökme demir oranı arttıkça oluşan itme kuvvetlerinde bir azalma meydana gelmiştir. Sıcaklığın etkisine bakıldığı zaman ise genel eğilimin artan sıcaklıkla beraber oluşan kuvvetlerin azaldığı yönünde olduğu görülmektedir. Bu durumu ise yüksek sıcaklıklara çıkıldığında talaşların yumuşayarak birbirini daha iyi kaplaması ve daha iyi bir birleşme sonucu numunelerin daha kolay işlenebildiğine bağlayabiliriz.

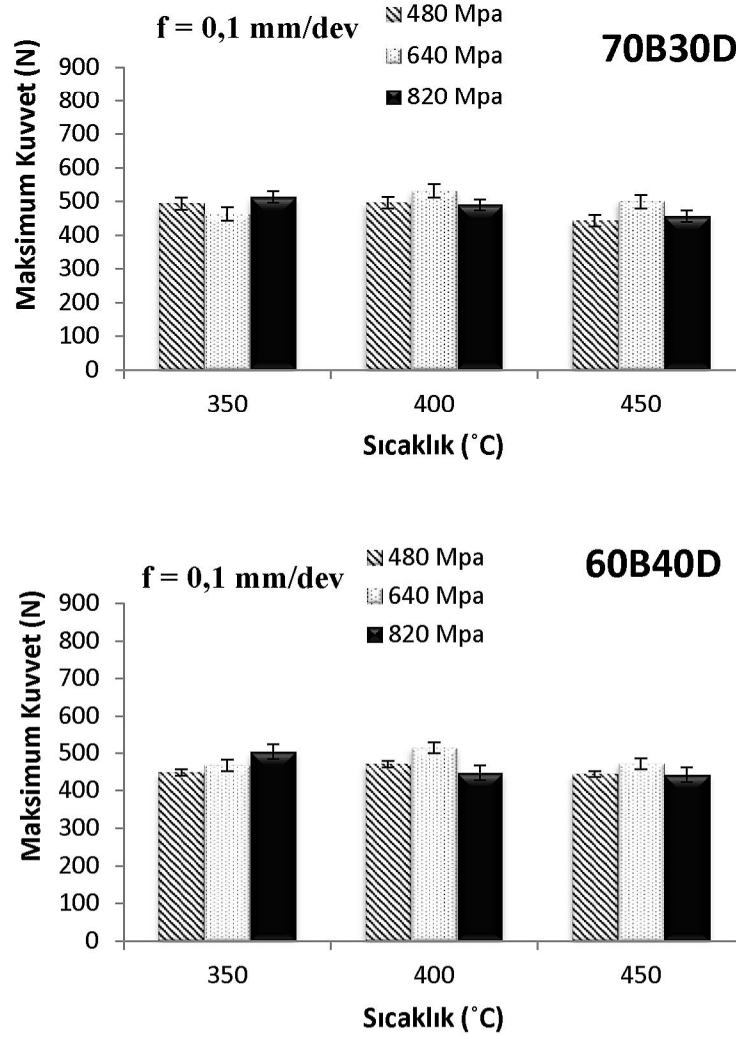




Şekil 4.1 0,05 mm/dev ilerleme değeriinde delinen numunelerde oluşan kuvvetler

İlerleme hızı 0,1 mm/dev ile delinen numunelerde oluşan maksimum kuvvetler ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Şekil 4.2 incelendiğinde oluşan maksimum itme kuvveti 640 MPa, 350 °C 80B20D numunesinde 662,70 N büyüklüğünde meydana gelmiştir. Oluşan minimum itme kuvveti ise 0,05 mm/dev ilerleme hızında meydana gelen minimum itme kuvvetinin olduğu 820 MPa, 450 °C 60B40D numunesinde 441,91 N büyüklüğünde meydana gelmiştir. Yine benzer şekilde genel eğilime bakıldığında % kompozisyondaki dökme demir oranı arttıkça oluşan itme kuvvetlerinde bir azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi dökme demirin boşluk gibi davranmasıdır. Dökme demirin fazla bir katkısı olmamakla birlikte üretim esnasında da dökme demir talaşları şekillerini muhafaza ettikleri için gerilme konsantrasyonu oluşturduğu ve kesmeyi kolaylaştırıcı etki yaptığı düşünülebilir. Dökme demirin dolgu olarak davranmış ve yapıdaki dökme demir oranı artması sonucunda gözenek miktarı artmıştır. Bu durumda gerilmiş bölgeler ve gerilme konsantrasyonun olduğu bölgeler sayıca ve büyüklükçe artıp birbirlerine yaklaştığı için kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür.

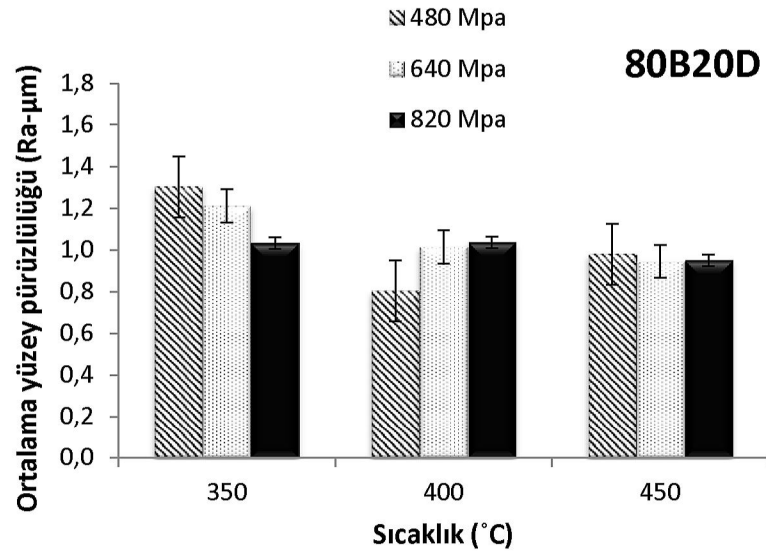
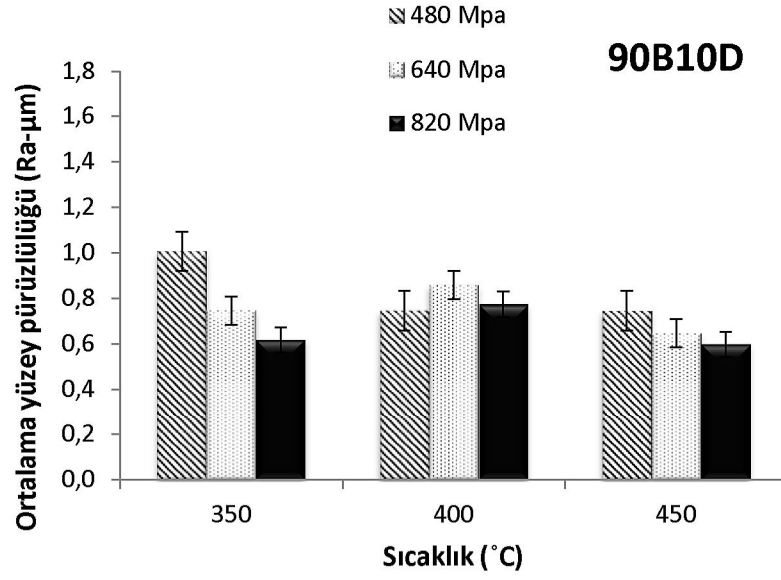


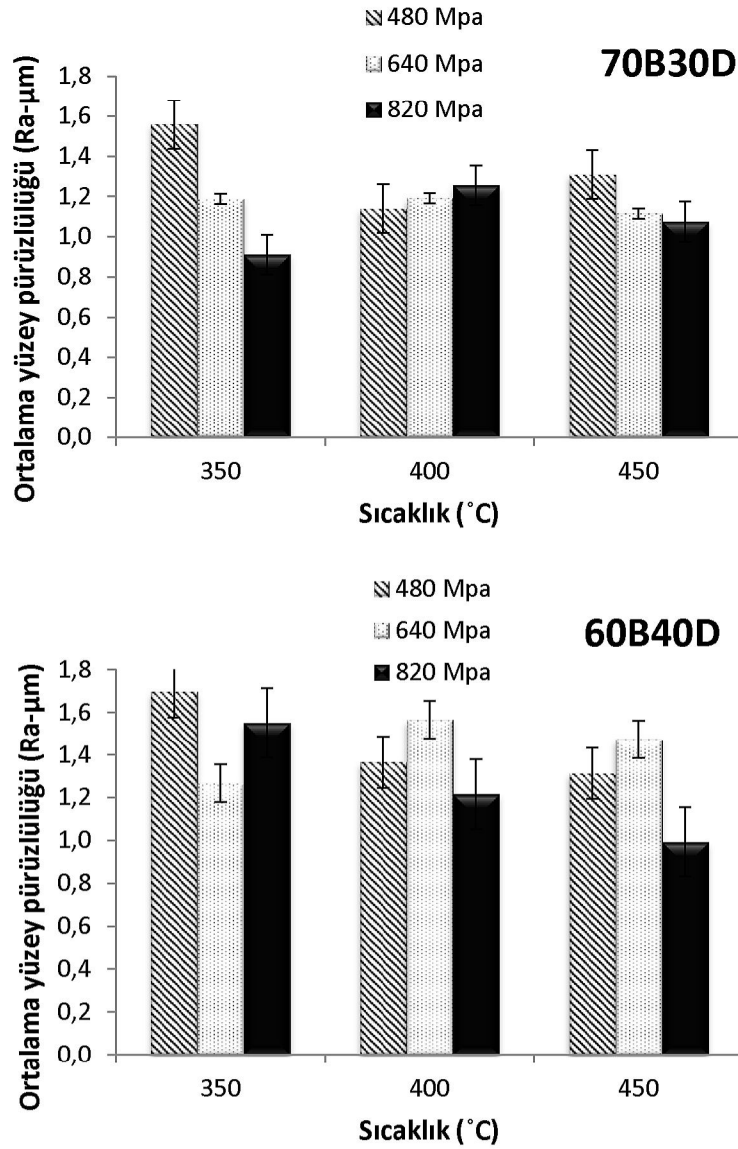


Şekil 4.2 0,1 mm/dev ilerleme değerinde delinen numunelerde oluşan kuvvetler

4.1.2 İlerleme Hızının Ve Farklı Üretim Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüklerine Etkisi

Delik yüzeylerinde yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin (R_a), ilerleme hızına (0,05 mm/dev) ve farklı üretim parametrelerine bağlı olarak değişimi tüm numuneler için standart sapmalarıyla birlikte Şekil 4.3’de verilmiştir. 0,1 mm/dev ilerleme hızıyla delinen tüm numuneler ise standart sapmalarıyla birlikte Şekil 4.5’de verilmiştir.

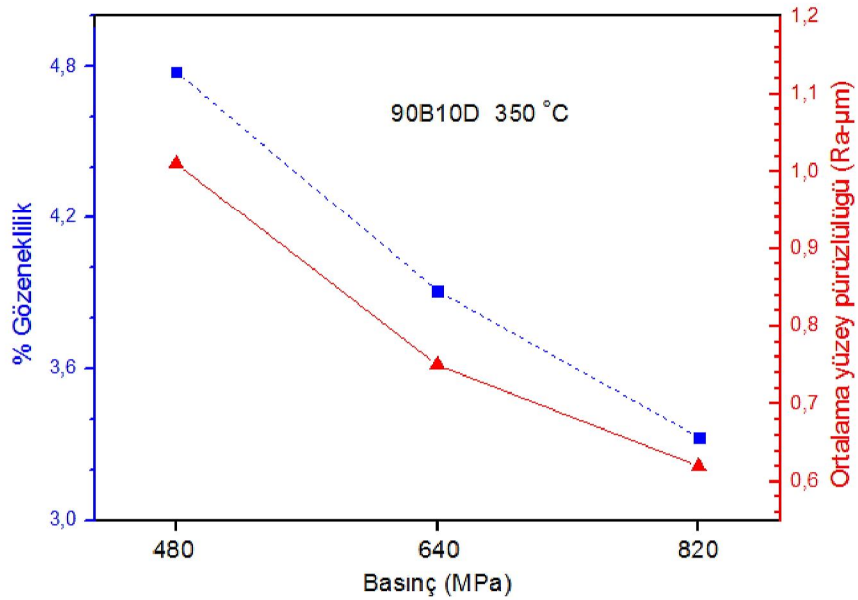




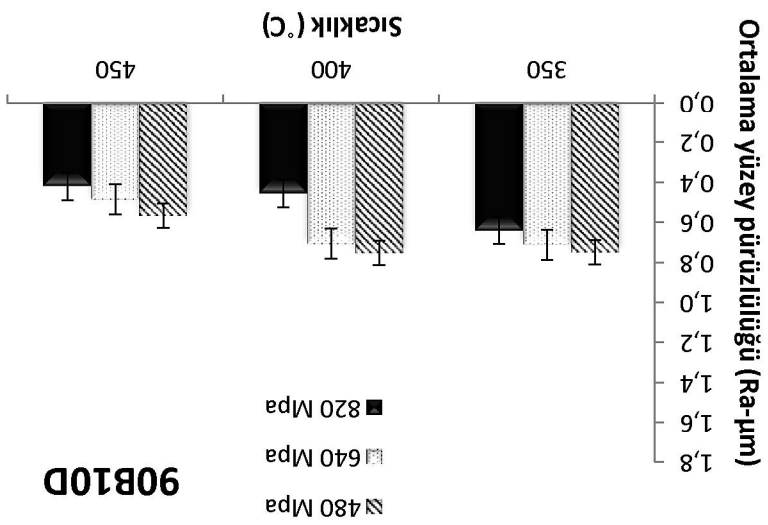
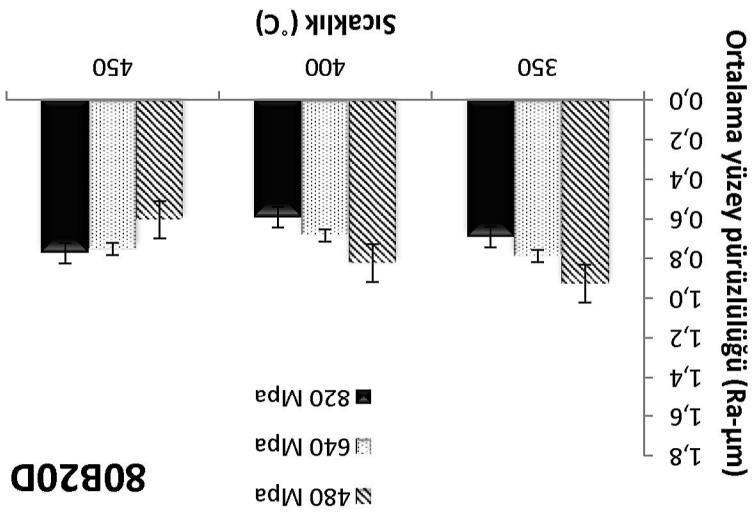
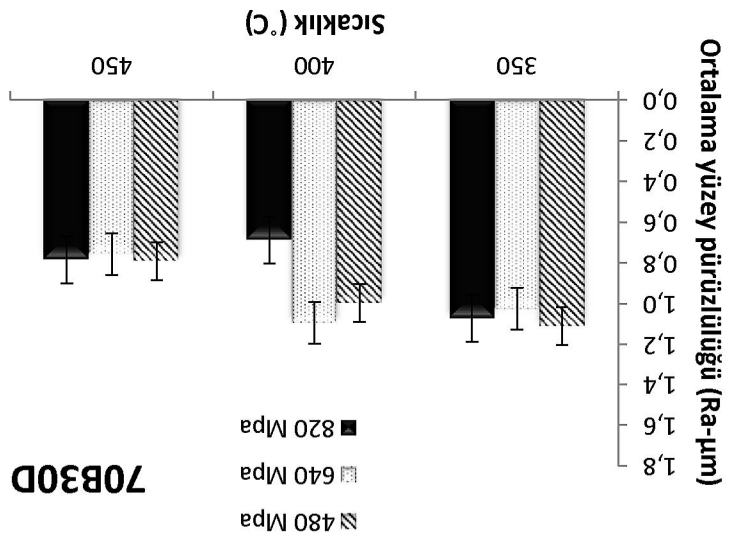
Şekil 4.31 0,05 mm/dev ilerleme değerinde ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

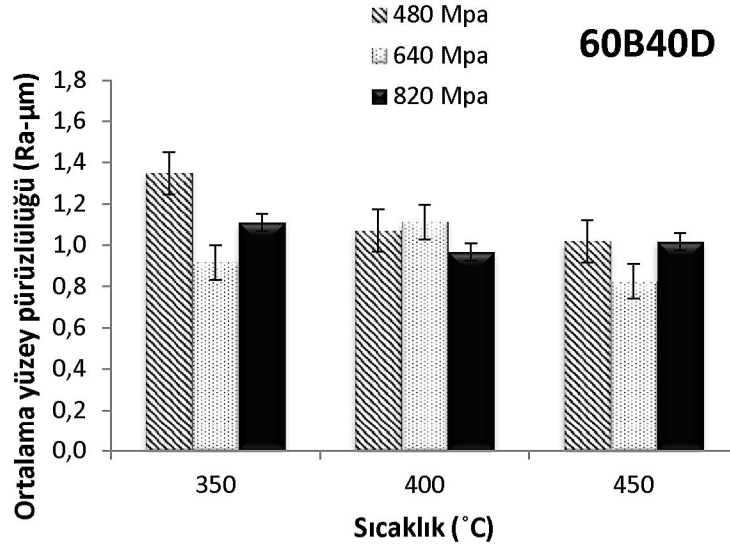
Malzemeler yüzey pürüzlülüğü açısından kıyaslandığı zaman en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 820 MPa, 450 °C 90B10D numunesinde 0,6 µm olarak ölçülmüştür. Genel eğilime bakıldığında ise % kompozisyondaki dökme demir oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 480 MPa, 350 °C 60B40D numunesinde 1.69 µm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.3'den faydalanarak kompozisyon etkisi incelendiğinde genel olarak yapı içerisindeki dökme demir oranı arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri artmaktadır. Bu durum dökme demir talaşlarının işleme sırasında kuvvet uygulandığı anda kesilmekten ziyade bulunduğu bölgeden kırılıp kopması neticesinde daha pürüzlü bir yapı elde edilmesine sebep olduğu için meydana gelmektedir. Sıcaklık ve % kompozisyon sabit tutularak basıncın etkisi incelendiğinde ise istisnai durumlar olsa da

genel olarak basınç arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır. Bu durumu basıncın artması sonucu daha iyi bir birleşme ve bütünlük sağlandığı için gözenek sayısında meydana gelen azalma ile ifade edebiliriz. Yapılan çalışmada (Aslan, 2014) artan basınçla beraber % gözeneklilik oranının azaldığı tespit edilmiştir. Basıncın % gözeneklilik ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 4.4’de gösterildiği gibidir. Sıcaklığın etkisine bakıldığında ise Şekil 4.3’ de görüldüğü gibi 400 °C ve 450 °C’deki numunelerin R_a değerleri birbirine yakınken 350 °C üretilen numunelerin R_a değerleri bariz bir şekilde daha yüksektir. Sıcaklık, birleşme kalitesine, gözenekliliğe dolayısıyla R_a ’ya etki eder fakat belli bir noktadan sonra sıcaklığın vasfı artık çok etkili olmaktan çıkmıştır.



Şekil 4.4 Basıncın yüzey pürüzlülük ve % gözenekliliğe etkisi





Şekil 4.5 0,1 mm/dev ilerleme değerinde ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

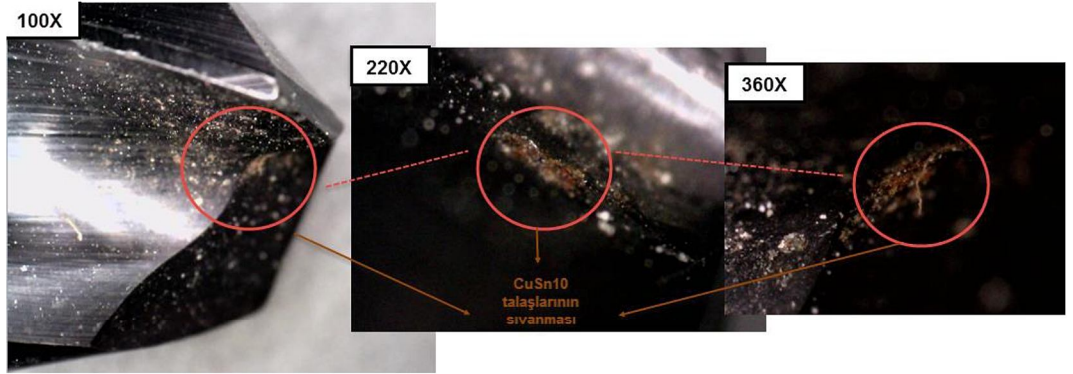
Şekil 4.5’de görüldüğü üzere tüm numuneler kıyaslandığında 0,05 mm/dev ilerleme hızıyla delinen numunelere benzer şekilde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 820 MPa, 450 °C 90B10D numunesinde 0,42 µm olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde % kompozisyondaki dökme demir oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 480 MPa, 350 °C 60B40D numunesinde 1.34 µm olarak ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü içinde itme kuvvetlerinde oluşan etkilerden bahsedebiliriz. Yüksek ilerleme hızında düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Dökme demir talaşların üretim esnasında şekillerini kısmen muhafaza etmelerinden dolayı dökme demir oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde de artma meydana gelmiştir.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.5’de gösterilen farklı ilerleme oranlarının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelendiğinde açık bir şekilde ilerleme oranı arttıkça R_a değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bunun nedenini ise (Yasir ve ark., 2006) yaptıkları çalışmada yüksek ilerleme değerlerinde işlemenin yüksek ısı meydana getirdiğini ve bu durumda kayma bölgesinde sıcaklık artışına sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Bunun sonucu takım yüzeyinden malzeme koparmanın kolaylaştığını ve yüzey pürüzlülüğünde önemli oranda azalış meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Yapılan bir diğer çalışmada ise (Koura ve Sayed, 2015) alüminyum alaşımları pirinç ve fosfor bronz gibi malzemeleri aynı parametrelerle işleyince ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gibi benzer sonuçların oluştuğunu, fakat çelik gibi daha

sert malzemeleri işlerken artan ilerlemeyle birlikte yüzey pürüzlülüğünün de arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Bronz ve pirinç gibi malzemelerin işlenmesi sırasında oluşan takım aşınmasının çelik malzemeleri işlerken meydana gelen aşınmadan daha hızlı olduğunu da belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmada ise bu çalışmalara benzer sonuçlar elde edilmiştir. İlerleme arttıkça oluşan yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır. İlerlemenin artmasıyla sıcaklık artması sonucu abrazyon aşınmasıyla çıkan CuSn10 talaşlarının adezyon kuvveti artması ve sıcaklığın etkisiyle matkap ucuna yapıştığı Şekil 4.6'da gösterildiği gibi mikroskop analizleri ile tespit edilmiştir. Dolayısıyla sıcaklığın ve ilerlemenin artmasıyla birlikte malzeme koparma işleminin kolaylaştığı ve yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana geldiği yorumlanmıştır. Matkap ucuna bronz talaşlarının yapışması ve aynı zamanda sürtünmenin etkisi ile sıvamanın meydana geldiği ve yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğü görülmektedir. Aslında bir nevi, toz halinde çıkan talaşların takımın ucunu sıvaması sonucu ince tozlardan oluşan taşlama etkisinden bahsedebiliriz.



Şekil 4.6 Bronz talaşlarının takım ucuna sıvanması

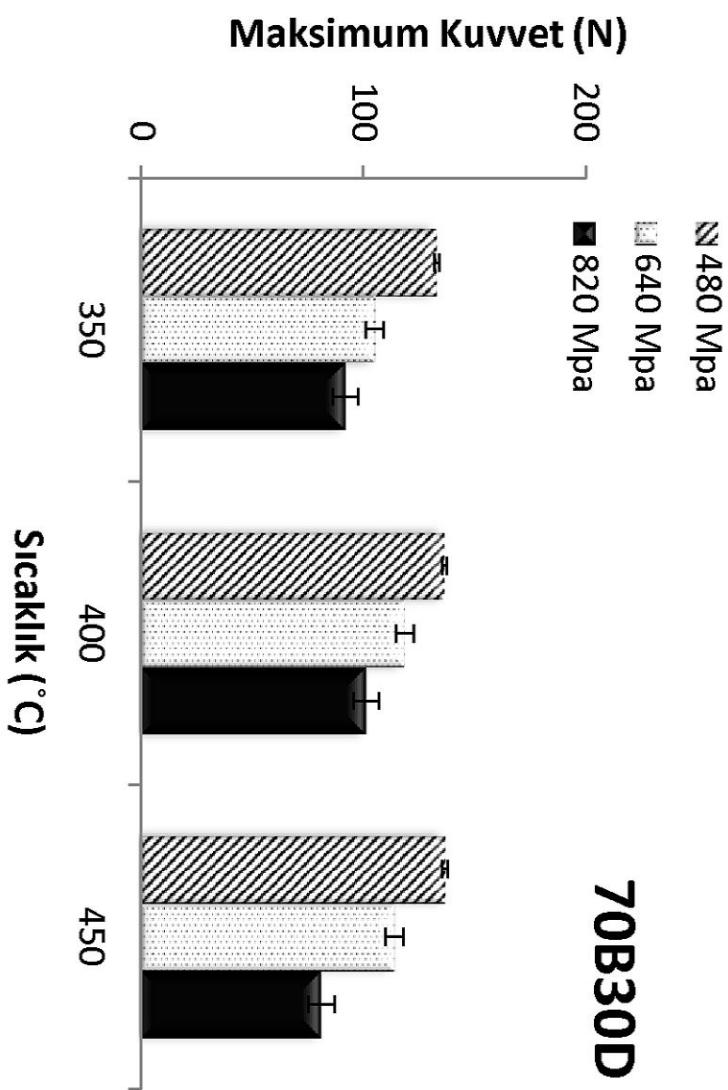
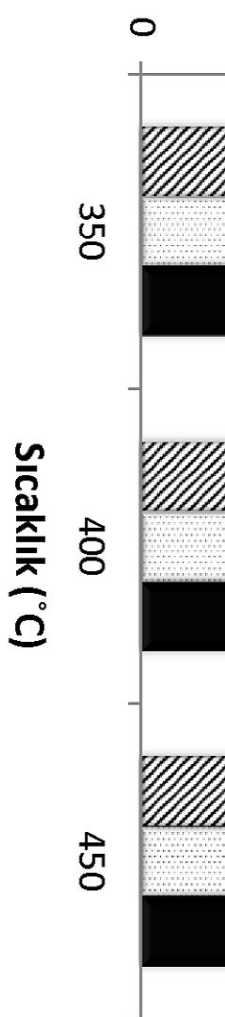
4.2 Tornalama Deneyi Sonuçları

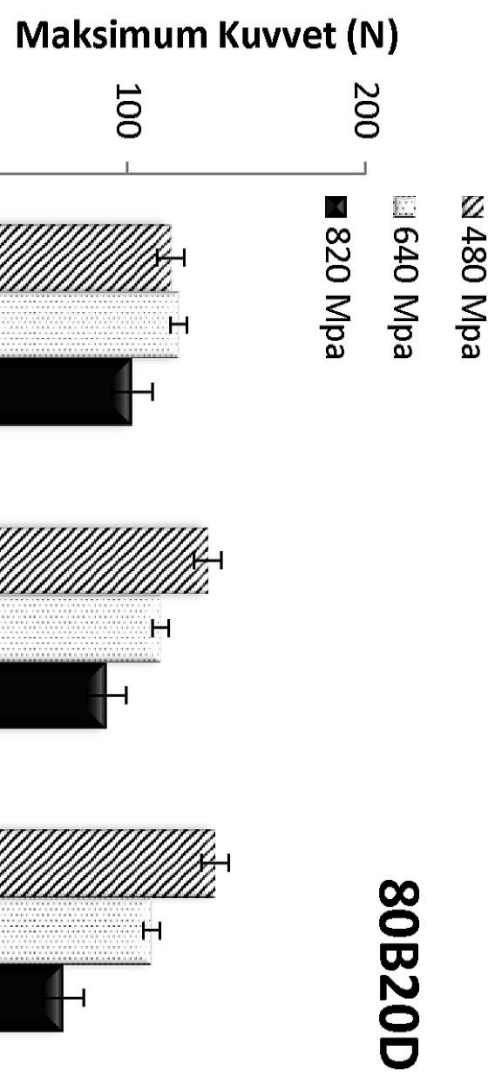
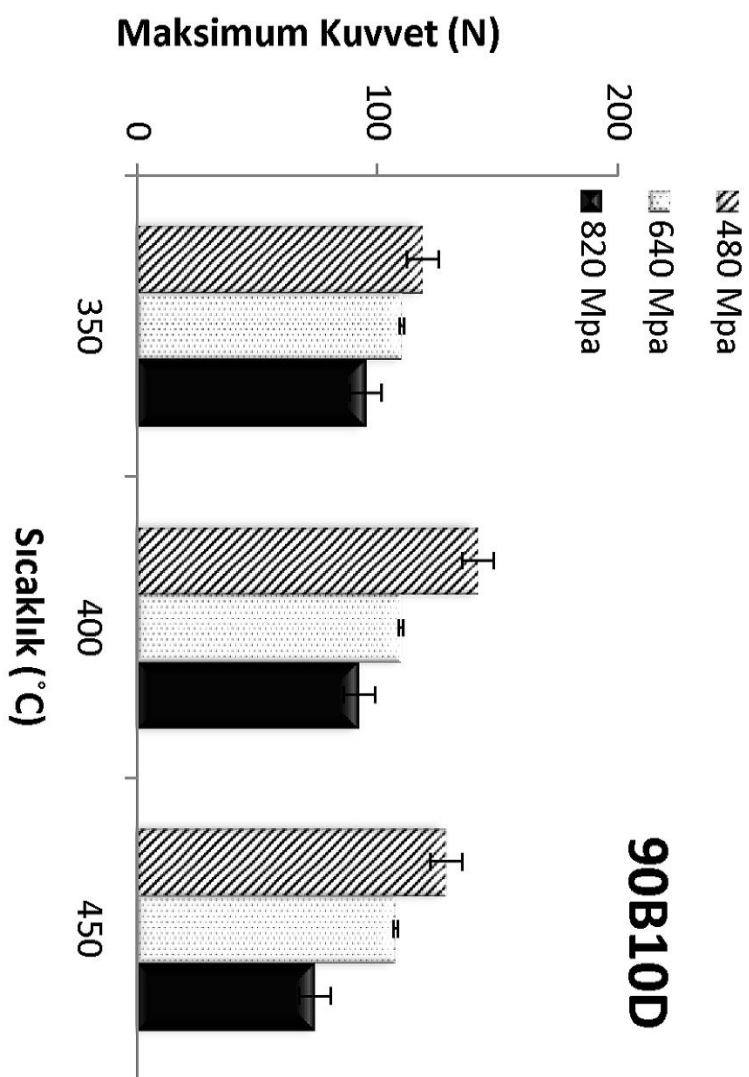
Üretilen MMK malzemelerin kaymalı yatak veya bir başka makine elemanı haline getirilmesi için hassas olarak işlenebilmesi gerekir. Çünkü birçok makine elemanı belirli aralıklarda toleranslarda çalışır. Bu bakımdan delik delme işlemiyle birlikte tornalama işlemi de büyük önem arz etmektedir. Tornalama deneyleri sonucu farklı üretim parametrelerinin radyal (F_r), teğetsel (F_c), aksenal (F_f) kuvvetlere ve yüzey pürüzlülüklerine etkisi belirlenmiştir. Burada; F_c , kesme hızı yönünde etkiyen esas kesme kuvvetini ifade eder ve genellikle oluşan en büyük kuvvettir. F_f , takım ilerlemesi yönündeki ilerleme kuvvetini ifade eder. F_r ise, işlenen yüzeye dik olan radyal kuvveti ifade eder. Esas kesme kuvveti tornalama ve frezeleme işlemlerinde güç ihtiyacını

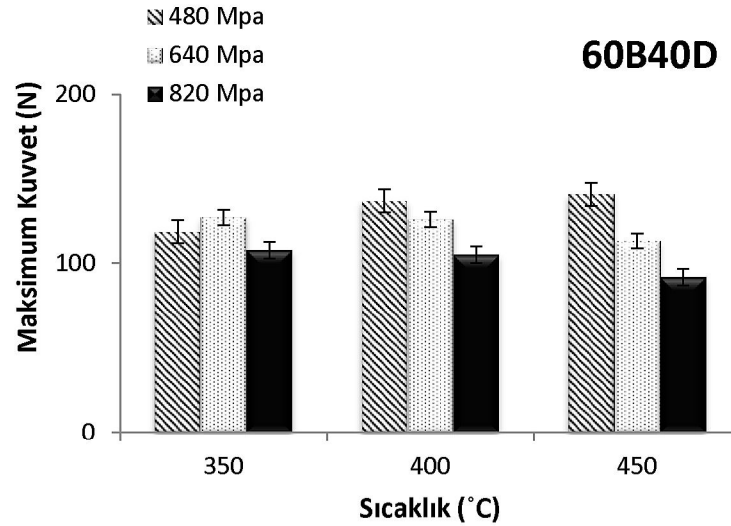
belirlemek için oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarda da üretim parametrelerinin esas kesme kuvvetine ve oluşan yüzey pürüzlülüklerine etkisi incelenmiştir.

4.2.1 Farklı Üretim Parametrelerinin Oluşan Esas Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Tüm numuneler kesme hızı ve ilerleme değerleri sabit tutularak tekrarlarıyla beraber tornalandıktan sonra oluşan maksimum esas kesme kuvvetleri standart sapmalarıyla birlikte Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Dinamometreden alınan kuvvet değerleri içerisinde esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f), radyal kuvvet (F_p) bulunmaktadır. Fakat işleme sırasında harcanan gücün yaklaşık %90’ına karşılık gelen F_c kuvvetlerinin etkisini incelemenin yeterli olacağı düşünülmüştür. Grafiklerde de görüldüğü gibi farklı imalat parametrelerinin ve farklı kompozisyondaki MMK malzemelerin oluşan kuvvetleri açık bir şekilde etkilediği gözlenmektedir. Sıcaklığın etkisi incelendiğinde ise en düşük sıcaklık olan 350 °C değerinde düşük kuvvet değerlerinin olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığın 400 °C olduğu durumlarda ise genel olarak en yüksek kuvvet değerleri elde edilmiştir. Sıcaklığın 450 °C olduğu durumlarda ise kuvvet değerleri yeniden düşüş eğilimine girdiği görülmektedir. Bu durumu malzemelerin sahip olduğu sertlik değerleri ile ilişkilendirebiliriz. Sertlik plastik deformasyona karşı bir direnç olduğu için malzemenin sertliği arttıkça plastik şekil vermek için harcanan kuvvetin de artması beklenir. Bu nedenle oluşan kuvvetler ve sertlik arasında paralellik olmasını sertlik ölçümü ve talaş kaldırma işlemlerinin malzeme yüzeyini deformasyona uğratma prensibine dayanmasıyla ilişkilendirebiliriz. Mekanik özelliklerinden sertlik özelliklerinin incelendiği (Aslan, 2014) çalışmada ise oluşan kuvvetlere paralel sertlik sonuçları elde edilmiştir. Sabit kompozisyon (70B30D) ve sabit basınçta (640 MPa) sıcaklığın kuvvetlere ve sertliğe (Aslan, 2014) etkisi Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

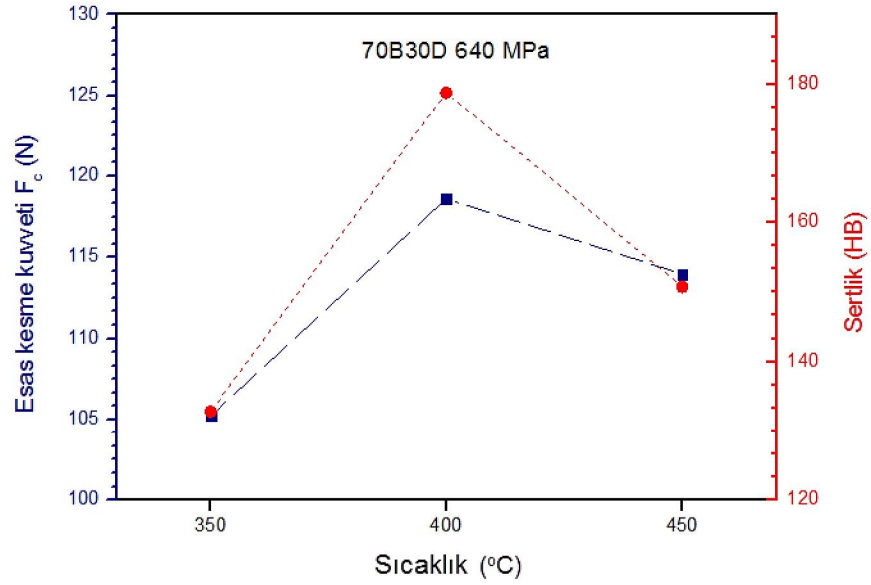






Şekil 4.7 Farklı üretim parametrelerinin oluşan esas kesme kuvvetlerine etkisi

Şekil 4.7 incelendiğinde; sıcaklığın, üretim sürecine çok fazla etkisinin olduğu söylenebilir. Talaşların yumuşaması ve plastik deformasyona karşı gösterilen direnç sıcaklığa bağlı olan parametrelerdir. Bundan dolayı bronz talaşlarının dökme demir talaşlarını kaplayabilmesi hem de yapısal bütünlüğün iyi bir şekilde sağlanması için uygun sıcaklığın belirlenmesi en önemli faktörlerden birisidir. Sıcaklık eğer fazla yüksek olursa plastik deformasyona gösterilen direnç azalmış olur ve bunun bir sonucu olarak pekleşme ile dayanım kazanılması engellenmiş olur. Sıcaklık eğer çok düşük olursa ise de yeteri kadar şekil değişimi oluşmaz ve bunun sonucunda yeterli yapısal bütünlük sağlanamamış olur. Basıncın etkisi içinde benzer durumlardan bahsedilebilir. Yeterince basınç uygulanmazsa pekleşme etkin şekilde gerçekleşemez. Genel trende bakıldığında proses basıncının en düşük (480 MPa) olduğu durumlarda en yüksek kuvvet değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.8 Sıcaklığın kesme kuvveti ve sertliğe etkisi

Farklı üretim parametrelerinde üretilen tüm numunelerde oluşan kuvvetlerin ortalaması dikkate alındığında $112,9 \pm 9,7$ N iken saf bronzda oluşan kuvvetler ise $113,2 \pm 4,6$ N büyüklüğündedir. Tüm üretim parametrelerinin (sıcaklık, % kompozisyon ve basınç) etkisi % 0,2 kadardır. Aslında bu bulgu da işlenen malzemenin hep CuSn10 olduğunun GGG-40'ın sıyrılmasının bile CuSn10 üzerinden meydana geldiğinin bir göstergesidir. Yapı içerisindeki dökme demir oranı arttıkça genel olarak oluşan kuvvetler artmaktadır, %90 bronz içeren numunelerde oluşan kuvvetler 90-110 N arasında yer alırken dökme demir oranı arttıkça bu değerler artmaktadır. En yüksek kuvvet değeri 480 MPa, 400 °C, %90 CuSn10 içeren malzemede 142 N olarak elde edilmiştir. Bu durum ise pekleşme sonucu malzemelerin dayanım kazandığının ve işlenmesinin zor olduğunun bir göstergesidir. Plastik deformasyon sonucunda malzeme içerisinde bulunan dislokasyon sayısı ve yoğunluğu artması pekleşmeyi artırır ve bu da mukavemette artışa sebep olur. Üretim parametreleri incelendiğinde en fazla pekleşmeye neden olan sıcaklığın 400 °C olduğu görülmektedir.

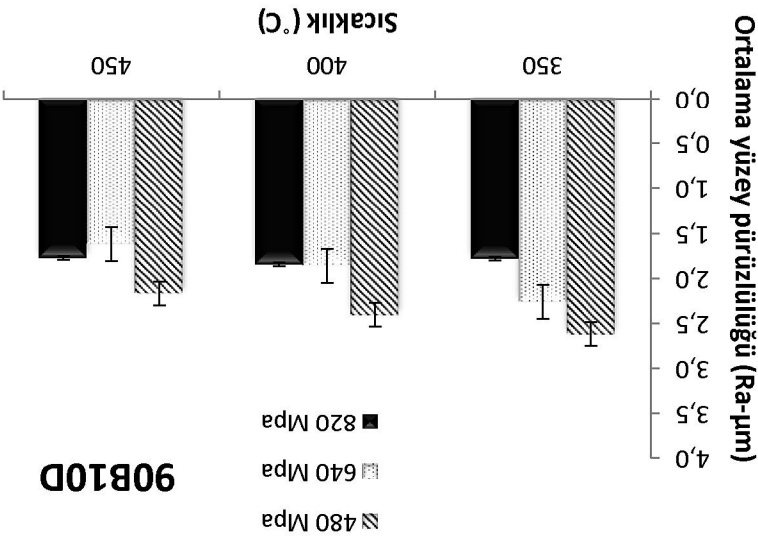
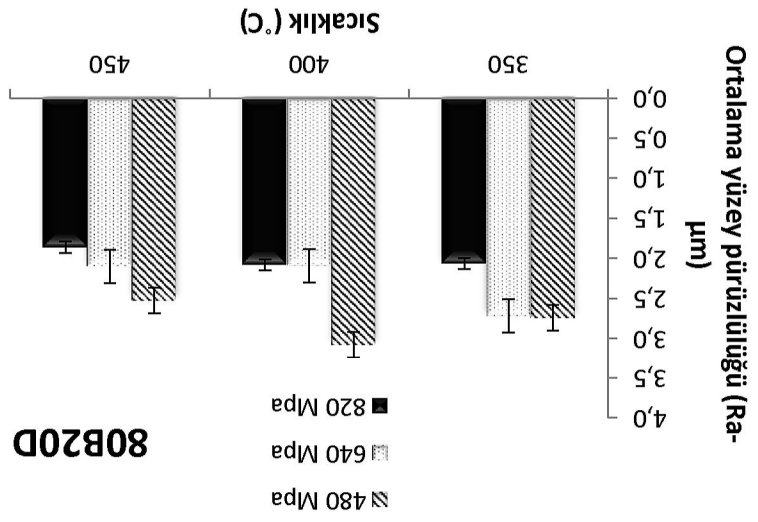
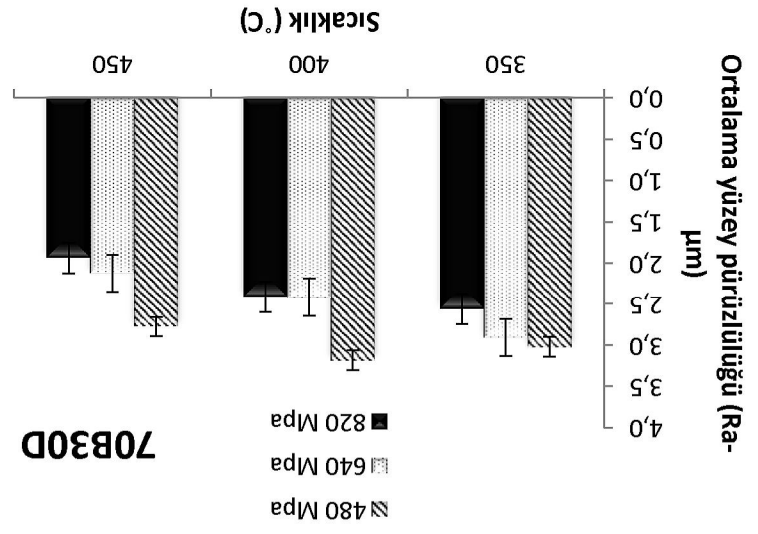
4.2.2 Farklı Üretim Parametrelerinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüklerine Etkisi

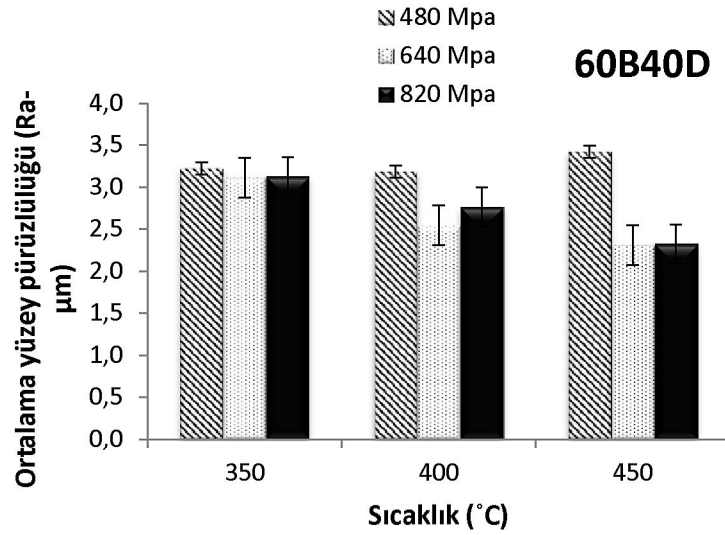
Tüm numuneler kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme değerleri sabit tutularak tekrarlarıyla beraber tornalandıktan sonra oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri standart sapmalarıyla birlikte Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi farklı yüzde bileşenlere sahip MMK malzemelerden talaş kaldırıldıktan ölçülen

ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üretim parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Saf bronzu aynı parametrelerle işledikten sonra üçer ölçüm sonucu ortalaması alındığında sahip olduğu yüzey pürüzlülük değeri $1,76 \pm 0,18 \mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. Numuneler arasında ise ölçülen en yüksek değer ise tekrarların ortalaması sonucu $3,42 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Bu değer saf bronz için ölçülen değer yaklaşık iki katıdır.

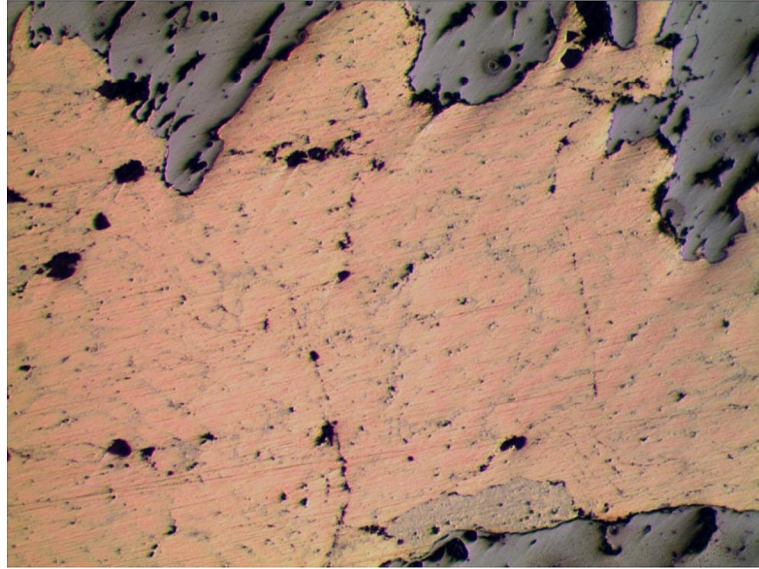
Genel trende bakıldığında yapıdaki dökme demir oranının artmasıyla birlikte ortalama yüzey pürüzlülük değeri de artış göstermektedir. Bu durum dökme demir talaşlarının üretim esnasında bronz göre şekillerini kısmen daha fazla muhafaza etmelerinden dolayı kaynaklanmıştır. Şekil 4.10'da 820 MPa basınçta ve 450 °C de üretilen ağırlıkça %90 CuSn10, %10 GGG-40 içeren numunenin optik mikroskop yardımıyla elde edilmiş mikro yapı görüntüsü gösterilmektedir. Şekil 4.10 incelendiği zaman dökme demir talaşlarının yapısını muhafaza ederken etrafının bronz talaşlarıyla kaplanmış olduğu görülmektedir. Yani dökme demir talaşlarının üretim parametrelerinden çok fazla etkilenmediğini dolayısıyla plastik deformasyona da maruz kalmadığı için mevcut dayanımında fazla bir artış olmadığını söyleyebiliriz. Yapıdaki dökme demir oranının artması, bronzun matris görevini yerine getirmesini zorlaştırmış, yapısal bütünlük azalmış ve yapıdaki boşluk oranı artmıştır. Bunun sonucu olarak oluşan yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır.

Kompozisyon oranlarının dışında olan üretim parametrelerinden basınç ve sıcaklığın pürüzlülük üzerine ortak bir etkisinden bahsedebiliriz. Grafikler incelendiğinde birkaç istisnai durum haricinde genel olarak sıcaklık ve basınç değerleri arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu durumu yüksek sıcaklık ve basınç altında bronz talaşlarının dökme demir talaşlarını daha iyi kaplaması sonucu daha iyi bir yapısal bütünlüğün sağlanmasına bağlayabiliriz.





Şekil 4.9 Farklı üretim parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüklerine etkisi



Şekil 4.10 820 MPa basınçta ve 450 °C de üretilen ağırlıkça %90 CuSn10, %10 GGG-40 içeren numunenin mikro yapı görüntüsü 100X

Talaş bölgelerini, serbest yüzeyde bir arada tutan bağlar fazla kuvvetli olmadığı için serbest yüzeylerden talaş kaldırma işlemi yani o bölgeyi deforme etmek daha kolaydır. Numunelerin serbest yüzeylerinden talaşlar koparak yerinden ayrılırken üretim parametrelerine göre değişmekte olsa da Şekil 4.11’de görüldüğü gibi takım yüzeyden yaklaşık 1-1,5 mm ilerledikten sonra düzgün bir işleme rejimine geçilmiş ve talaşlar kesilerek yüzeylerden ayrılmıştır. Şekil 4.12’de görülmekte olan talaş boyutları da bu durumun bir göstergesidir. Yüzeyden kopan talaşlar 3-8 mm arasında değişirken diğer kısımlardan çıkan talaşların toz şeklinde olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum serbest

kenar etkisinin sonucudur. Serbest kenar etkisi aslında birleşme kalitesinin de bir ölçüsüdür. Yapıda mükemmel bir birleşmeden bahsetmek istiyorsak serbest kenar etkisinin hiç olmaması beklenir. Bu etkinin yüzeyden ne kadar ilerleme sonrasında ortadan kalktığı, yani düzgün işleme rejimine girdiği noktayı tayin etmek çok önemli bir parametredir. Çünkü imal edilecek olan parçanın nihai boyutu dikkate alınması gerekirse serbest kenar etkisinin aktif olduğu aralıklar verilmeli ve buna göre imalat yapılmalıdır.



Şekil 4.11 Serbest kenar etkisi



Şekil 4.12 Serbest kenar etkisi sonucu yüzeylerde oluşan kopmalar sonucu oluşan talaşlar

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bronz (CuSn10) ve GGG-40 (Küresel grafitli dökme demir) talaşlarının çift etkili sıcak presleme yöntemiyle üç farklı sıcaklık, üç farklı basınç ve dört farklı kompozisyondan elde edilen metal matris kompozit malzemelerin talaşlı işlenebilirlik özellikleri incelenmiş ve gerekli bölümlerde bahsedilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıda belirtilmiştir.

- Yapılan ön çalışmalar sonucu kesme hızının itme kuvveti üzerinde fazla etkisi olmadığı görülmüştür. Ön çalışmada kullanılan kaplamasız matkap uçları numunelerin kırılmasına ve büyük kuvvetler doğmasına sebep olmuştur. Oluşan büyük kuvvetler ve takım ucunun kırılmasından dolayı numunelerde de kopmalar meydana gelmiştir ve sağlıklı veriler elde edilmemiştir. Bu bakımdan karbür kaplamalı matkap uçları kullanılmış ve numuneleri bu tür uçlarla kırılmadan veya parçada kopmalar oluşturmada rahat bir şekilde işlenmiştir.
- Delik delme işleminde ilerleme hızı arttıkça itme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Daha düşük kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü elde edebilmek için numunelerin daha yüksek ilerleme değerlerinde işlenmesi uygun olacaktır.
- Delik delme işleminde kompozisyondaki dökme demir oranının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü artmış fakat itme kuvvetleri azalmıştır. Bu durum dökme demirin aslında dolgu malzemesi olarak davrandığını göstermektedir. Dökme demir talaşları daha zayıf bölgeler oluşturmuş ve oranı arttıkça işleme sırasında direnç gösterememiştir. Yani dökme demir bölgeleri sanki gerilme konsantrasyonu oluşturmuş veya boşluk gibi davranmış diyebiliriz. Bu nedenle işleme kolay gerçekleşmiştir.
- Delik delme işleminde, numune üretiminde kullanılan basınç değerinin işlenebilirlik üzerine çok fazla etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Tornalama esnasında genel olarak oluşan maksimum kuvvetler üretim basıncının en düşük olduğu değerlerde gözlemlenmiştir.

- Tornalama işleminde de delik delme işlemine benzer şekilde yapıdaki dökme demir oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmiştir.
- Tornalama işlemi için kompozisyon oranlarının dışında olan üretim parametrelerinden basınç ve sıcaklığın pürüzlülük üzerine ortak bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. Basınç ve sıcaklık arttıkça pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmüştür.

5.2 Öneriler

Metal talaşlarının geri dönüştürülmesiyle yapılan bu tez çalışması üzerine daha sonrasında yapılacak olan bazı çalışmalar ve öneriler aşağıda belirtildiği gibidir. Bu öneriler hem endüstride hem de akademik olarak yapılacak olan çalışmalara yöneliktir.

- Erkek ve dişi kalıp arasındaki boşluğun azaltılması üretim esnasında oluşan talaşların yumuşayıp bu boşluğa dolma problemini biraz daha engellemiş olacaktır. Bu sayede daha yüksek sıcaklık ve basınçlarda daha rahat çalışma kolaylığı sunacaktır.
- Çalışmada kullanılan metal talaşları bronz ve dökme demirdir. Bu talaşlara alternatif olarak başka metal talaşları kullanılarak daha iyi mekanik özellikler elde edilebilir.
- Üretim, 15 dakika ısıtma 10 dakika basınç altında bekleme proseslerinden oluşmaktadır. Bu süreler arttırılırsa daha etkili bir birleşme sağlanmış olabilir.
- Üretim işlemi çift etkili sıcak pres yardımıyla yapılmıştır. Aynı veya farklı metal talaşlarını sinterleme, soğuk presleme veya başka bir imalat yöntemiyle de üreterek farklı mekanik özelliklere sahip malzemeler elde edilebilir.
- Bu çalışmada üretilen MMK malzemelerin talaşlı işlenebilirliği için delik kalitesine etki eden hasar bölgelerini azaltıcı yönde, takım aşınması ve ömrü üzerine, farklı tipte ve farklı çapta takım uçları kullanılarak deneyler genişletilebilir.
- Üretilen MMK malzemeleri tornalama işleminde kullanılan orta kalitedeki takım ucu yerine farklı kalitedeki takım uçları kullanarak oluşan kuvvetlerde ve yüzey pürüzlülüklerinde bir azalış elde edilebilir.

- Tornalama işlemlerinde kullanılan takımın yaklaşma açısı 60° 'dir. Daha farklı açılara sahip olan bir takımın kullanılması durumunda kuvvet ve pürüzlülük değerlerinin değişimi incelenebilir.
- Talaş kaldırma işleminin yapıldığı numunelerin boyları 30-35 mm arasındadır ve bu boyların universal tezgâhta işlenmesi biraz zor ve ölçülen veriler biraz kısıtlı kalmaktadır. Daha rahat işleme ve veri alma ortamının sağlanması için numunelerin daha uzun boylarda üretilmesi ve buna göre bir kalıp tasarımı çalışması yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 2000, Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları, Birsen Yayınevi, p.
- Aslan, A., 2014, Atık Metal Talaşlarının Geri Dönüştürülmesiyle Metal Matris Kompozit Malzeme Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*.
- Behera, R. ve Sutradhar, G., 2012, Machinability of LM6/SiCp metal matrix composites with tungsten carbide cutting tool inserts, *ARPJN journal of Engineering and Applied Sciences*, 7 (2), 216-221.
- Cakir, M. C. ve Isik, Y., 2008, Investigating the machinability of austempered ductile irons having different austempering temperatures and times, *Materials & Design*, 29 (5), 937-942.
- Callister, W. D., 2001, Fundamentals of materials science and engineering: an interactive e-text.
- Chawla, K. K., 2006, Metal matrix composites, Wiley Online Library, p.
- Coromant, S., 1996, Stainless steel turning—application guide, *AB Sandvik Coromant, Sandviken*, 14.
- Çakır, M., 1999, Modern talaşlı imalatın esasları, *Ceylan Matbaacılık, Bursa*.
- DeGarmo, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A. ve Klamecki, B. E., 1997, Materials and process in manufacturing, Prentice Hall, p.
- Durand-Charre, M., 2004, Microstructure of steels and cast irons, Springer Science & Business Media, p.
- Ekici, E., 2012, Alüminyum Matrisli B4c Takviyeli ve Grafit Katkılı Kompozitlerin Üretilmesi, Mekanik Özellikleri ve Frezede İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi*.
- El-Sonbaty, I., Khashaba, U. ve Machaly, T., 2004, Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites, *Composite structures*, 63 (3), 329-338.
- Ezugwu, E., 2005, Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45 (12), 1353-1367.
- Gadelmawla, E., Koura, M., Maksoud, T., Elewa, I. ve Soliman, H., 2002, Roughness parameters, *Journal of Materials Processing Technology*, 123 (1), 133-145.
- German, R. M., 1989, Particle packing characteristics.
- German, R. M., 2007, Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, *Çeviri. Ed: Sarıtaş S., Türker M., Durlu N., Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları, Ankara*.
- Gronostajski, J. ve Matuszak, A., 1999, The recycling of metals by plastic deformation: an example of recycling of aluminium and its alloys chips, *Journal of Materials Processing Technology*, 92, 35-41.
- Günay, M., 2009, Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Huda, M., Hashmi, M. ve El-Baradie, M., 1995, MMCs: materials, manufacturing and mechanical properties, *Key Engineering Materials*, 37-64.
- Kannan, S. ve Kishawy, H., 2008, Tribological aspects of machining aluminium metal matrix composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 198 (1), 399-406.
- Kaybal, H. B., 2015, Karbon Nanotüp Takviyeli Karbon Elyaf/Epoksi Nanokompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Delme Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*.

- Kılıçkap, E., Cakır, O., Aksoy, M. ve Inan, A., 2005, Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenised SiC-p reinforced aluminium metal matrix composite, *Journal of Materials Processing Technology*, 164, 862-867.
- Kiswanto, G., Zariatin, D. ve Ko, T., 2014, The effect of spindle speed, feed-rate and machining time to the surface roughness and burr formation of Aluminum Alloy 1100 in micro-milling operation, *Journal of Manufacturing Processes*, 16 (4), 435-450.
- Kopač, J. ve Bahor, M., 2001, Interaction of the workpiece material's technological past and machining parameters on the desired quality of the product surface roughness, *Journal of Materials Processing Technology*, 109 (1), 105-111.
- Koura, O. M. ve Sayed, T. H., 2015, Prediction of surface roughness and feed force in milling for some materials at high speeds, *American Journal of Mechanical Engineering*, 3 (1), 1-6.
- Krar, S. F., Rapisarda, M. ve Check, A. F., 1998, Machine tool and manufacturing technology, Delmar Pub, p.
- Krishnamurthy, L., Sridhara, B. ve Budan, D. A., 2007, Comparative study on the machinability aspects of aluminium silicon carbide and aluminium graphite composites, *Materials and Manufacturing Processes*, 22 (7-8), 903-908.
- Kumar, N. S., Shetty, A., Shetty, A., Ananth, K. ve Shetty, H., 2012, Effect of spindle speed and feed rate on surface roughness of Carbon Steels in CNC turning, *Procedia Engineering*, 38, 691-697.
- Kuntoğlu, M., 2016, Tornalamada akustik emisyon ve kesme kuvveti sinyalleri kullanarak takım kırılması ve ilerleyen takım aşınmasının tahmin edilmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kurt, A., 2001, Kendi Kendini Yağlayan Toz Metal Yataklar, 17 (Türk Toz Metalurjisi Derneği Bülteni), 4.
- Lin, J., Bhattacharyya, D. ve Kecman, V., 2003, Multiple regression and neural networks analyses in composites machining, *Composites Science and Technology*, 63 (3), 539-548.
- Manna, A. ve Bhattacharayya, B., 2003, A study on machinability of Al/SiC-MMC, *Journal of Materials Processing Technology*, 140 (1), 711-716.
- Mikell, P. G., 1999, Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems, John Wiley & Sons, New York.
- Ozben, T., Kılıçkap, E. ve Cakır, O., 2008, Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC, *Journal of Materials Processing Technology*, 198 (1), 220-225.
- Özçatalbaş, Y., 1996, 1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin Isıl İşleme Değişen Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri, *Doktora Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Reddy, N. S. K., Kwang-Sup, S. ve Yang, M., 2008, Experimental study of surface integrity during end milling of Al/SiC particulate metal-matrix composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 201 (1), 574-579.
- Sarıtaş, S., 1994, Toz Metalurjisi, "Makine Müh. El Kitabı", 2. Baskı, I. Cilt, MMO.
- Sekulic, M., Hadsiztevic, M. ve Pejic, V., 2012, Influence of material properties on the machinability in face milling, *Materiali in tehnologije*, 46 (6), 601-606.
- Shaw, M. C., 2005, Metal cutting principles, Oxford university press New York, p.
- Shoba, C., Ramanaiah, N. ve Rao, D. N., 2015, Effect of reinforcement on the cutting forces while machining metal matrix composites—An experimental approach, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18 (4), 658-663.

- Sornakumar, T. ve Kumar, A. S., 2008, Machinability of bronze–alumina composite with tungsten carbide cutting tool insert, *Journal of Materials Processing Technology*, 202 (1), 402-405.
- Şahin, Y., 2000a, Talaş kaldırma prensipleri II, Nobel Yayın Dağıtım, p.
- Şahin, Y., 2000b, Kompozit malzemelere giriş, Gazi Kitabevi, p.
- Tönshoff, H., Spintig, W., König, W. ve Neises, A., 1994, Machining of holes developments in drilling technology, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 43 (2), 551-561.
- Tsao, C., 2008, Thrust force and delamination of core-saw drill during drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37 (1-2), 23-28.
- Vilarinho, C., Davim, J., Soares, D., Castro, F. ve Barbosa, J., 2005, Influence of the chemical composition on the machinability of brasses, *Journal of Materials Processing Technology*, 170 (1), 441-447.
- Yasir, M., Ginta, T. L., Ariwahjoedi, B., Alkali, A. U. ve Danish, M., 2006, Effect of cutting speed and feed rate on surface roughness of aisi 316l ss using end-milling.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emin SALUR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KARATAY 19.02.1990
Telefon : 0505 665 11 46
Faks :
e-mail : eminsalur@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Karatay S.D.M.P. Anadolu Lisesi, Karatay, KONYA	2008
Üniversite	: Dokuz Eylül Üniversitesi, Konak, İZMİR	2014
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	-
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2015	Tübitak 1001 Projesi (113M141)	Bursiyer
2017-	Selçuk Üniversitesi	Araştırma görevlisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Emin SALUR, Mustafa ACARER, Fikret KABAKCI, Selcuk KESKINKILIC, Filiz KUMDALI ACAR *Microstructural and Mechanical Characterization of 9 Cr – 1 Mo - 1 W Weld Metal*, 3rd International Iron & Steel Symposium.

Aslan, A., ŞAHİN, Ö. S., SALUR, E., GÜNEŞ, A., AKDEMİR, A., KARADAĞ H.B., *A New Method for Recycling of Metal Chips*, Journal of Selcuk University Natural and Applied Science.

Aydın GÜNEŞ, Ömer Sinan ŞAHİN, Hayrettin DÜZCÜKOĞLU, Abdullah ASLAN, Emin SALUR *Wear Behavior of Metal Matrix Composites by Recycling Metal Chips*, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 10 (15) October 2016, Pages: 78-81.

Aydın GÜNEŞ, Murat AYDIN, Abdullah ASLAN, Emin SALUR, Ömer Sinan ŞAHİN, *The Effect of Composition upon Dynamic Behavior of Recycled Metal Matrix Composites Produced by Isostatic Hot Pressing*, International Defence Industry Symposium.

Aydın GÜNEŞ, Murat AYDIN, Abdullah ASLAN ,Emin SALUR, Ömer Sinan ŞAHİN, *Effect of the Process Parameters upon Dynamic Behavior of Metal Matrix Composites Produced by Metal Chips Recycling*, International Defence Industry Symposium.