

**MAGNEZYUM ALAŞIMININ KRİYOJENİK VE KURU
ŞARTLAR ALTINDA FREZELENEBİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Hüsnü KAYHANLAR

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. UĞur KÖKLÜ

TEMMUZ-2019

T.C.
KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAGNEZYUM ALAŞIMININ KRİYOJENİK VE KURU ŞARTLAR ALTINDA
FREZELENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hüsnü KAYHANLAR

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. UĞur KÖKLÜ

KARAMAN-2019

TEZ ONAYI

Hüsnü KAYHANLAR tarafından hazırlanan "Magnezyum Alaşımının Kriyojenik ve Kuru Şartlar Altında Frezelenabilirliğinin Deneysel Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda **yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman:

İmza

Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ

Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Murat MAYDA

Dr. Öğr. Üyesi Gültekin BASMACI

Tez Savunma Tarihi: 18.07.2019

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. Kamil ARI

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmında bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Hüsnü KAYHANLAR



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MAGNEZYUM ALAŞIMININ KRİYOJENİK VE KURU ŞARTLAR ALTINDA FREZELENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSSEL ARAŞTIRILMASI

Hüsnü KAYHANLAR

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ

TEMMUZ, 2019, 62 sayfa

Magnezyum alaşımları düşük yoğunluk ve mükemmel işlenebilirlik özelliklerine sahip olmasına rağmen alüminyum alaşımları gibi yaygın olarak kullanılmamaktadır. Akademik literatürde magnezyum alaşımlarının tornalanması ilgili pek çok çalışma varken bu alaşımların frezeleme prosesi ile ilgili sınırlı çalışma mevcuttur. Ayrıca bu alaşımların kriyojenliğe daldırılmış vaziyette işleme ile ilgili hiçbir çalışma yoktur. Bu yüksek lisans tez çalışmasında AZ31B magnezyum alaşımına farklı fener mili hızlarında, farklı ilerleme hızlarında ve farklı kesme derinliklerinde kuru ve kriyojenik koşullarda kanal açma operasyonu yapılmıştır. Kesme testleri, içi sıvı nitrojen ile dolu olan termal yalıtkan bağlama kalıbı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada frezeleme kuvvetleri, sıcaklık, talaş, takım aşınması, yüzey topografyası, kanal içi sertlikler ve taramalı elektron mikroskopu ile yüzey görüntüleri incelenmiştir. Deneylerin kriyojenik ortamda yapılması kesme kuvvetlerini artırmıştır. Kuru kesme şartları altında yapılan frezeleme testlerinde oluşan talaşlar kriyojenik kesmeye nazaran hayli büyük formda oluşmuştur. Ayrıca kriyojenik kesme şartlarında yapılan deneylerde kesici kenara malzeme yapışmaları kuru kesme şartlarında yapılan testlere nazaran daha az oluşmuştur. Kriyojenik kesme şartları altında yapılan frezeleme testlerinde daha düzgün yüzeyler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AZ31B, frezeleme, kriyojenik işleme, magnezyum

ABSTRACT

Master Thesis

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON MACHINABILITY OF MAGNESIUM ALLOY UNDER CRYOGENIC AND DRY CONDITIONS

Hüsnü KAYHANLAR

Karamanoğlu Mehmetbey University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Uğur KÖKLÜ

JULY, 2019, 62 pages

Although magnesium alloys have low density and excellent machinability characteristic, they are not widely used compared with aluminum alloys. There are many studies about turning of magnesium alloys in academic literature but there are limited studies about milling process of these alloys. Furthermore, there is no study regarding machinability of these alloy immersed in a cryogenic media. In this master thesis, milling of AZ31B magnesium alloy at different spindle speeds, feed rates and different cutting depths was performed in dry and cryogenic conditions. Cutting tests were performed using a thermally insulated fixture which is filled with liquid nitrogen. In the experimental study, milling forces, temperature, chip, tool wear, surface topography, borehole hardness and surface electron microscopy images were examined. Experiments performed in the cryogenic environment increased cutting forces. Chips formed in dry cutting conditions were formed in a rather large form compared to cryogenic cutting condition. Besides, in cryogenic condition, material adhesion to the cutting edges was less than that in the dry cutting conditions. Smoother surfaces were obtained in milling tests performed under cryogenic cutting conditions.

Keywords: AZ31B, milling, cryogenic processing, magnesium

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi ve tez yazımı aşamasında bilgilerini, tecrübelerini ve değerli zamanlarını esirgemeyerek beni yönlendiren danışman hocam sayın Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ'ye, deney ölçümlerinde yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Sezer MORKAVUK'a, hayatım boyunca bana destek olan aileme ve tezi yazmam için cesaretlendirip destek olan eşim İmran Yazgı YAZAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğünün 08-YL-17 No'lu Projesi ile desteklenmiştir.

Hüsnü KAYHANLAR
Karaman-2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Magnezyum Alaşımları ve Sınıflandırılması	12
2.1.1. Magnezyum döküm alaşımları.....	14
2.1.2. Magnezyum yoğurma alaşımları	14
2.2. Magnezyum Alaşımlarının İşlenebilirliği	15
2.3. Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Alanları	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme	18
3.2. Frezeleme Testlerinde Kullanılan Kesici Takım (Parmak Freze).....	19
3.3. Deney Düzeneği ve Kesme Parametreleri	20
4. BULGULAR.....	25
4.1 Kesme Kuvvetleri Sonuçları	25
4.2 Sıcaklık Ölçüm Sonuçları	31
4.3 Talaş Morfolojisi.....	34
4.4. Kesici Takım Aşınmasının İncelenmesi	38
4.5. İşlenen Kanalların Yüzey Kalitesi	42
4.6. İşlenen Kanalların Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile İncelenmesi	47
4.7. Sertlik Testi.....	57
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	58
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1	13
Çizelge 3.1	18
Çizelge 3.2	18
Çizelge 3.3	19
Çizelge 3.4	22
Çizelge 4.1	25
Çizelge 4.2	26
Çizelge 4.3	28
Çizelge 4.4	30
Çizelge 4.5	32
Çizelge 4.6	33
Çizelge 4.7	35
Çizelge 4.8	36
Çizelge 4.9	37
Çizelge 4.10	38
Çizelge 4.11	39
Çizelge 4.12	40
Çizelge 4.13	42
Çizelge 4.14	44
Çizelge 4.15	45
Çizelge 4.16	47
Çizelge 4.17	49
Çizelge 4.18	51
Çizelge 4.19	54
Çizelge 4.20	56
Çizelge 4.21	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1	19
Şekil 3.2	20
Şekil 3.3	21
Şekil 3.4	21
Şekil 3.5	23
Şekil 3.6	23
Şekil 3.7	24
Şekil 3.8	24
Şekil 4.1	27
Şekil 4.2	27
Şekil 4.3	29
Şekil 4.4	31

1. GİRİŞ

İleri teknoloji ile çalışan şirketler, küresel pazarda başarılı bir şekilde yarışabilmek için yenilikçi malzemelerin kullanılması ve işlenmesine büyük önem vermektedirler. Gelecek yıllarda en büyük yarışın, artan çevre kirliliği nedeniyle zararlı emisyonların düşürülmesi üzerine olacağı düşünülmektedir. Bu durum dikkate alındığında, hafif metal ve alaşımlarının yapı malzemesi olarak kullanılması çevre kirliliği ve enerji sorunlarının çözülmesinde anahtar faktör olmaktadır. Magnezyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek özgül direnç ve mükemmel işlenebilirlik özelliklerine sahip olmasına rağmen, halen rakibi alüminyum ve plastiğe göre aynı yaygın kullanıma sahip değildir. Yüksek maliyet ile şekillendirme ve işlenebilirlik konusunda teknik bilgilerin yetersiz olması bu alaşımlarının yaygın olarak kullanılamamasının nedenleri arasındadır. Ancak, magnezyumun deniz suyunda dördüncü, toprakta ise en yaygın bulunan sekizinci element olması magnezyum ve alaşımlarının gelecek yıllarda daha yaygın kullanılacağına işaret etmektedir. Deniz suyunun yaklaşık %0.013'ü magnezyum elementini içermektedir. Magnezyumun doğadan elde edilme yöntemleri termal ve elektro kimyasal yöntemlerdir. (Mert, 2012).

İmalat sektörü çok büyük çeşitliliğe sahip olup geçmişte yapıldığı gibi şu anda da araştırılması ve geliştirilmesi endüstriyel alanlar için kaçınılmaz bir unsur olmuştur. İmalat uygulamaları zaman geçtikçe daha hızlı bir şekilde pozitif ilerleme kaydetmektedir. Endüstri uygulamalarındaki gelişmeler nedeniyle imalat sektöründe yapılan çalışmalar kendisini yenileyerek sürekli devam etmektedir. Ürünlerin imalatı, ihtiyaçları karşılayacak tasarımla başlayıp, işlem planlaması tamamlanarak, işleme yöntemlerinden hangisinin yapılmasına karar verilip üretilerek, ürünün kalite kontrol aşamalarıyla sonlanır. Üretim süreci içerisinde talaş kaldırma işlemleri, imalat sektörünün merkezini oluşturmaktadır. Talaş kaldırma işlemi artık endüstriyel uygulamanın ilerisinde bilim dalı olmuş ve üzerinde araştırmalar yapılarak, geliştirilmektedir. Malzemelerin üzerinde yapılan her talaşlı imalat, bir araştırma konusu olup bu araştırmalar sonucunda elde edilen veriler endüstriyel işlerin yönünü belirlemektedir. Bu vesileyle teknolojinin ilerlemesi ve gelişmesinde büyük rol alır. Endüstri alanındaki rekabet, beklentilerin sürekli yüksek olması imalat sektöründeki gelişmeleri hızlandırmıştır. Oluşan gelişmeler imalat yöntemleri doğurmuş,

teknolojideki klasik imalat yöntemlerini modernleşmeye geçirmiştir. Modern imalat yöntemlerinin günümüzde önemi artsa da bir takım klasik yöntemler hala değerini korumaktadır (Buldum, 2013).

Magnezyum alaşımları ile bilinen birçok üretim yöntemi ve yeni teknikler ile parça üretmek mümkündür. Başta döküm yöntemi olmak üzere dövme, ekstrüzyon, haddeleme ve yarı-katı metal şekillendirme yöntemleri ile magnezyum alaşımlı parçalar üretilebilmektedir. Bu üretim teknolojileriyle hemen hemen nihai şekle yakın parçalar üretilebilmektedir. Ancak, bazı durumlarda talaş kaldırma işlemlerine muhakkak ihtiyaç duyulmaktadır. Magnezyum alaşımlarının talaşsız şekillendirme işlemlerinde dahi henüz kesin bir bilgi veri tabanı yok iken, talaşlı imalatında da bu açıklık hemen göze çarpmaktadır. Bunun temel nedeni magnezyumun malzeme olarak endüstriyel tasarımcılar tarafından iyi tanınmaması ve şekil verme prosesleri hakkında gerekli bilginin var olmamasıdır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda magnezyumun tutuşarak yanması birçok alanda uygulanmasını kısıtlamaktadır. Ancak, bilinenin aksine magnezyum ergime sıcaklığına ulaşmadan tutuşmaz. Talaşlı imalat işlemlerinde, işlenen malzemeler ergime sıcaklığına ulaşmadan biçimlendirilir. Bu çalışmada, magnezyum ve magnezyumun işlenmesi hakkında genel bilgi verilmiş ve bir değerlendirme yapılmıştır (Mert, 2012).

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Uddin ve arkadaşları (Uddin, 2016) biyobozunur Mg/Mg- bazlı alaşımların korozyon direncini artırabilmek için yüzey pürüzlülüğü ve sertliğe odaklanmışlardır. Deneysel çalışmada fener mili hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği değişken olarak seçilmiştir. Yapılan istatistik analizler sonucunda hem yüzey pürüzlülüğü hem de sertlik te fener mili hızı en etkili parametre olmuştur. Ayrıca talaş kaldırma yolu ile oluşturulan yüzeylerin korozyon direnci artırılmıştır.

Danis ve arkadaşları (Danis, 2016) dövme magnezyum alaşımının frezeleme prosesinde kesme şartları ve yüzey bütünlüğünü deneysel olarak araştırmışlardır. Yüzey bütünlüğünde yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı ve mikro sertlik ölçülmüştür. Kesme koşulları mikro yapı üzerinde bir etki göstermediğinden maksimum kesme koşullarının kullanılmasının mümkün olacağı belirtilmiştir.

Guo ve M. Salahshoor (Guo ve Salahshoor, 2017) biyobozunur magnezyum-kalsiyum implant alaşımlarının yüksek hızlı kuru frezeleme ile proses mekaniği ve yüzey bütünlüğünü deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışma sonucunda PCD takımları kullanılarak yüksek hızlı kuru frezeleme operasyonunun güvenle gerçekleştirilebildiği ve işlenmiş yüzey bütünlüğü düşük yüzey pürüzlülüğü, yüksek basınçta kalan artık gerilme, artan mikro sertlik ve faz değişmeden yapılan mikro yapı şeklinde karakterize edilmiştir.

Zhang ve arkadaşları (Zhang, 2018) magnezyum alaşımlarının (AM50A ve AZ91D) talaş morfolojisi ve tutuşma durumu değişimleri yüksek hızlı frezeleme operasyonunda araştırılmıştır. Çalışma neticesinde talaş yanmasının sebebinin magnezyum alaşımı içerisindeki bileşimden kaynaklandığı vurgulanmıştır. AZ91D alaşımının aynı şartlar altında AM50A alaşımına göre ateş ve daha kolay yanma eğiliminde olduğu belirtilmiştir.

Ruslan ve arkadaşları (Ruslan, 2016) AZ91D magnezyum alaşımının yüksek hızlarda (900-1400 m/dak ve 0.03-0.09 mm/diş) yüzey frezeleme prosesinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda deneysel çalışmada kullanılan kesme parametreleri aralıklarında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri

0.061-0.133 μm arasında olup; bu değerler ise parlatma işlemiyle ulaşılabilecek 0.5 μm 'den küçük olduğu vurgulanmıştır.

Shi ve arkadaşları (Shi, 2017) AZ91D magnezyum alaşımının kuru kesme koşullarında yüksek hızlarda frezelemesinin takım aşınma davranışına etkisini araştırmışlardır. Deneysel alışma neticesinde karbür takımda baskın olarak yapışma, aşınma ve difüzyon aşınma mekanizmaları belirlenmiştir.

Desai ve arkadaşları (Desai, 2017) Mg-Ca1.0 Biyobozunur alaşımın yüksek hızlı kuru işlemenin yüzey bütünlüğü üzerine ve biyobozunurluka etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı, mikro sertlik, talaş morfolojisi ne odaklanılmıştır. Deneysel sonuçlar ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini etkileyen en önemli faktörün ilerleme hızı olduğu belirtilmiştir. İşleme parametrelerinin etkisiyle mikro sertlik, 66HV'den 84HV'ye yükselmiştir.

Kheireddine ve arkadaşları (Kheireddine, 2013) AZ31B alaşımının kriyojenik ortamda işlenmesi sırasında delinmiş deliklerin yüzey bütünlüğüne etkisini incelemek için deneyler ve analizler üzerine çalışmışlardır. İtme kuvveti ve tork ölçümü kriyojenik ortamda soğutma yapılarak yürütülen deneylerde ölçülmüştür. Delinmiş yüzeylerdeki tane yapıları ve yüzey mikro sertliği değerleri ölçülüp, kriyojenik ortamda soğutulan alaşımın delme işleminin simülasyonu için sonlu elemanlar analizi (FEM) ile beraber modeli geliştirilmiştir. Sıcaklık durum değişkenlerinin sayısal verisi, gerilim, yüzey sertliği değerleri ve gerilme hızı Hall-Petch gibi bir ilişkiyle hesaplanarak, yüzey sertliğini arttırmada, kriyojenik soğutmanın büyük oranda etkili olduğu bulunmuştur. Delme işlemi sırasında kriyojenik soğutmanın uygulanması kuru ortamda yapılan delme işlemlerinde oluşan deliklere göre yüzey sertliğinin arttığı görülmüştür.

Pu ve arkadaşları (Pu, 2014) kriyojenik ortamda AZ31B alaşımının işlenmesinin kalıcı gerilmelerin sonlu elemanlar simülasyonunu incelemişlerdir. Kalıntı gerilmeler magnezyum alaşımlarının korozyon direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir. Yapılan alışmada, AZ31B magnezyum alaşımının kriyojenik ortamda işlenmesinde sonlu elemanlar modeli geliştirilerek kalıntı gerilmeleri simüle edilmiştir. Kalibrasyondan sonra deneysel veriler kullanarak, kesme kenarı yarıçapı ve ortam soğutma yönteminin (kuru ve kriyojenik) sayısal simülasyonları yapılarak kalıntı gerilmelerdeki oluşan etkisi incelenmiştir. Magnezyum alaşımlarının korozyon direncini

arttırmak için kompresif artık gerilmelere neden olan uygun kesme koşullarını sağlamak için bu model kullanılabilir.

Outeiro ve arkadaşları (Outeiro, 2013) AZ31B-O magnezyum alaşımının kuru ve kriyojenik ortamda işlemeyle kullanılan takım özellikleriyle oluşan malzeme yüzey bütünlüğünü incelemiştir. Korozyon direnci magnezyum alaşımlarında büyük oranda yüzey bütünlüğüne bağlıdır. Önceki çalışmalarda, magnezyum alaşımının korozyon direncini büyük ölçüde artıran işlemenin nano ölçekli tane büyüklüğü, kompresif artık gerilmeler ve bazal düzlem kristalografik yapıya neden olabileceğini göstermiştir. Yapılan çalışmalarda takım kenar yarıçapı hazırlığının ve kriyojenik soğutmanın olumlu etkilerine odaklanmıştır. Bu çalışmada, AZ31B-O magnezyumun işlenmesi sırasında üretilen kesme mekaniği ve yüzey bütünlüğüne etki eden çok çeşitli kesme işlemi parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı, takım kesme açısı, takım kenarı yarıçapı ve soğutma koşulları dâhil) etkisi üzerine deneysel ve sayısal olarak çalışılmıştır.

Dinesh ve arkadaşları (Dinesh, 2016) mikro gözenekli aletler kullanarak ZK60 biyobozunur magnezyum alaşımının kriyojenik ortamda işlenmesi üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Talaş ile kesici takım parçası arasındaki temas alanını azaltmak malzemenin işleme performansı artırır ve takım ömrünü uzatır. İşleme sırasında magnezyum alaşımları sürekli talaş çıkaran sünek hafif malzemelerdir. Bu çalışmalarda ZK60 magnezyum alaşımının hem kuru ortamda hem de sıvı azotlu (LN_2) soğutma koşulları altındaki kesici uçlarla olan çalışmalar analiz edilmiştir. Tungsten karbür kesici uçlarla Nd-YAG lazer kullanılarak talaş akış yönüne paralel ve dik olan doğrusal oluklar oluşturulmuştur. LN_2 azotlu soğutma uygulaması ile birlikte tekstüre işleminin etkisi işleme sıcaklığı ve kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, mikro sertlik ve takım aşınması değerlendirilerek incelenmiştir. Pütürlü araçlar, talaşsız takımlarla karşılaştırıldığında talaşın bağlantı alanı ile talaş düzlemini önemli ölçüde asgariye indirir ve bu durumda makinede işlenebilirlikte olumlu etkiler neden olur. Kriyojenik işleme durumunda, dokulu kesici takımlar, mikro havuz yağlamanın birleşik etkisi ve takım-talaş/takım-iş parçası ara yüzleri arasında ince film yağlama oluşumu ile sürtünmeyi asgariye indirmiştir. Kriyojenik soğutmaya yardımcı olan paralel dokulu kesici takımlar, mevcut araştırmalarda kullanılan farklı tipte takımlar arasında işleme sırasında daha iyi performans göstermiştir.

Buldu ve arkadaşları (Buldu, 2013) yaptıkları çalışmada AZ91D Magnezyum alaşımının tornalamada işlenebilirliğini, Taguchi metodu kullanarak araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, elde ettikleri yüzey pürüzlülük sonuçlarını Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modelleyerek karşılaştırmasını yapmışlardır. Malzeme işleme parametreleri olarak magnezyum alaşımlarının özelliklerine benzer özellikler gösteren malzemelerin yer aldığı çalışmalarda kullanılan değerler ve literatürleri göz önüne almışlardır. Yapılan çalışmalarda kaplamasız DCGT, VCGT ve CCGT karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Deneysel çalışmada magnezyum alaşımlarının kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı kuru işleme tercih edilmiş ve minimum yağ ile soğutma işlemi yapılmıştır. Deneylerdeki Kesme hızları 500, 750 ve 1000 m/dk, bu kesme hızlarındaki talaş derinlikleri 0,5, 1 ve 1,5 mm, ilerleme değerleri ise 0,05, 0,1 ve 0,2 mm/dev olarak tercih edilmiştir. Kesme değerlerine ve soğutma şekline göre yapılan deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, kesme kuvveti değerleri ve takımlar üzerinde oluşan aşınmalar/yığılmalar incelenmiştir. Magnezyum alaşımlarının kesmeye karşı vermiş oldukları dirençlerin yüksek olmadığı belirlenmiş olup, her kesme olayında ortaya çıkan kuvvetler analiz edilip değerlendirilmiştir. Kesme kuvvetlerinin arttığı deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Kesici takımların kesme ağızları üzerinde magnezyum alaşımlarının yapıştığı tespit edilmiştir. Verilerin YSA ile karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan sonuçlar yapılan çalışmalar ile tam uyumluluk göstermiştir. Ekonomik değeri yüksek olan magnezyum alaşımı için uyarlanan Taguchi metodu ile azalan maliyetler, modelleme yöntemi ile de işleme süresi ve daha az maliyetlerin ortaya çıkması sağlanmıştır.

Pu ve arkadaşları (Pu, 2014) AZ31B magnezyum alaşımının kuru ve kriyojenik şartlar altında işlemede mikro yapısal değişiminin sonlu elemanlar ile modellemesini incelemişlerdir. Magnezyum alaşımlarının yetersiz korozyon direncinin geniş uygulama alanlarını engellemesi en büyük dezavantajlarından biridir. Magnezyum alaşımlarının korozyon direncini mikro yapısal değişimleri ve tane büyüklükleri büyük ölçüde etkilemektedir. Kriyojenik ortamda işlemenin, magnezyum alaşımlarında tanecik bakımından incelmelerini sağladığı ve korozyon direncini yükseltme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Bu değişiklikler modellendiğinde magnezyum alaşımlarının korozyon direncini arttırmak için uygun işleme koşulları tespit edilebilir. Yapılan bu ön

çalışma AZ31B Mg alaşımının kuru ve kriyojenik ortamda işleme sırasında sonlu elemanlar (FE) yöntemi ve magnezyum alaşımlarının, dinamik yeniden kristalizasyon mekanizmasına dayanan bir kullanıcı alt programı kullanılarak yapısal değişikliklerinin modellenmesi için yapılmıştır. Yapılan testler ve öngörülen sonuçlar arasında etkilenen katman kalınlığı ve tane büyüklüğü açısından bir uyum olduğu belirlenmiştir. Kriyojenik ortama işleme sonrası talaşta oluşan açının mikro yapısal değişiklikler üzerindeki etkisini araştırmak için yapılan model kullanılmış ve sayısal bir çalışma yapılmıştır.

Pu ve arkadaşları (Pu, 2012) AZ31B magnezyum alaşımının kriyojenik şartlar altında işlenmesinde, yüzey bütünlüğü ve gelişmiş fonksiyonel performansına yönelik olarak yaptığı çalışmada etkilerinin neler olduğunu incelemişlerdir. Bu çalışmada, yüzey bütünlüğünde farklı kesici kenar yarıçapı kullanılarak kuru ve kriyojenik ortamda işleme (işleme sırasında işlenmiş yüzeye sıvı azot püskürtülmüştür) incelenmiştir. İşlem yapılmamış malzeme ile işlenmiş karşılaştırıldığında, kriyojenik işleme sonrasında işlenmiş yüzey üzerinde büyük bazal düzlem yoğunluğu, gelişmiş yüzey kalitesi, niteliksiz yüzey katmanında 12 µm'den 31 µm'ye kadar tane taneciklerinin oluşumu, kalıcı gerilme yöntemlerinde 10 kat daha fazla sıkıştırma alanları olduğu tespit edilmiştir. Bu oluşan değişiklikler, işlenmiş olan AZ31B magnezyum alaşımının performansını arttırmaktadır. Takım ömrüyle ilgili çoğunlukla belirtilen faydalara ek olarak, yapılan deneylerde kriyojenik ortamda işlemenin parçanın yüzey bütünlüğünü artırabileceğini ve işlenmiş parçaların performansını daha çok iyileştirilebileceği görülmüştür.

Nasr ve Outerio (Nasr, 2015) AZ31B-O magnezyum alaşımının işlenmesinde kriyojenik ortamda soğutmanın korozyon direncine etkisinin analizini yapmışlardır. Magnezyum alaşımlarının korozyon direncinin arttırmak için, son yıllarda özellikle odaklanılmış ve kriyojenik ortamda işleme başarıyla kullanılan işlem tekniklerden biri olmuştur. Yapılan deneylerde, AZ31B-O magnezyum alaşımı kesilirken proses mekaniği üzerindeki kriyojenik soğutma etkilerinin analizi bulunmaktadır. AZ31B-O'nun kuru ve kriyojenik ortam altında dik kesimini simüle etmek için sonlu elemanlar modellemesi kullanılmış olup farklı parametreler (kesme kuvvetleri, kesme açısı, sıcaklıklar, talaş sıkıştırma oranı ve plastik deformasyon) araştırılmıştır. Magnezyum alaşımı CNC torna tezgahında, kuru ve kriyojenik ortamlarda dik kesme testleri yapılmış olup boşluk tarafına kriyojenik soğutma LN₂ jeti kullanılmıştır.

Kheireddine ve arkadaşları (Kheireddine, 2015) AZ31B Magnezyum alaşımının kriyojenik ortam şartlarında delinmesinin yüzey sertliğine olan etkisini inceleyip deneysel doğrulama yapmışlardır. Bu çalışmada AZ31B magnezyum alaşımının delinirken kriyojenik olarak soğutulmasının delik yüzeyi kalitesini nasıl arttırabileceği araştırılmıştır. AZ31B magnezyum alaşımının deliklerin yüzey bütünlüğü üzerindeki sıvı azot kriyojenik soğutmanın etkisi incelenmiştir. Yeni işlenmiş delik yüzeylerinde mikro-sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, işlem FEM'de delme işlemine eklenmiş uygun bir konvektif soğutma yaklaşımı ile modellenmiştir. Sonuçlar, gerinme hızları ve sıcaklıklar gibi sayısal modelin çıktıları, deliklerin yüzeyindeki tane büyüklüğünü ve sonuç olarak sertliği tahmin etmek için kullanılmıştır. Kuru delinmiş delikler için farklı ilerleme hızlarına sahip sertlik değerleri (hem deneylerden hem de FEM analizlerinden tespit edilmiştir), kriyojenik olarak soğutulmuş deliklerin soğutulmamış olanlara kıyasla daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Pu (Pu, 2012) kuru ve kriyojenik soğutma (işleme sırasında yüzeye sıvı azot püskürtülmüş), kesme kenarı yarıçapı, kesme hızı ve ilerleme hızı dahil olmak üzere işleme koşullarının, AZ31B Mg alaşımının yüzey bütünlüğü üzerindeki etkisi araştırmıştır. Kriyojenik işleme, dinamik yeniden kristalleşme ve yüzeydeki bazal düzlemin yoğunluğunun artmasının yanı sıra, 12 µm'den 31 nm' ye kayda değer miktarda tane küçültmesinin işlenmiş yüzeyde “bazal bir tabaka” oluşmasına yol açmıştır. Aynı malzemenin kuru ve kriyojenik parlatma deneyleri, sabit bir silindir düzeneği kullanılarak gerçekleştirildi. Dikkate değer mikro yapısal değişikliklerin meydana geldiği işlenmiş etkilenmiş tabakanın kalınlığı, işleme sırasında maksimum 20 µm değerinden, parlatma sırasında 3.4 mm'ye yükselmiştir. Parlatma işlemi ayrıca yüzeyde işleme işleminden daha güçlü bir bazal doku üretti. Seçilen işlenmiş ve parlatılmış AZ31B Mg örneklerinin% 5 NaCl çözeltisi ve simüle edilmiş vücut sıvısında (SBF) korozyon performansını değerlendirmek için ön korozyon testleri yapılmıştır. Kriyojenik soğutma ve büyük kenar yarıçaplı takımların her iki çözeltide de işlenmiş numunelerin korozyon performansını önemli ölçüde artırdığı bulundu. Malzemenin korozyon performansındaki en büyük gelişme parlatma ile sağlandığı görülmüştür.

Sunil ve arkadaşları (Sunil, 2016) AZ31 ve AZ91 magnezyum alaşımının içeriğindeki alüminyumun delme sonuçlarına etkisini incelemişlerdir. Magnezyum alaşımları,

alüminyum alaşımları gibi diğer hafif metallerle karşılaştırıldığında düşük yoğunluklu ve yüksek mukavemetinden dolayı çeşitli yapısal uygulamalarda yoğun olarak tercih edilmektedir. Tüm magnezyum alaşımları arasında, alüminyum ve çinko serisi magnezyum alaşımları çeşitli yapısal uygulamalar için en yaygın kullanılan alaşımlardır. Ancak, magnezyum ve alaşımlarının işlenmesi, kırılma olmaları ve diğer demir dışı metallerin aksine uyumsuzluk riski nedeniyle bazı sorunları içerir. Özellikle, önemli miktarda ikincil faza sahip alaşımlar metal kesme işlemlerinde farklı işleme özellikleri gösterebilir. Farklı işlem parametrelerinde delme işlemi gerçekleştirilmiş ve kesme kuvvetleri de elde edilmiştir. Delme sırasında üretilen talaşlar analiz edilmiştir. Sonuçlardan, ikincil fazın (Mg₁₇Al₁₂) varlığının kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Kesme hızındaki artış, tüm durumlarda gerekli kesme kuvvetini ve yük dalgalanmalarını azaltmıştır.

Biermann ve Liu (Biermann, 2014) AZ31 dövme alaşımlı magnezyumun hafiflik potansiyelini artırmak için AZ31 üzerinde talaşsız delik açma işleminin araştırılmıştır. İncelenen ince magnezyum profillerinde yenilikçi delme işleminin uygulanabilirliği ve delme sırasında itme kuvvetleri ile tork analiz edilmiştir. Delme işlemi için iki farklı kalınlıktaki alaşım ile çalışılmıştır. İşlem sırasındaki sıcaklıklar, termal görüntüleme kamerası kullanılarak belirlenmiş diş açma şekilleri incelenmiştir.

Liu ve arkadaşları (Liu, 2012) kriyojenik işleme MG-Zn-Gd alaşımının aşınma direncinin artırılması üzerine çalışma yapmışlardır. Mg-1.5Zn-0.15Gd alaşımının kriyojenik işlem öncesi ve sonrasında aşınma davranışı, kuru kayma aşınma testi ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Deneysel sonuç, alaşımların aşınma direncinin kriyojenik işlem sonrası önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Sürtünme katsayısı ve aşınma oranı, ikincil faz partiküllerinin hacim fraksiyonunun artmasına ve kriyojenik nedeniyle inceltmesine bağlı olan kriyojenik işlem süresinin artmasıyla azalır. Ayrıca, kriyojenik işlem sonrası alaşım çok daha pürüzsüz aşınmış bir yüzey sergiler. Kriyojenik işlem öncesi ve sonrası alaşımın aşınma mekanizması tartışılmıştır.

Pu ve arkadaşları (Pu, 2011) AZ31B magnezyum alaşımının kuru ve kriyojenik işlemede değişken kenarlı takımların yüzey bütünlüğüne etkisini incelemişlerdir. İşlenmiş malzemelerin yüzey bütünlüğü, fonksiyonel performansları üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Tane büyüklüğü, kristalografik uyum ve artık gerilmeler gibi yüzey

bütünlüğü faktörlerinin, AZ31 magnezyum alaşımlarının korozyon direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. Yapılan çalışmada, AZ31B Mg diskleri hem kuru hem de kriyojenik koşullar altında iki kenar yarıçaplı kesici aletler kullanılarak ortogonal olarak işlenmiştir. Kesme kenarı yarıçapı ve soğutma yönteminin, yüzey bütünlüğü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Büyük kenar yarıçapı takım kullanılarak yapılan kriyojenik işleme, daha kalın bir tane inceltme tabakasına, daha büyük sıkıştırıcı artık gerilmelere ve magnezyum alaşımlarının korozyon performansını önemli ölçüde artırabilen bazal doku yoğunluğuna yol açmıştır.

Akgün ve arkadaşları (Akgün, 2014) döküm ile üretilmiş AZ91 magnezyum alaşımının işlenebilirliğinin yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada geleneksel döküm tekniği ile üretilen AZ91 magnezyum alaşımının üretimi ve işlenebilirlik özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, AZ91 Mg (Al %9, Zn %1) olarak adlandırılan Mg esaslı alaşım, rezistanslı ergitme ocağında eritilmiş ve ardından metalik kalıplara dökülerek üretilmiştir. Üretilen malzemelerin işlenebilirlik deneyleri, tornalama metoduyla dört farklı kesme hızı (250, 350, 450 ve 550 m/dk), beş farklı ilerleme hızında (0,025 0,05 0,1 0,15 ve 0,2 mm/dev) ve dört farklı (0,5 1, 1,5 ve 2 mm) kesme derinliğinde kuru şartlarda yapılmıştır. İlerleme hızı azaldıkça işlenmiş yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma gözlenmiştir. Artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerleri belirli bir kesme hızı değerine kadar artmış ancak bu değerden sonra her iki ilerleme (0,1 ve 0,2 mm/dev) değerinde artan kesme hızı ile azalma eğilimi göstermiştir.

Amini ve arkadaşları (Amini, 2014) AZ91 magnezyum alaşımının kriyojenik ortamda ısıtma işlemi uygulanıp su vermenin aşınma üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada AZ91 magnezyum alaşımına derin kriyojenik işlem uygulanıp farklı soğutma işlemleri yapıp optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu kullanılarak sertlik ve aşınma testleri ile birlikte incelenmiştir. 24 saat boyunca numuneler üzerine 420 °C'de ısıtma işlemi uygulanıp farklı su, hava ve azot ortamlarında soğutma işlemi yapılmıştır. Bu işlemden sonra numuneler sıvı azot içerisine bekletilerek gözlenmiştir. Sonuç olarak malzemeye uygulanan kriyojenik ısıtma işleminin sertliği ve aşınma direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca soğutma ortamının ve soğutma hızı artırılmasının sertliği ve aşınma direncini arttırdığı belirtilmiştir.

Zhang ve arkadaşları (Zhang, 2018) magnezyum alaşımını yüksek hızda işlerken talaş yapısını ve yanma olaylarını incelemiştir. Magnezyum alaşımının düşük tutuşma noktası ve yüksek kimyasal aktivitesi nedeniyle talaşlar düşük sıcaklıkta yanar dolayısı ile bir güvenlik sorunu ortaya çıkar. Bu çalışmada magnezyum alaşımının yapısı ve yanma durumundaki değişimler yüksek hızdaki frezelemeyle analiz edilmiştir. AM50A ve AZ91D magnezyum alaşımlarının yüksek hızda frezelenmesi deneylerinde magnezyum alaşımlarındaki AL-MN ve β -Mg₁₇Al₁₂ fazlarındaki değişiklikler karşılaştırılıp analiz edilmiş, talaş yanmasına neden olan alaşım fazları tespit edilmiş ve talaş yanma nedeninin magnezyum alaşımlarının bileşimlerinden kaynaklandığı açıklanmıştır. AZ91D magnezyum alaşımının aynı koşullar altındaki AM50A magnezyum alaşımına göre daha kolay yanması ve tutuşması nedenleri açıklanmıştır.

Bruschi ve arkadaşları (Bruschi, 2018) AZ31 magnezyum alaşımlarının insan vücudundaki korozyon direncini artırmak için işleme sırasındaki yüzey değişikliklerini incelemiştir. Magnezyum alaşımlarının insan vücudunda, yapısından dolayı gün geçtikçe kullanımı artmaktadır. Bunun yanı sıra vücut sıvılarına karşı korozyon dirençleri uygulanabilirliklerini oldukça sınırlamaktadır. Bu çalışmada malzemeyi işlemeye bağlı yüzeyde meydana gelen değişimler incelenmiştir. İnsan vücudu üzerinde magnezyumun yüzey özellikleri (artık gerilmeler, mikro yapılar vs.) analiz edilip korozyon direnci ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak düşük hızdaki kriyojenik işlemin korozyonun en fazla azaltan durum olduğu tespiti yapılmıştır.

Bertolini ve arkadaşları (Bertolini, 2017) biyomedikal uygulamalarda AZ31 magnezyum alaşımının aşınma durumunu işleme hızları ve soğutma stratejilerine göre incelemiştir. Yapılan çalışmada fizyolojik ortamda korozyon oranı optimize edilip proses şartları ile oran iyileştirilmiştir. Sonuç olarak AZ31 magnezyum alaşımının zayıf korozyon yapısının güçlendirilmesi için proses şartlarının etkisinin büyük olduğu tespiti yapılmıştır.

Alharthi ve arkadaşları (Alharthi, 2018) AZ61 magnezyum alaşımının kesme koşullarında yüzey pürüzlülüğü değerini tahmin etmek ve optimize etmek için yapay sinir ağı modellenmesi kullanılmıştır. Tüm üretim mühendisleri, AZ61'in taşlama işlemleriyle ilgili olarak birçok zorluk ve yüksek masrafla karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle imalat mühendisleri, tornalama işlemi sırasında tasarıma göre istenen yüzey

pürüzlülüğü değerlerine ulaşmaya çalışmak için çok zaman ve çaba harcamaktadır. En başarılı olanı elde etmek için bir dizi YSA modeli geliştirildi ve değerlendirildi. Yapay sinir ağı modellerine ek olarak, yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için gereken denklemi temsil eden matematiksel bir model oluşturmak için geleneksel regresyon analizi de kullanılmıştır. Modelden yapılan tahminler deneysel verilere göre incelenmiş ve ortalama mutlak hata, ortalama kare hata ve tespit katsayısı gibi farklı performans kriterleri kullanılarak yapılan yapay sinir ağı model tahminleriyle karşılaştırılmıştır.

2.1. Magnezyum Alaşımları ve Sınıflandırılması

Magnezyum sıkı düzen hekzagonal kristal yapıya sahiptir ve bu nedenle soğuk şekillendirmeye çok elverişli değildir. 225 °C'nin altındaki şekillendirme işlemlerinde sadece tek kayma düzlemine sahip olması, malzemenin kırılma olmasına sebep olmaktadır. Birçok magnezyum alaşımı çok iyi işlenebilirlik ve dökülebilirlik özelliğine sahiptir. Döküm, dövme ve enjeksiyon gibi yöntemler ile üretilen malzemeler, asal gaz ortamlarında kolaylıkla işlenebilir ve kaynak edilebilirler. Magnezyum alaşımlarının diğer önemli özelliği ise, ses ve titreşimi absorbe etmesi nedeniyle, makine ve ekipmanların ömrünü artırmasıdır. Saf magnezyumun dökme demire göre çok daha yüksek titreşim sönümleyici özelliği vardır. Böyle mükemmel özelliklerinin yanında, magnezyum alaşımlarının uygulanmasında bazı sınırlılıklar da vardır. Magnezyumun yanmaya karşı yüksek reaktif özelliğinin yanında, düşük korozyon direnci bunlardan bazılarıdır. Ayrıca mekanik özelliklerinin göreceli olarak alüminyum alaşımlarına göre düşük kalması göz ardı edilemez (Mert, 2012).

Ağırlık olarak kıyas yapıldığında magnezyum, alüminyumun üçte ikisi, demirin dörtte biri, bakır ve nikelin ise beşte biri düzeyindedir daha hafiftir. Magnezyumun dayanım artırmak/geliştirebilmek için alaşım elementleri ilave edilerek döküm veya dövme ürünler elde edilmektedir. Magnezyum, hekzagonal sıkı paket bir kafes yapısına sahiptir ve sahip olduğu tane çapı da çok fazla sayıda elementle katı çözünebilirliğe izin verir. Magnezyum, yapısal bir malzeme olarak kullanılacağı zaman Al, Ca, Cu, Fe, Mn, Ni, Si, Sn, Zr ve Zn gibi ana elementlerin biri veya birkaçı ile alaşımlandırıldığında genellikle yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip olur. Yüksek dayanım/ağırlık oranı gibi iyi mekanik özellikleri olmasına rağmen, elektrokimyasal olarak çok aktif bir metal

olmasından kaynaklanan kötü korozyon özellikleri, magnezyum ve alaşımlarının herhangi bir koruma uygulanmadan kullanılmasını sınırlandırmaktadır (Öztürk, 2012).

Saf magnezyumun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Saf Magnezyumun fiziksel mekaniksel özellikleri

Atom Numarası	12
Atom Ağırlığı	24.3 g/mol
Özgül Ağırlık (20°C’de)	1.74 g/cm ³
Ergime Noktası	651°C
Kaynama Noktası	1110 °C
Kaynama Gizli Isısı	46.5 cal/°C
Isıl İletkenlik (20°C’de)	0.038 cal/cm.s.°C
Lineer Genleşme Katsayısı (25°C’de)	26x10 ⁻⁶
Elektrik İletkenliği (Cu=100)	36,5 ohm.cm
Elastisite Modülü	4570 kgf/mm ²
Kristal Yapısı	Hekzagonal Sıkı Paket (hsp)

Magnezyum alaşımları, 160-300 N/mm² çekme dayanımı, 80-190 N/mm² akma dayanımı ve %2-15 kopma uzaması gibi mekanik özelliklere sahiptir. Magnezyumun en önemli alaşım grupları, magnezyum-alüminyum, magnezyum-çinko ve magnezyum-toprak alkali olarak gruplandırılabilir. En geniş içerik alüminyum ve çinko grubudur. Yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirilen magnezyum alaşımlarında nadir olarak toprak metalleri kullanılmaktadır (Zeytin, 1999).

Magnezyum alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştiren ana mekanizmalar çökeltme sertleşmesi ve/veya katı eriyik sertleşmesidir. Katı eriyik sertleşmesi alaşım elementlerin atom çapları arasındaki fark ile ilişkililikten, çökeltme sertleşmesi mekanizmasının verimliliği alaşım elementinin düşük sıcaklıklarda çözünürlüğü, intermetalik fazın magnezyum içeriği ve uygulama sıcaklığındaki kararlılığına bağlıdır. Magnezyum, alaşım elementleriyle oluşturduğu intermetalik fazların kararlılığı alaşım elementinin elektronegativitesi ile artar (Altay, 2012).

Magnezyum ile birleştirilen alaşım elementlerinden Al, mukavemeti; Zn, tokluğu; Mn, ise korozyona karşı olan dayanıklılığı arttırmaktadır. Fakat Zn miktarındaki artış sıcak

kırılganlığa neden olmaktadır. Alaşım elementleri olarak mikro gözeneği azaltmak için nadir olarak toprak metalleri, tane inceltme için Zr, yüksek sıcaklık özelliklerini geliştirmek için Ag veya Cu, sürünmek özelliklerini iyileştirmek için ise Th kullanılmaktadır (Öztürk, 2012).

2.1.1. Magnezyum döküm alaşımları

Magnezyum alaşımlarının dökümünde kullanılan yöntemler yüksek basınçlı döküm, yarı – katı döküm yöntemleri (thixocasting, thixomolding ve rheocasting), savurma döküm, sürekli döküm ve kum dökümdür. Çok iyi dökülebilirlik ve yüksek mukavemet gibi avantajlara sahip olan AZ91 (Mg-9Al-1Zn), en yaygın olarak kullanılan magnezyum döküm alaşımıdır. AM60 ve AM50 alaşımlarının ise iyi süneklik, yüksek mukavemet, iyi dökülebilirlik ve enerji soğurma özellikleri bulunmaktadır. AS41, AS21, AE42 magnezyum alaşımları, oda sıcaklığında iyi mekanik özelliklere sahiptir ve 150 – 200 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda iyi sürünme davranışı göstermektedir (Seçgin, 2012).

AZ31B, AZ61A, AZ80A, M1A ve ZK60 alaşımlarıdır. HM21A aynı zamanda iyi bir dövme alaşımıdır. AZ80A alaşımının mukavemeti AZ61A'den daha yüksek olup, magnezyum-alüminyum-çinko alaşımları içerisinde en düşük deformasyon hızına sahiptir. ZK60A, AZ80 alaşımıyla aynı mukavemette olup, ancak daha yüksek sünekliğe sahiptir. Özelliklerin geliştirilmesi açısından her iki alaşım da yaşlandırma ısı işleme tabi tutulabilir (Taşkın, 2012).

2.1.2. Magnezyum yoğurma alaşımları

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilen parçaların mekanik özelliklerinin önceden belirlenmesi, yoğurma alaşımlarından üretilen parçalar ile karşılaştırıldığında daha zordur. Bunun nedeni, basınçlı dökümdeki değişen katılaşma koşulları sebebiyle malzeme yapısının daha heterojen olmasıdır. Yoğurma alaşımlarının mukavemetlerinin ve sünekliklerinin döküm alaşımları ile kıyaslandığında daha iyi olduğu bilinmektedir (Seçgin, 2012).

Magnezyum yoğurma alaşımlarından elde edilen parçalar ekstrüzyon (çubuk, boru ve profil), hadde (plaka, levha ve folyo) ve dövme yöntemleri ile 300 – 500°C sıcaklık değerlerinde çalışılarak üretilmektedir (Seçgin, 2012).

Günümüzde magnezyum ve alaşımlarının döküm yöntemiyle şekillendirilmesinde basınçlı kalıp döküm tekniği hâkim olmakla birlikte, kum döküm, hassas döküm, sürekli ve yarı sürekli kalıp döküm gibi diğer basınçlı ve basınçsız döküm yöntemleriyle de şekillendirilebilirler. Son zamanlarda basınçlı kalıp döküm alaşımlarının kullanımı artmıştır. Özel bir parça için döküm yöntemi seçiminde tasarım şekli, arzu edilen mekanik ve yüzey bitirme özellikleri, şekillendirilecek toplam döküm parça adedi ve alaşımların döküle bilirliliği belirleyicidir. Dökümde kullanılacak çok fazla alaşım çeşidi mevcut olmasına rağmen, her alaşım her döküm yöntemi kullanıma uygun değildir. (Tanrıverdi, 2005).

AZ31, ZE10, ZM21, HM21, HK31 ve ZK31 en yaygın hadde alaşımlarıdır. Bunlar arasında bulunan AZ31 (Mg-3Al-1Zn-0,3Mn) ise iyi mukavemet, süneklik, korozyon ve kaynaklanabilirlik özellikleri sebebiyle en çok kullanılan magnezyum levha alaşımıdır. AZ31 magnezyum levha alaşımı ile, en yaygın alüminyum levha alaşımı olan 5xxx serisi karşılaştırıldığında AZ31 alaşımının mukavemetinin biraz düşük, sünekliğinin ise daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, AZ31 magnezyum alaşımının çelik ve alüminyum levha ile benzer sıcak derin çekilebilirlik özelliklerine sahip olduğu da bilinmektedir. AZ31 alaşımının 225°C sıcaklıktaki limit derin çekme oranının 2,6, alüminyumun limit derin çekme oranının 2,5, çeliğinkinin ise 2,2 olduğu yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir (Seçgin, 2012).

2.2. Magnezyum Alaşımlarının İşlenebilirliği

Magnezyum bilinen en hafif yapısal metaldir ve mükemmel işlenebilirlik özelliği gösterir. Bilinen en önemli işlenebilirlik karakteristikleri düşük kesme kuvvetleri, iyi yüzey kalitesi ve kolay talaş akışıdır. Düşük enerji tüketimi magnezyum alaşımlarının işlenmesinde, daha büyük talaş derinliği ve yüksek ilerleme miktarlarına imkân tanımaktadır. Böylelikle diğer metallere göre daha hızlı ve daha verimli işleme operasyonları gerçekleştirilmektedir (Mert, 2012).

Magnezyum alaşımları işlenmesinde genelde spiral talaş elde edilir. Bu talaşlar işleme b6lgesinden hızlı ve güvenli bir şekilde uzaklaştırıldığı s6rece tutuşma riski çok azdır. Malzeme yığılması (BUE), magnezyum alaşımlarının çok y6ksek kesme hızlarında karb6r ve HSS takımlar ile işlenmesinde meydana gelir. Magnezyum alaşımlarının işlenmesi esnasında meydana gelen BUE, ağırlıklı olarak yanak y6zeyeye yapışma şeklinde ortaya çıkar. BUE belirli bir miktara ulaştığında, işlenen y6zey ile temas eder. Sonuç olarak işlenen y6zeyin kalitesinin bozulmasına ve kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur(Mert, 2012).

Magnezyum alaşımlarının işlenmesinde HSS takımlar delme, kılavuz çekme, broşlama gibi operasyonlarda sıklıa kullanılmasına rağmen, karb6r takımlar t6m işleme operasyonları için en çok tercih edilen takımlardır. Karb6r takımlar işleme ekonomisi ve y6ksek işleme hacimlerinde oldukça başarılıdırlar. Ayrıca, karb6r takımlar ile iyi y6zey kalitesi elde edilir. Eğer çok y6ksek 6retim hacimlerinde, uzun s6reli aşınmadan ve m6kemmekel y6zey kalitesi isteniyorsa, PCD takımlar d6ř6n6lmelidir. PCD takımlar aşınmaya çok dirençlidir ve BUE oluşumunu d6ř6k yapışma eğiliminden dolayı bertaraf ederler (Machining of Magnesium,2009).

2.3. Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Alanları

Magnezyum alaşımları pek çok ilgi çekici 6zellikleri sayesinde yapısal uygulamalarda sıklıa kullanılan malzemelerdir. Sadece hafiflikleriyle, imalatında veya kullanımında hareket eden t6m parçalar için cazip hale gelmişlerdir. D6ř6k yoğunluklarından kaynaklanan d6ř6k eylemsizlikleri, hızlı hareket eden parçalarda 6nemli bir avantajdır. D6ř6k yoğunlukları sayesinde getirdikleri 6nemli ağırlık azaltıcı etkileriyle, parça ağırlıklarının oldukça 6nemli olduğu otomotiv ve havacılık gibi sekt6rlerinde magnezyum alaşımları sıklıa kullanılmaktadır. Yapısal uygulamalarda kullanılmalrının en 6nemli sebebi hafiflikleri olmakla beraber diğer 6zellikleriyle de farklı uygulama alanları bulmuşlardır. Magnezyum ve alaşımları otomotiv ve havacılık sekt6rlerinin dışında, elektronik/haberleşme, biyomalzemeler, spor ekipmanları gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Altay, 2012).

Geçmişte magnezyum alaşımlarının geliştirilmesindeki en 6nemli sebep askeri uygulamalarda kullanılma potansiyeli iken g6n6m6zde araştırılmalarının ve kullanılmalrının en 6nemli nedenlerinden biri otomotiv uygulamalarında ağırlığı

azaltarak yakıtın daha ekonomik kullanılması bu sayede zararlı gaz emisyonunun da azaltılarak çevreye olan etkinin en aza indirilmek istenilmesidir (Kainer, 2003).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında AZ31B magnezyum alaşımının kuru ve kriyojenik kesme koşullarında frezelemesi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmada da kesme kuvveti, sıcaklık, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü/topografya, kanalların sertlikleri ölçülmüş, talaşlar ve işlenen kanal ise görüntülenmiştir.

3.1. Deneyleerde Kullanılan Malzeme

Deneysel çalışmada kullanılan AZ31'in magnezyum alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 3.1'de, mekanik özellikleri ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. AZ31 Magnezyum Alaşımının Kimyasal Özellikleri

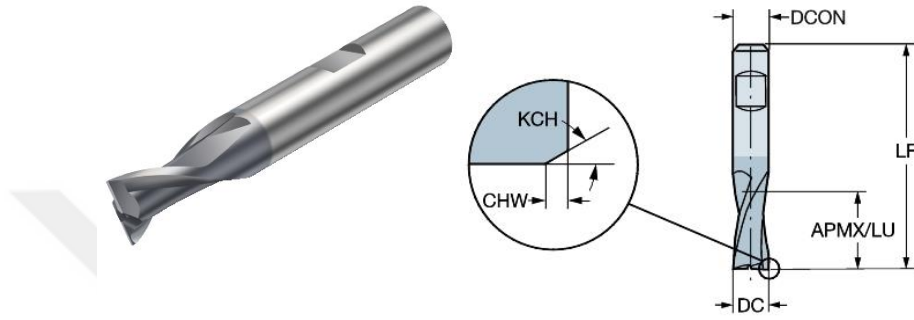
Element	Ağırlık %
Mg	96
Al	2.5-3.5
Zn	0.6-1.4
Mn	≥ 0.2
Si	≤ 0.1
Ca	≤ 0.04
Cu	≤ 0.05
Fe	≤ 0.005
Ni	≤ 0.005

Çizelge 3.2 AZ31 Magnezyum Alaşımının mekanik özellikleri (MatWeb, 2018)

Çekme dayanımı (MPa)	290
Akma dayanımı (MPa)	220
Uzama (%)	15
Brinell Sertliği (HB)	73
Yoğunluğu (g/cc)	1.77
Erime noktası (°C)	605-630
Isı İletkenliği (W/m-K)	96

3.2. Frezeleme Testlerinde Kullanılan Kesici Takım (Parmak Freze)

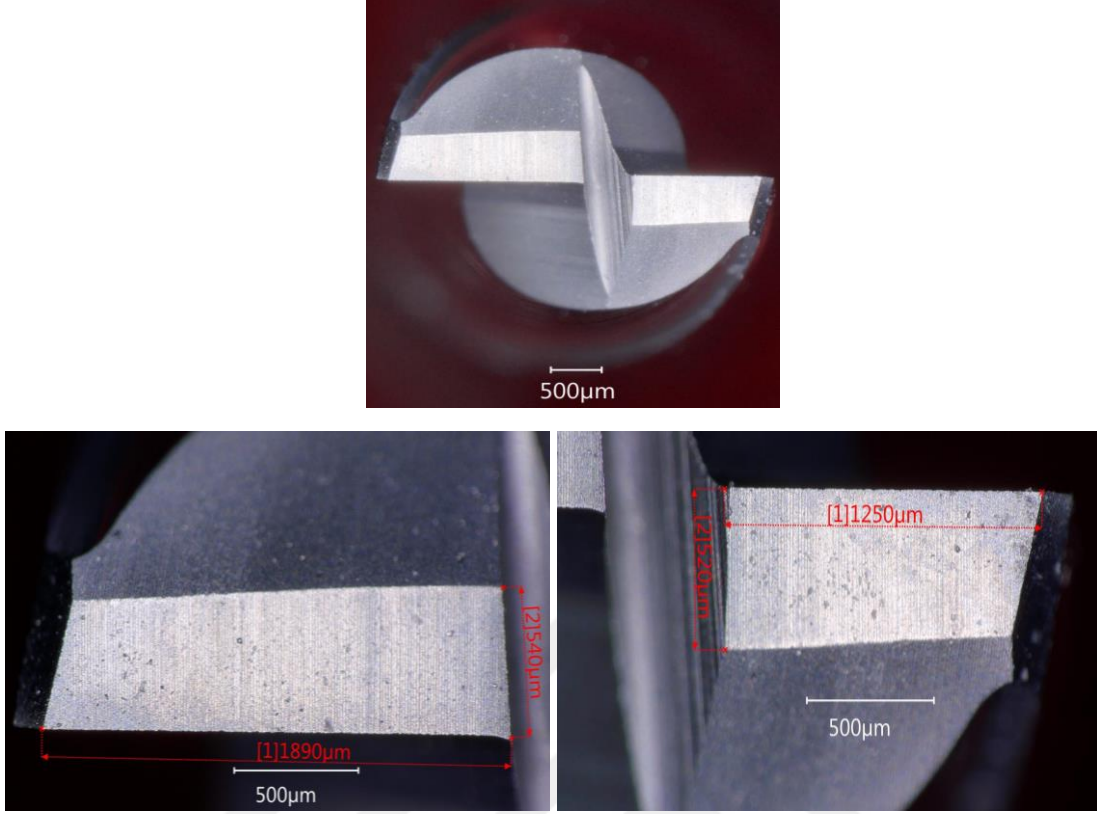
Deneylerde kesici takım olarak 4 mm çapında iki ağızlı PVD AlCrN kaplı karbür kesici takımlar (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2) kullanılmıştır. Parmak frezeyle ait geometrik bilgiler Çizelge 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deneylerde Kullanılan Karbür Kesici Takım

Çizelge 3.3. Kesici Takıma Ait Geometrik Bilgileri

Kesme Çapı	4 mm
Bağlantı Çapı	6 mm
Helis açısı	30°
Toplam uzunluk	54 mm
Köşe pahı genişliği	0.13 mm
Köşe pahı	45°
Kaplama	PVD AlCrN



Şekil 3.2. Parmak freze Kesici Kenar Ölçümleri

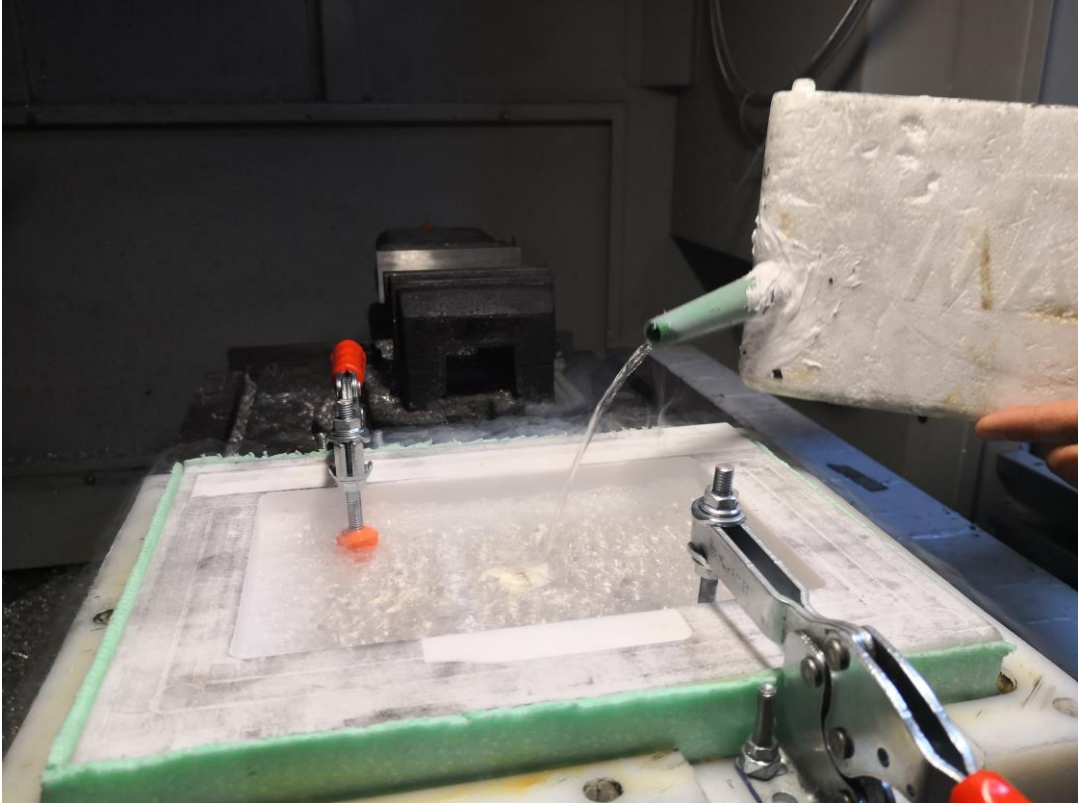
3.3. Deneş Düzeneği ve Kesme Parametreleri

Deneşlerde iş parçası olarak 10 mm kalınlıkta AZ31 magneşyum plaka kullanılmıştır. Her bir deneş serisi yeni parmak freze kullanılarak gerçekteşirilmıştır. Takım ömrü deneşlerinde de yeni parmak frezeler kullanılarak deneşler yapılmıştır. Deneşler anında kesme kuvvetleri, sıcaklık, deneşlerden sonra ise talaş, yüzey topografyası, mikro sertlikler ölçülmüş ve işlenen yüzey taramalı elektron mikroskopu ile görüntülenmiştır. Deneşler maksimum 17.5 kW güce ve 10 000 dev/dk fener mili hızına sahip Quaser MV154C dik işlem merkezinde gerçekteşirilmıştır. Frezeleme testlerinde oluşan kuvvetler Şekil 3.3'teki Kistler 9257B tipi dinamometre yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 3.3. Kistler 9257B tipi kuvvet dinamometresi

Deneyler kuru ve kriyojenik kesme şartlarında yapılmıştır. AZ31 magnezyum alaşımının hem kuru hem de kriyojenik şartlar altında deneyleri yalıtkan kalıp içerisinde yapılmıştır. Kriyojenik şartlar altında testler yalıtkan kalıp tamamen sıvı nitrojen (LN_2) dolu iken gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Sıvı nitrojen kullanımı

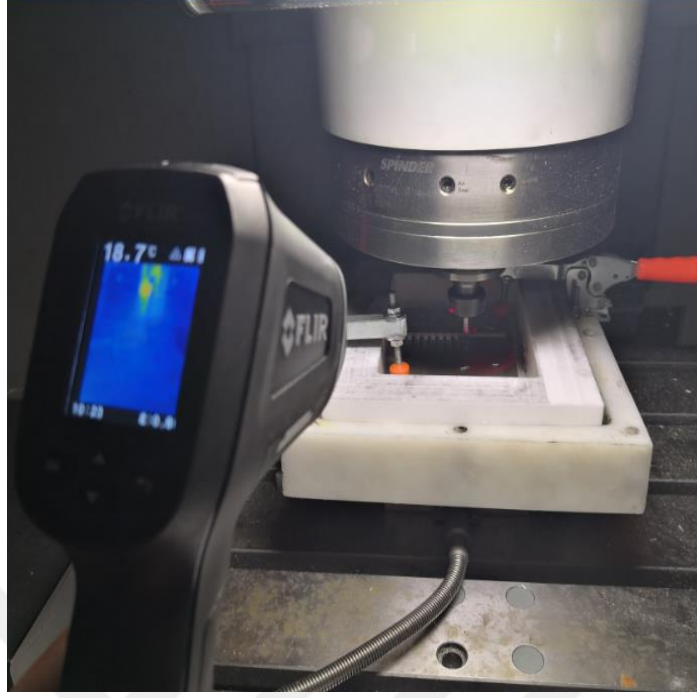
Çizelge 3.4'te deneylerde kullanılan kesme parametreleri verilmiştir. Deneysel tasarım parametreleri çerçevesinde yapılan testler neticesinde ölçülen kesme kuvvetleri

değerleri çizelge 4.1’de, bu datalardan elde edilen grafik ise Şekil 4.1’ de verilmiştir. Takım ömrü deneyleri kuru ve kriyojenik şartlar altında 5000 dev/dk fener mili hızında, 500 mm/dk ilerleme ve 3 mm talaş derinliğinde AZ31 magnezyum plaka 3000 mm işlenmiştir.

Çizelge 3.4. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Deney No	Kesme Hızı	Kesme Derinliği	İlerleme Hızı	
1			477 mm/dk	
2	40 m/dk	2.5 mm	636 mm/dk	
3			796 mm/dk	
4	Kuru		477 mm/dk	
5		120 m/dk	2.5 mm	636 mm/dk
6				796 mm/dk
7		2 mm		
8	80 m/dk	4 mm	636 mm/dk	
9		6 mm		
10			477 mm/dk	
11	40 m/dk	2.5 mm	636 mm/dk	
12			796 mm/dk	
13	Kriyojenik		477 mm/dk	
14		120 m/dk	2.5 mm	636 mm/dk
15				796 mm/dk
16		2 mm		
17	80 m/dk	4 mm	636 mm/dk	
18		6 mm		

Kuru kesme koşullarında yapılan testlerde oluşan sıcaklık termal kamera yapılmıştır (Şekil 3.5). Kriyojenik ortam da yapılan testlerde ise ortam -196 °C olduğu için sıcaklık ölçümleri yapılmamıştır.



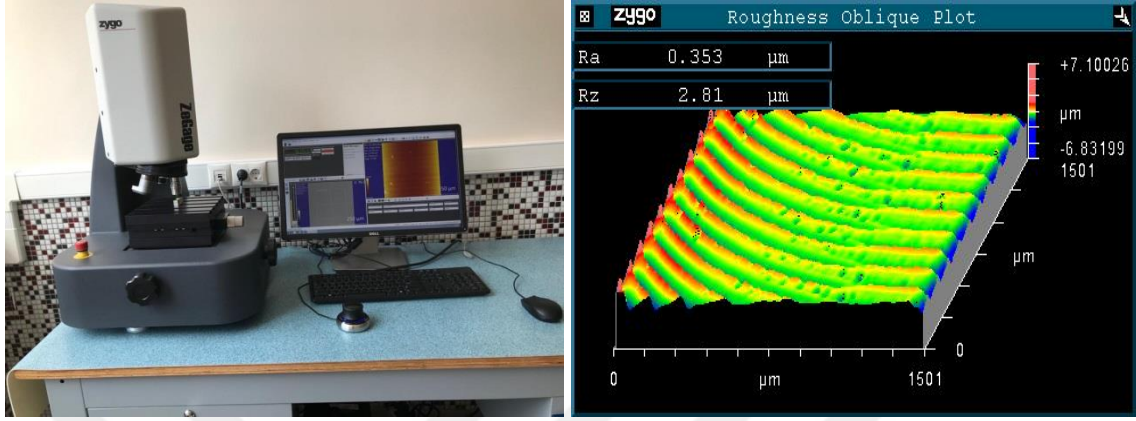
Şekil 3.5. Sıcaklık ölçümü

Deney sonucunda çıkan talaşların görüntüleri ve takım aşınmaları Şekil 3.6'deki dijital mikroskopta görüntülenmiştir.



Şekil 3.6. Aşınma ve talaş ölçümünde kullanılan dijital mikroskop

Frezelenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü ve topoğrafyası Zygo ZeGage optik profilometre yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3.7). İşlenen yüzeyin üç farklı yerinden ölçüm yapıp ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülüğü ve topoğrafyası ölçümünde kullanılan optik profilometre

Deneyler sonrası parçanın işlenmiş kısımlardan sertlik ölçümleri alınmıştır. Ölçümler Digirock sertlik ölçüm cihazı ile yumuşak metallerin ölçümünde kullanılan Rockwell F skalası (HRF) metodu ile belirlenmiştir (Şekil 4.8). Her işlenmiş yüzey için üç ölçüm yapıp ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.8. Sertlik ölçüm cihazı

4. BULGULAR

Deneyler anında kesme kuvvetleri, sıcaklık, deneylerden sonra ise talaş, yüzey topografyası, mikro sertlikler ölçülmüştür. Deney sonuçları başlıklar halinde aşağıda verilmiştir.

4.1 Kesme Kuvvetleri Sonuçları

Frezeleme testlerinde oluşan kuvvetleri Kistler 9257B tipi dinamometre yardımıyla ölçülmüş ve bilgisayar ortamında analizleri yapılmıştır. Çizelge 4.1’de farklı kesme parametreleri ile yapılan testlerde oluşan kuvvetler verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kesme parametrelerin kuvvetlere etkisi

Deney no	Fener mili hızı (dev/dk)	Kesme derinliği (mm)	İlerleme hızı (mm/dk)	F _x	F _y	F _z
1	3184	2.5	477	55.02	20.19	17.78
2			636	67.68	25.33	23.67
3			796	95.35	40.7	30.07
4	9500	2.5	477	22.08	11.41	9.04
5			636	27.27	13.43	9.87
6			796	33,46	14.48	11.83
7	6369	2		30.61	13.17	8.409
8		4	636	70.1	23.02	19.91
9		6		88.08	33.38	25.72

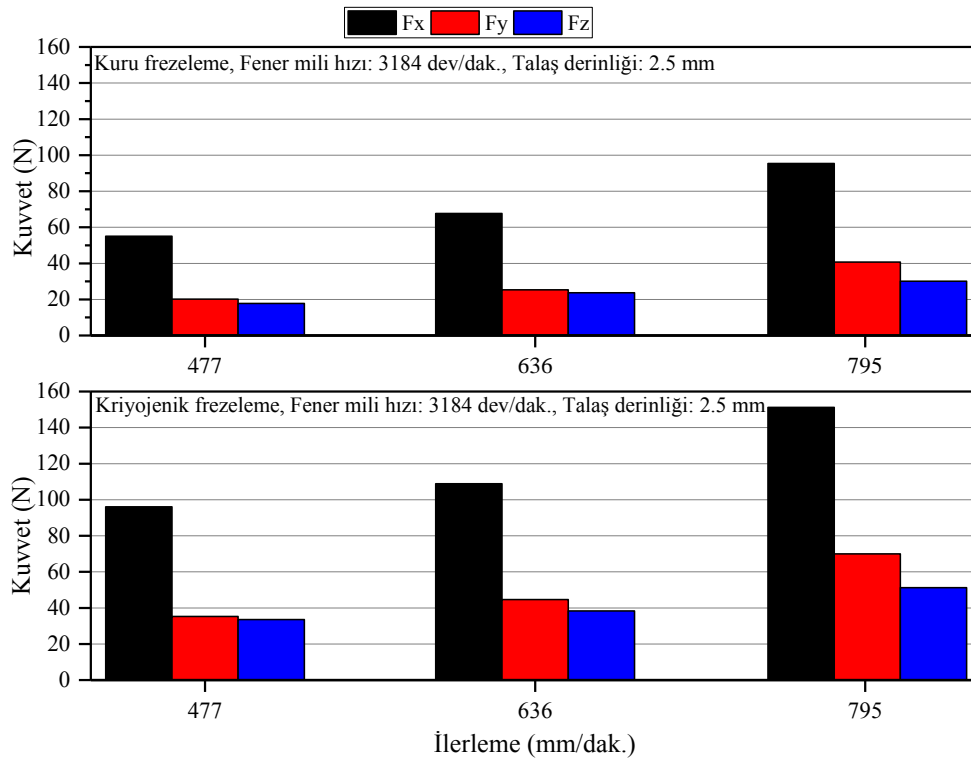
Deney no	Fener mili hızı (dev/dk)	Kesme derinliği (mm)	İlerleme hızı (mm/dk)	F _x	F _y	F _z
1	3184	2.5	477	96.08	35.3	33.51
2			636	108.9	44.65	38.36
3			796	151.2	69.99	51.26
4	9500	2.5	477	33.5	13.79	11.37
5			636	36.99	16.2	15.11
6			796	41.01	21.03	17.1
7	6369	2		38.97	18.47	14.51
8		4	636	81.79	36.18	30.59
9		6		112.7	52.48	46.52

Deneylerin kriyojenik ortamda yapılmasıyla kuru kesmeye nazaran daha fazla kesme kuvvetleri oluşmuştur. Kesme kuvvetlerindeki bu değişim hesaplanarak Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

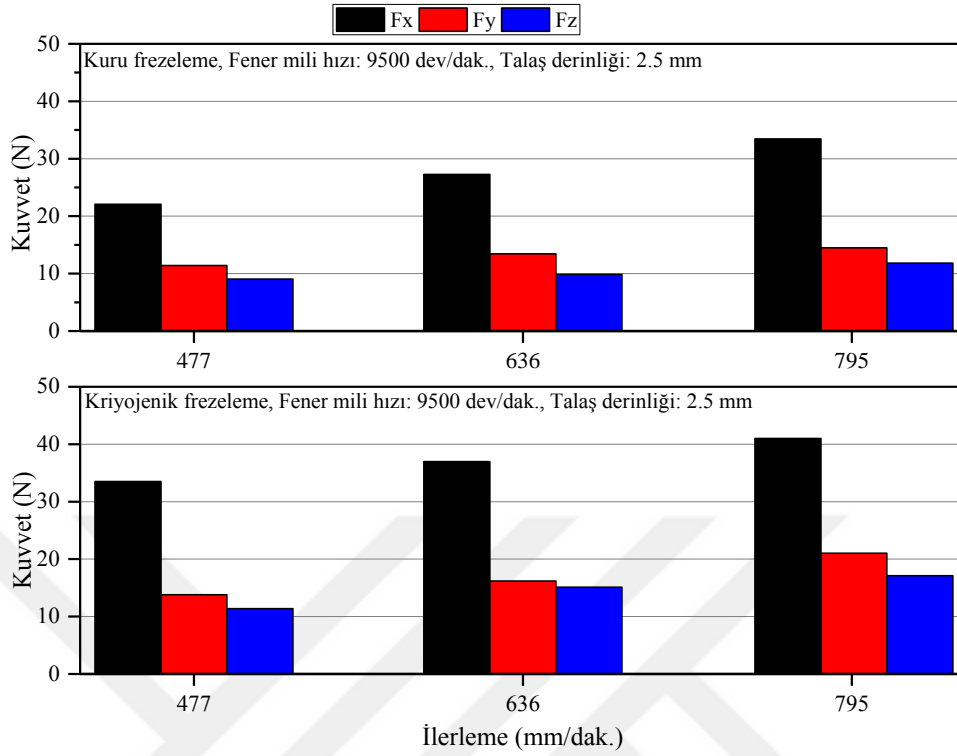
Çizelge 4. 2. Kesme kuvvetlerinin kriyojenik ortamda % artışı

Deney numarası	F _x	F _y	F _z
1	74.63	35.30	33.51
2	108.90	44.65	38.36
3	151.20	69.99	51.26
4	33.50	13.79	11.37
5	36.99	16.20	15.11
6	41.01	21.03	17.10
7	38.97	18.47	14.51
8	81.79	36.18	30.59
9	112.70	52.48	46.52

3184 dev/dk ve 9500 dev/dk fener mili hızlarında, 2.5 mm talaş derinliğinde ve farklı ilerleme değerlerinde yapılan testlerde oluşan kesme kuvvetleri Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ilerleme hızının artması ile kesme kuvvetleri de artmaktadır. Fener mili hızının artması ile oluşan kuvvetlerde azalma meydana gelmiştir. Kriyojenik şartlarda gerçekleştirilen deneylerde oluşan kuvvetler kuru kesme şartlarında yapılan deneylerde oluşan kuvvetlerden fazla olmuştur.



Şekil 4.1. İlerleme hızı değişimini kesme kuvvetlerine etkisi (3184 dev/dk, 2.5 mm)



Şekil 4.2. İlerleme hızı değişimini kesme kuvvetlerine etkisi (9500 dev/dk, 2,5 mm)

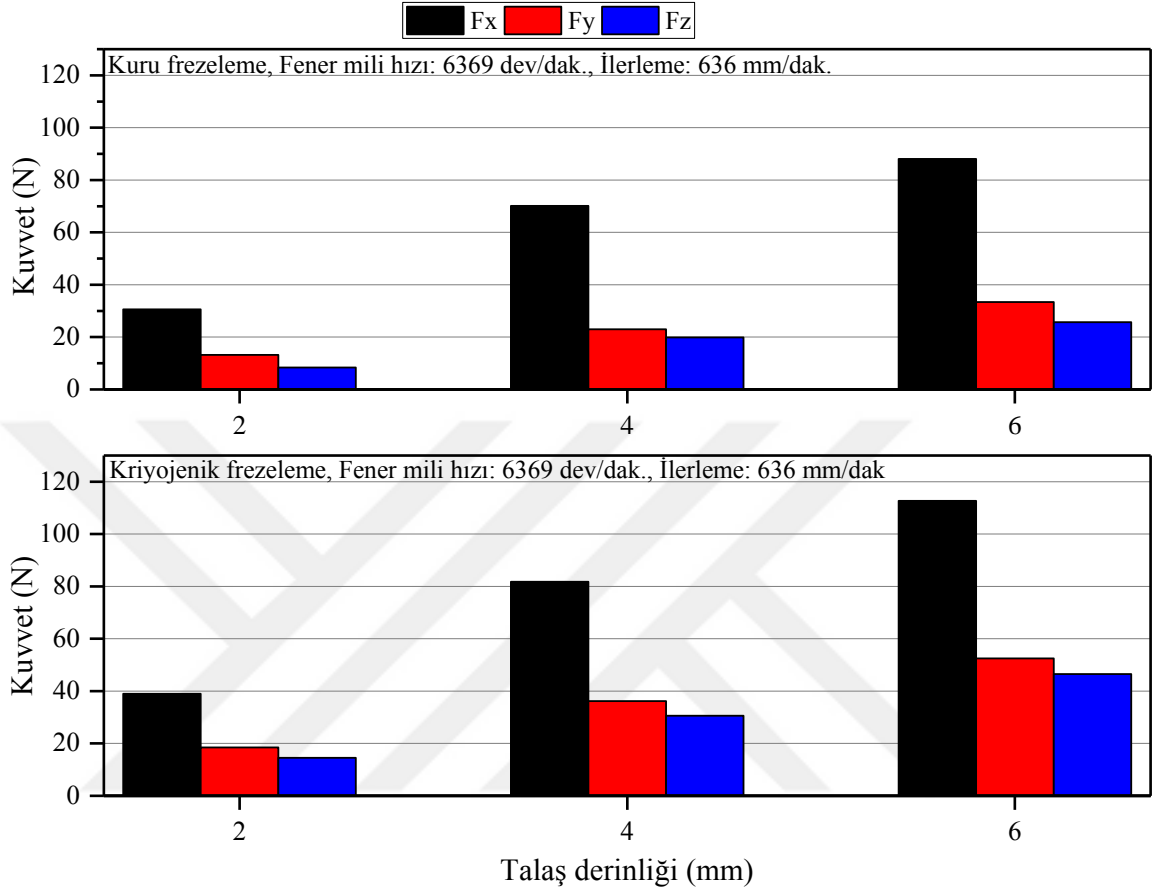
Çizelge 4.3’de kesme parametreleri değişiminin kuvvetlere etkisi % olarak hesaplanmıştır. Çizelgeden de görüldüğü gibi fener mili hızının artması ile kuvvetler kuru ortamda yaklaşık % 60, kriyojenik ortamda ise yaklaşık % 65 azalmaktadır.

Çizelge 4.3. Fener mili hızı değişiminin kuvvetlere etkisi

		Fener mili hızı (dev/dk)	Kesme derinliği (mm)	İlerleme hızı (mm/dk)	Fx	Fy	Fz
Kuru	% Azalma	3184 9500	2.5	477	59.87	43.49	49.16
				636	59.71	46.98	58.3
				796	64.91	64.42	60.66
Kriyojenik	% Azalma	3184 9500	2.5	477	65.13	60.93	66.07
				636	66.03	63.72	60.61
				796	72.88	69.95	66.64

6369 dev/dk fener mili hızı, 636 mm/dk ilerleme hızında ve farklı talaş derinliklerinde yapılan testlerde oluşan kuvvetler şekil 5.3’te verilmiştir. Hem kuru hem de kriyojenik şartlar altında yapılan deneylerde talaş derinliği arttıkça oluşan kuvvetlerde artmıştır.

Kriyojenik şartlarda gerçekleştirilen deneylerde oluşan kuvvetler kuru kesme şartlarda yapılan deneylerde oluşan kuvvetlerden fazla olmuştur.



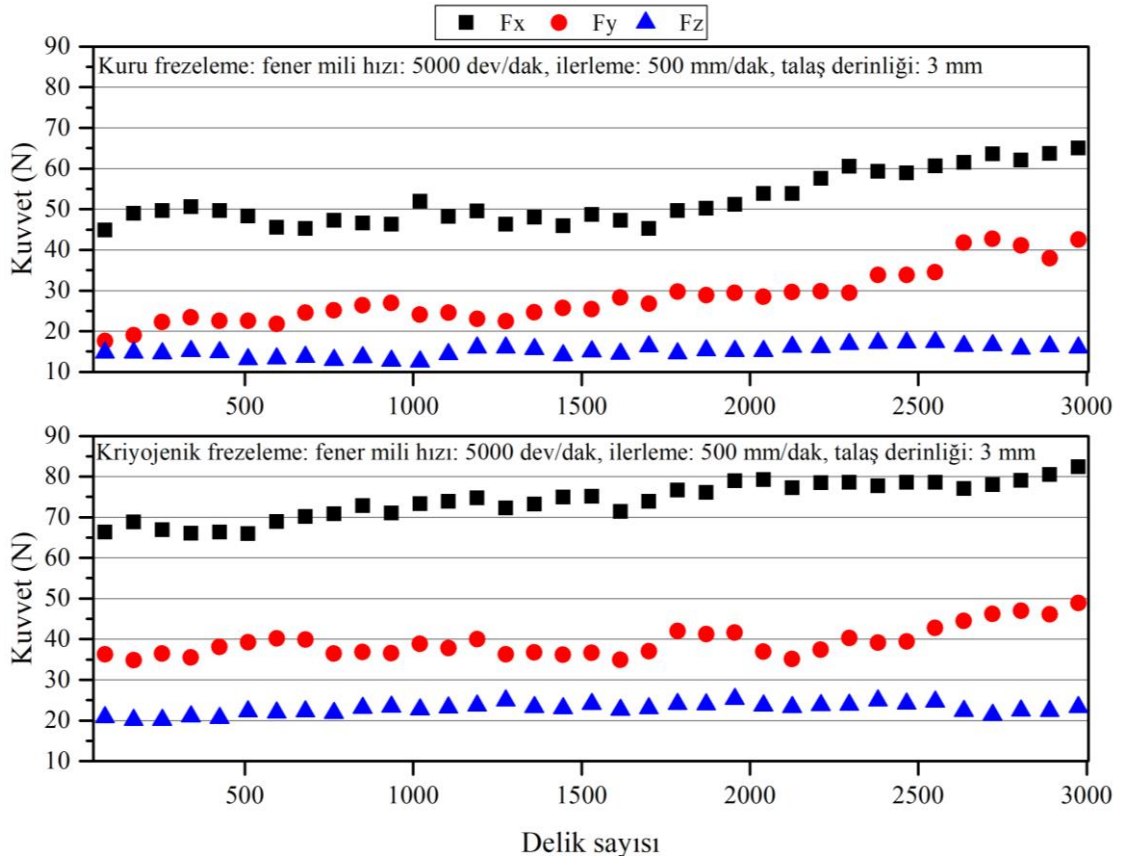
Şekil 4.3. Talaş derinliğinin kuvvetlere etkisi

Sabit 5000 dev/dk fener mili hızı, 500 mm/dk ilerleme ve 3 mm talaş derinliğinde AZ31 magnezyum plaka 3000 mm işlenmiştir. Bu deney serisi hem kuru hem de kriyojenik kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri verileri Çizelge 5.4'te verilmiştir. Bu verilerden elde edilen grafik ise Şekil 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kesme uzunluğu artması ile kesme kuvvetleri değişimi

Kesme Uzunluğu	Kuru			Kriyojenik		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
90 mm	44.88	17.62	14.72	66.33	36.26	20.78
180 mm	49	18.98	14.72	68.78	34.8	20.16
270 mm	49.63	22.26	14.53	66.92	36.48	20.17
360 mm	50.57	23.43	15.17	66.01	35.5	21
450 mm	49.67	22.55	14.85	66.35	38.03	20.68
540 mm	48.29	22.53	13.09	65.9	39.18	22.3
630 mm	45.56	21.79	13.31	68.91	40.16	22
720 mm	45.26	24.53	13.75	70.18	39.94	22.23
810 mm	47.26	25.15	12.94	70.79	36.47	21.9
900 mm	46.6	26.41	13.61	72.81	36.83	23.1
990 mm	46.26	26,98	12,75	71,03	36,59	23,37
1080 mm	51.9	24.09	12.54	73.31	38.82	22.77
1170 mm	48.24	24.53	14.35	73.91	37.83	23.26
1260 mm	49.52	23.07	16.01	74.7	39.97	23.66
1350 mm	46.27	22.42	16.01	72.24	36.28	24.92
1425 mm	48	24.64	15.58	73.23	36.76	23.29
1500 mm	45.95	25.7	14.07	74.95	36.21	23.06
1575 mm	48.67	25.39	15.05	75.12	36.67	24.04
1665 mm	47.25	28.27	14.51	71.42	34.92	22.67
1755 mm	45.28	26.73	16.31	73.87	37.03	23.03
1845 mm	49.67	29.71	14.55	76.66	42.01	24.1
1935 mm	50.24	28.83	15.32	76.04	41.27	24.01
2025 mm	51.18	29.45	15.16	78.92	41.62	25.31
2115 mm	53.85	28.45	15.16	79.2	36.9	23.67
2205 mm	53.8	29.6	16.22	77.19	35.15	23.3
2295 mm	57.57	29.8	16.14	78.44	37.44	23.82
2385 mm	60.49	29.47	16.84	78.52	40.3	23.85
2475 mm	59.33	33.86	17.17	77.72	39.17	24.93
2565 mm	58.87	33.82	17.26	78.52	39.46	24.15
2655 mm	60.59	34.51	17.3	78.58	42.78	24.64
2745 mm	61.46	41.77	16.42	77.06	44.46	22.38
2835 mm	63.62	42.7	16.58	77.98	46.22	21.36
2910 mm	62.02	41.06	15.75	79.03	46.98	22.43
2985 mm	63.69	37.89	16.27	80.47	46.12	22.32

Kriyojenik kesme koşullarından yapılan testlerde kuru kesme şartlarından daha fazla kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Ayrıca kesme uzunluğu artması ile kesme kuvvetleri artmıştır. Kesme uzunluğu artması ile kesme kuvvetlerinin hızlı artmamasının kesici takımın karbür olması ve malzemenin işlenmesinin zor olmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



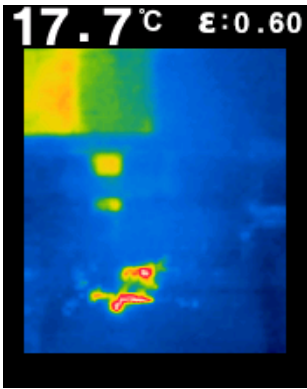
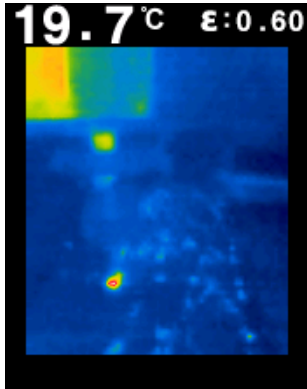
Şekil 4.4 Kesme uzunluğu değişiminin kesme kuvvetlerine etkisi

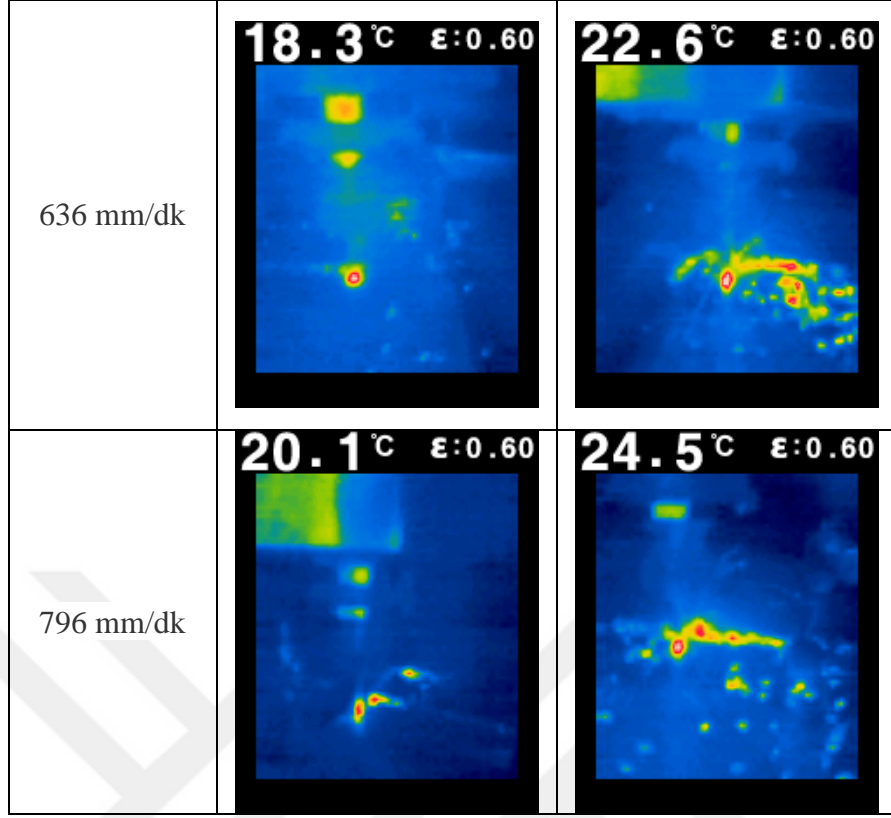
Literatür incelendiğinde, sıcaklık azaldıkça malzemenin elastik modülü ve dayanımının arttığı belirtilmiştir. Kriyojenik koşulda, kesme kuvvetlerindeki artış malzeme mekanik özelliklerinde meydana gelen bu değişiklikler ile açıklanabilir. Bununla beraber, bu çalışmada uygulanan kriyojenliğe daldırarak işleme metodu aynı zamanda malzemeye kriyojenik ısıl işlem uygulanmasına sebep olduğundan, malzeme tane boyutunda da değişiklik meydana geldiği düşünülmektedir. Pu ve ark. (Pu, 2012) AZ31B magnezyum alaşımının kriyojenik işleme sırasında tane boyutunun kayda değer şekilde azaldığını tespit etmişlerdir.

4.2 Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Kesme anında oluşan sıcaklıklar takım ve talaşların termal kamera ile görüntülenmesiyle yaklaşık olarak tespit edilmiştir. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın ölçümü mümkün olmadığı için termal kamera ile takım ve çıkan talaşların sıcaklığı ölçülmüş olup kesme parametrelerine bağlı olarak bu sıcaklık değerlerindeki değişim kesme bölgesindeki sıcaklık değişimi hakkında bilgi vermiştir. Frezeleme operasyonu içi sıvı nitrojen dolu bir kap içerisinde yapıldığından ve sıvı nitrojen buharlaştıkça takviye edildiğinden dolayı kriyojenik şartlar altında yapılan testlerde, sıcaklık sıvı nitrojenin buharlaşma sıcaklığı olan $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ kabul edilmiş ve sıcaklık ölçümü için kullanılan termal kameranın minimum ölçüm sıcaklığı $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu için sıcaklık ölçümü yapılmamıştır. Çizelge 4.5'te incelendiğinde fener mili 3184dev/dk iken ilerleme hızı 477 mm/dk'dan 636 mm/dk'ya çıkınca sıcaklık % 3, 636 mm/dk'dan 796 mm/dk'ya çıkınca sıcaklık % 9,8 artmıştır. Aynı zamanda, fener mili hızının artması ile de sıcaklık artmıştır. İlerleme hızı 477 mm/dk iken fener mili hızı 3184dev/dk'dan 9500 dev/dk'ya çıkınca sıcaklık %11, ilerleme hızı 636 mm/dk iken fener mili hızı 3184dev/dk'dan 9500 dev/dk'ya çıkınca sıcaklık %21, ilerleme hızı 796 mm/dk iken fener mili hızı 3184dev/dk'dan 9500 dev/dk'ya çıkınca sıcaklık %22 artmıştır.

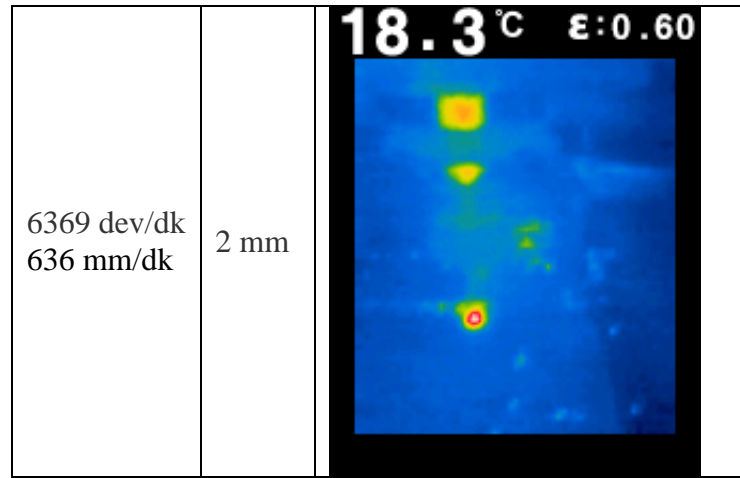
Çizelge 4.5. Fener mili ve ilerleme hızlarının değişiminin sıcaklığa etkisi

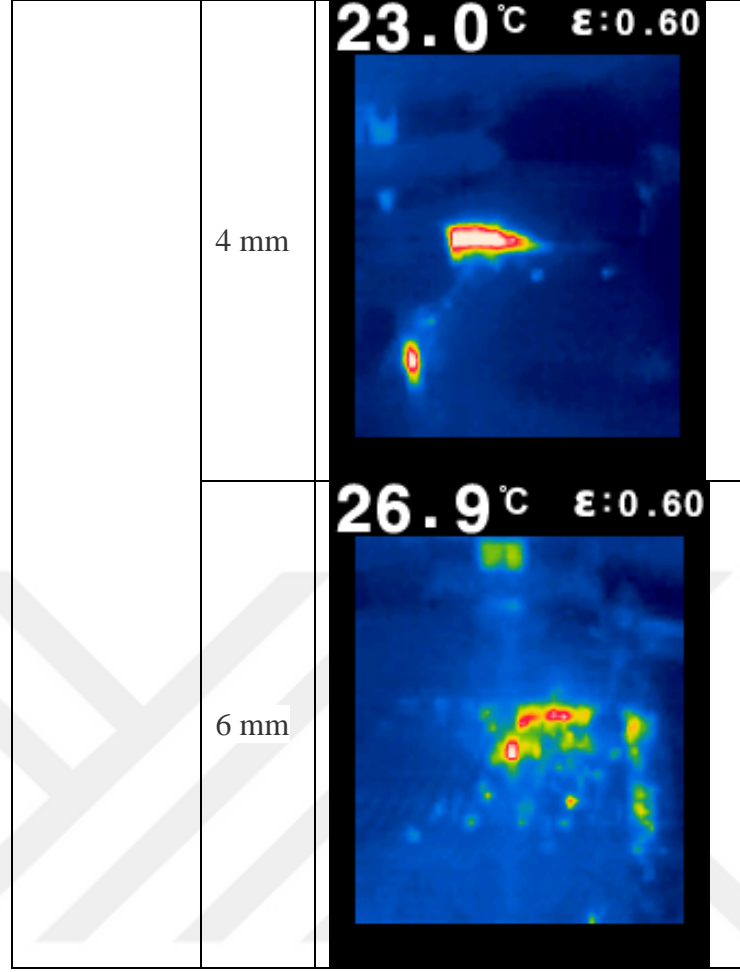
	3184 dev/dk, 2.5 mm	9500 dev/dk, 2.5 mm
477 mm/dk		



Sabit 6369 dev/dk fener mili hızında, 636 mm/dk ilerleme hızında ve 3 farklı talaş derinliğinde yapılan testlerde oluşan sıcaklık Çizelge 4.6'da verilmiştir. Talaş derinliğinin artması ile sıcaklıkta artmıştır. Kesme derinliği 2 mm'den 4 mm'ye çıkarsa sıcaklık % 25,6, 4 mm'den 6 mm'ye çıktığında sıcaklık % 15,6 artar.

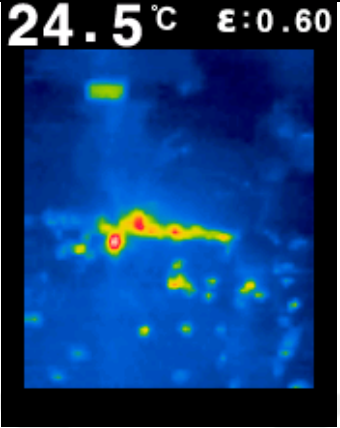
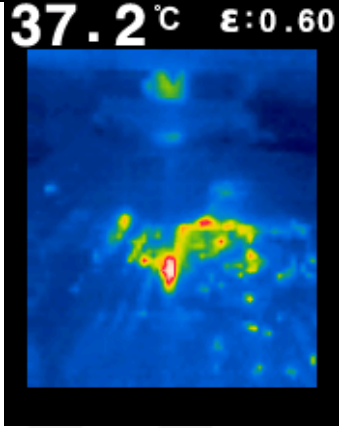
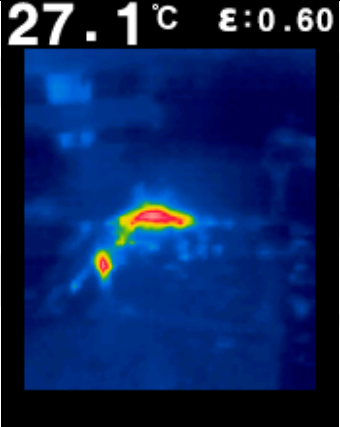
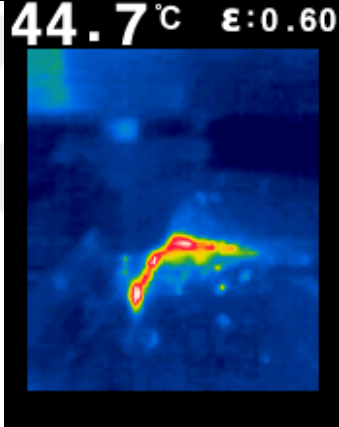
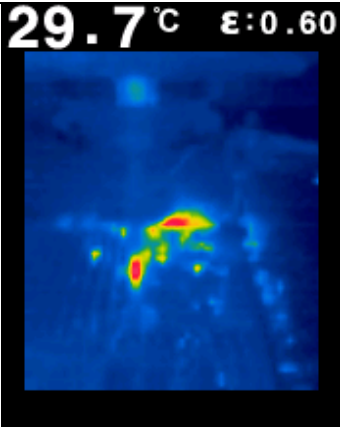
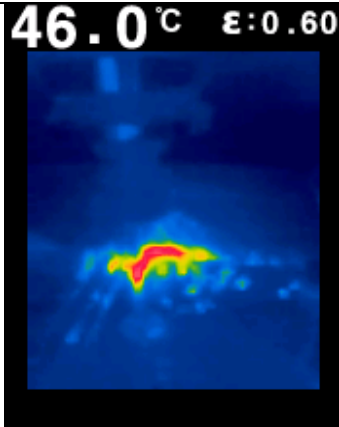
Çizelge 4.6. Talaş derinliği değişiminin sıcaklığa etkisi





Takım ömrü testleri kuru kesme şartlarında sabit 5000 dev/dk fener mili hızında, 500 mm/dk ilerleme ve 3 mm talaş derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Takım ömrü testlerinde 3000 mm kanal işlenmiş ve her 500 mm de bir sıcaklık ölçülmüştür (Çizelge 4.7). Çizelgeden de görüldüğü gibi kesme uzunluğu arttıkça sıcaklığında arttığı görülmüştür. 3000 mm uzunlukta ölçülen sıcaklık 500 mm uzunlukta ölçülen sıcaklığa göre %87 artmıştır.

Çizelge 4.7. Kuru kesme şartlarında kesme uzunluğu değişiminin sıcaklığa etkisi

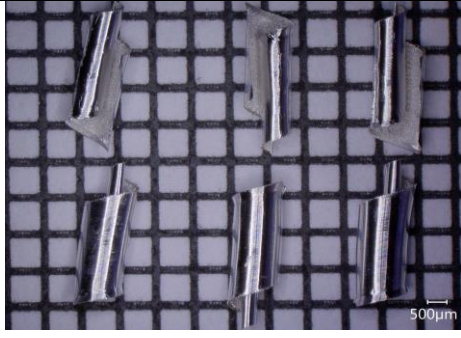
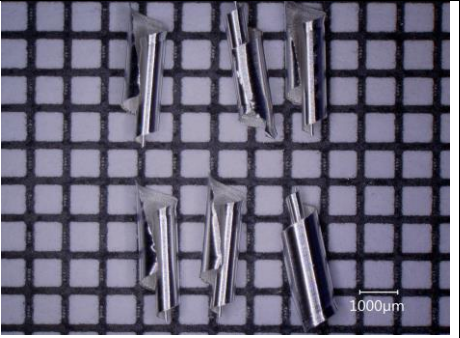


Kesme uzunluğu (mm)		Kesme uzunluğu (mm)	
500		2000	
1000		2500	
1500		3000	

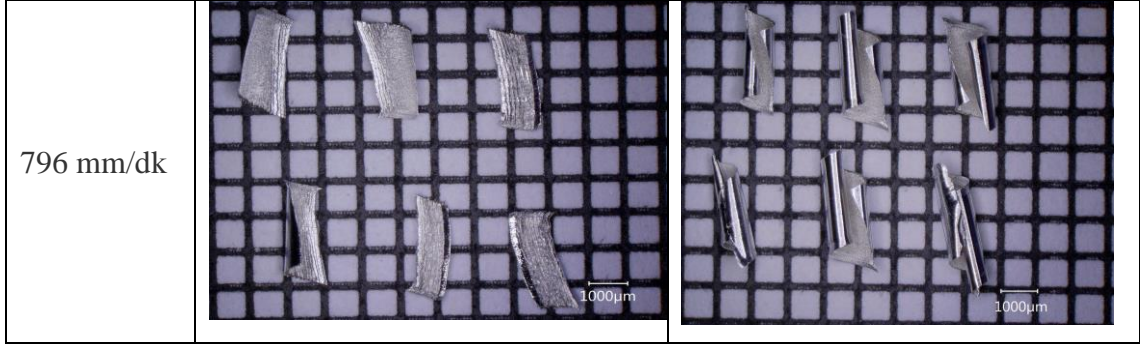
4.3 Talaş Morfolojisi

Çizelge 3.3'te verilen deney tasarımına göre yapılan deneyler sonucunda oluşan talaşlar deneylerden sonra toplanmıştır. Toplanan talaşlardan geneli temsil edecek şekilde numuneler seçilerek dijital mikroskop ile görüntülenmiştir. Kuru ortamda görüntülenene

talaşlar Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’da, kriyojenik ortamda görüntülenen talaşlar Çizelge 4.10 ve 4.11’de sunulmuştur. Fener mili hızının artması ile hem kuru hem de kriyojenik şartlarda talaşlar daha uzun şekilde oluşmaktadır. İlerleme miktarının artması ile her iki kesme durumunda da talaşlar daha kısa oluşmaktadır. Literatürde her ne kadar magnezyum alaşımının yüksek kesme hızlarında tutuşma eğiliminde olduğu bahsedilsede, yapılan çalışmada böyle bir durum gözlemlenmemiştir. Kendi kendine tutuşma durumu daha çok toz formdaki talaşlarda olduğu ve bu çalışmada oluşan talaşların boyutunun büyük olması sebebiyle herhangi bir tutuşma gözlemlenmemiştir. Ayrıca kriyojenik ortamda gerçekleştirilen testlerde oluşan talaşlar kuru kesme koşullarında oluşan talaşlardan daha kısa formdadır. Kriyojenik ortamda yapılan testlerde talaşlar sünek kopmadan ziyade gevrek kopma şeklinde oluşmuştur. Talaş morfolojisindeki değişiklik, malzemenin sünek yapısının sıcaklık azaldıkça gevrek bir yapıya dönüşmesiyle açıklanabilir. Kriyojenik koşulda, malzeme gevredığı için kısa ve süreksiz talaş oluşumu gözlemlenmiştir.



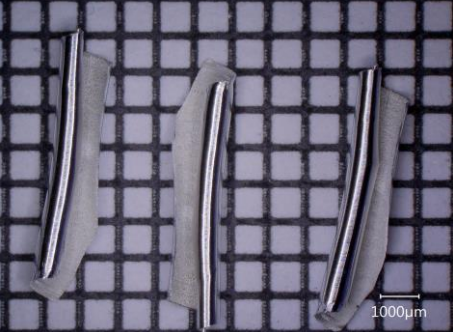
Çizelge 4.8. Kuru kesme şartlarında yapılan testlerde oluşan talaşlar

	3184 dev/dk, 2.5 mm	9500 dev/dk, 2.5 mm
477 mm/dk		
636 mm/dk		

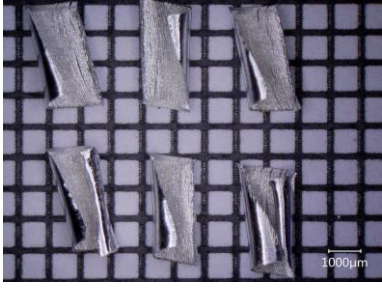



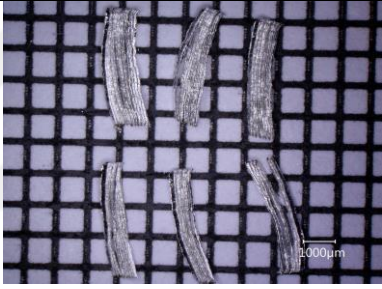



Sabit 6369 dev/dk fener mili hızında, 636 mm/dk ilerleme hızında ve 3 farklı talaş derinliğinde kuru kesme şartlarında yapılan testlerde oluşan talaşlar Çizelge 4.9'da verilmiştir. Talaş derinliğinin artması ile talaş boyları da artmaktadır.

Çizelge 4.9. Kuru kesme şartlarında talaş derinliği değişiminin talaş oluşumuna etkisi




6369 dev/dk 636 mm/dk	2 mm	
	4 mm	
	6 mm	

Çizelge 4.10. Kriyojenik kesme şartlarında yapılan testlerde oluşan talaşlar

	3184 dev/dk, 2.5 mm	9500 dev/dk, 2.5 mm
477 mm/dk		
636 mm/dk		
796 mm/dk		

Sabit 6369 dev/dk fener mili hızında, 636 mm/dk ilerleme hızında ve 3 farklı talaş derinliğinde kriyojenik kesme şartlarında yapılan testlerde oluşan talaşlar Çizelge 4.11’de verilmiştir. Talaş derinliğinin artması ile talaş boyları da artmaktadır.

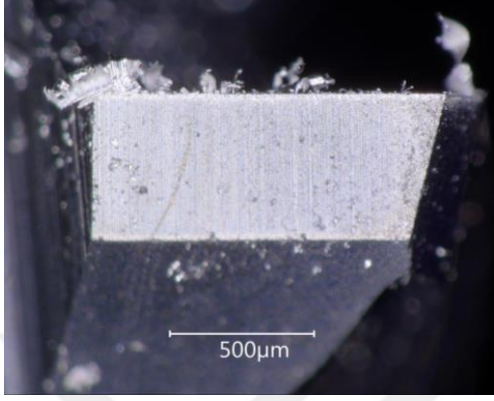
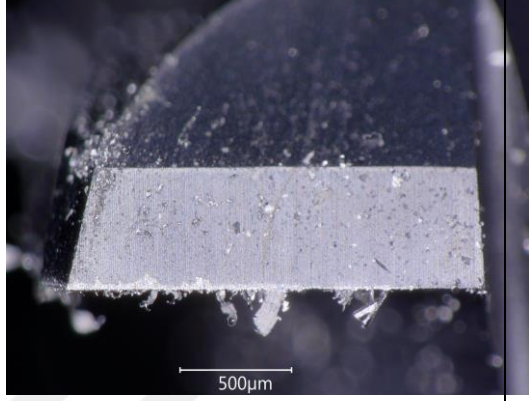
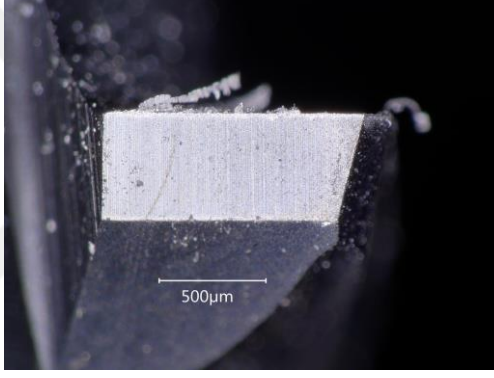
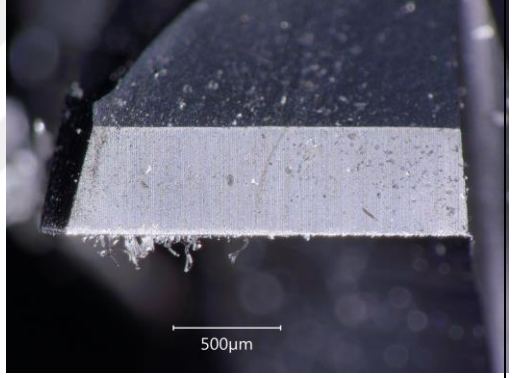
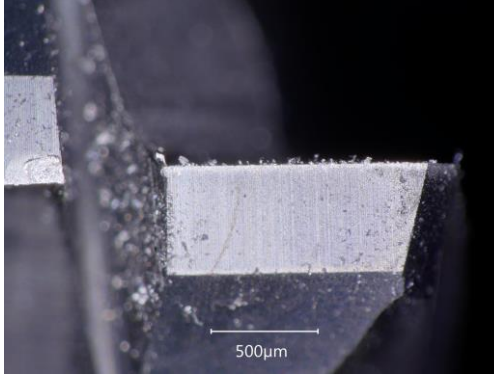
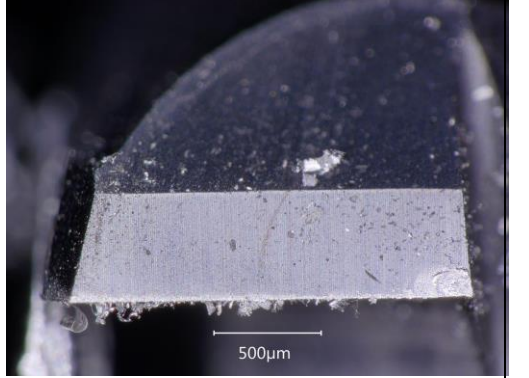
Çizelge 4.11. Kriyojenik kesme şartlarında talaş derinliği talaş oluşumuna etkisi

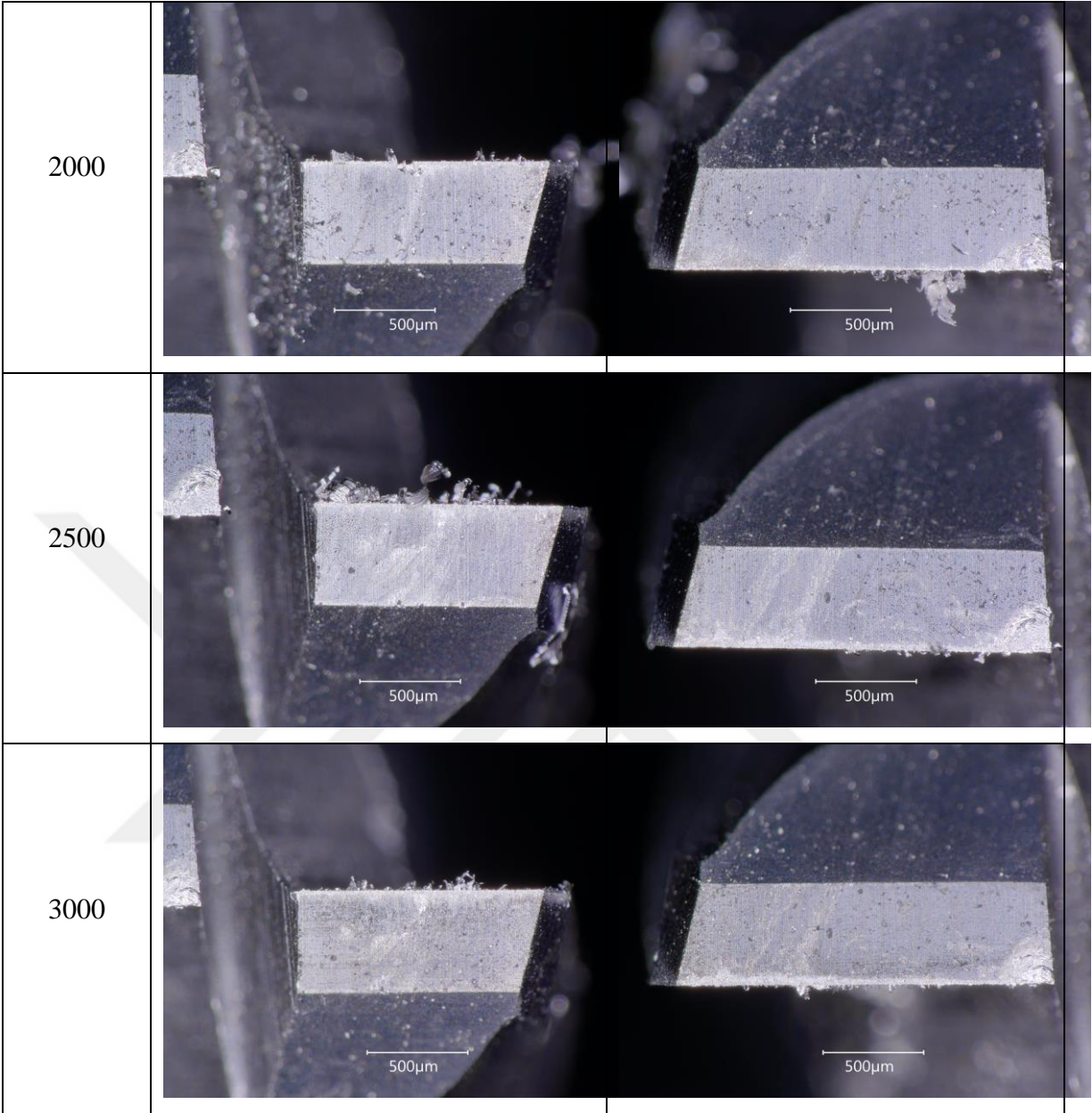
6369 dev/dak 636 mm/dak	2 mm	
	4 mm	
	6 mm	

4.4. Kesici Takım Aşınmasının İncelenmesi

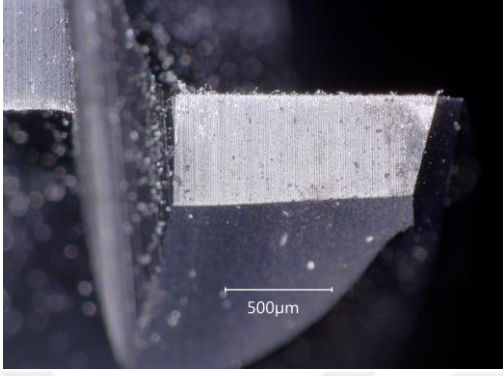
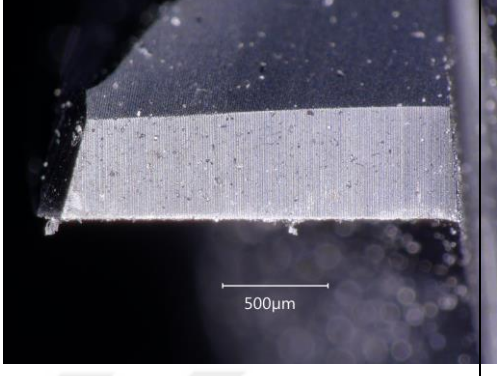
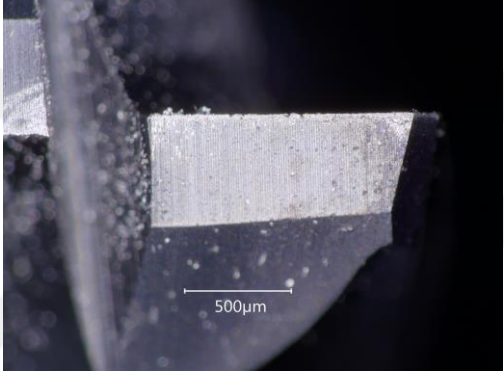
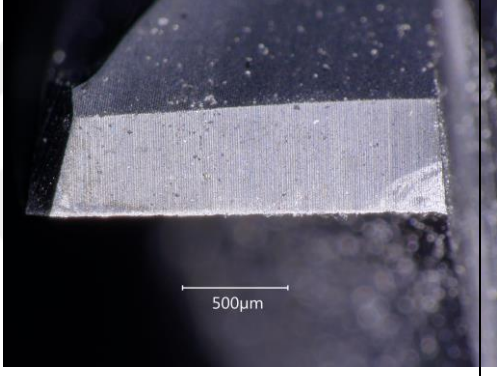
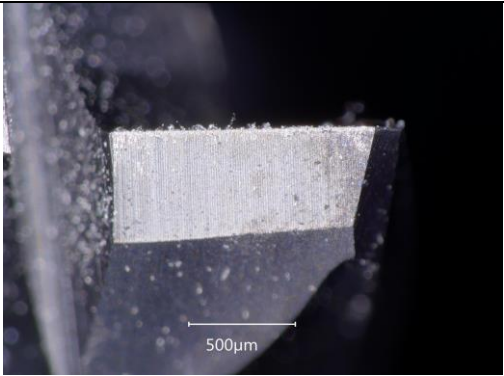
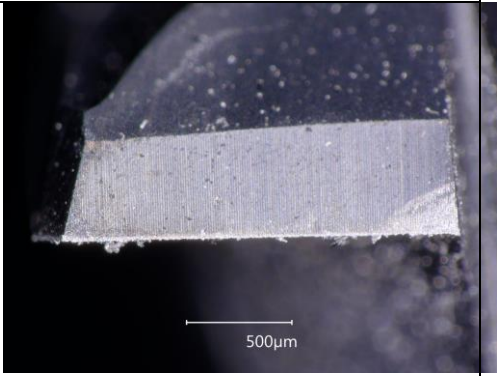
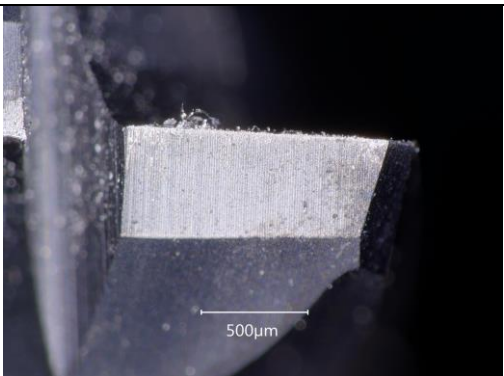
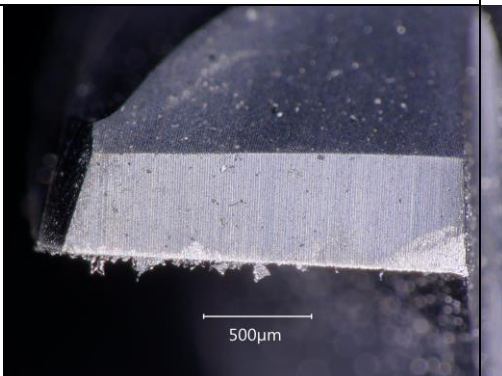
5000 dev/dak fener mili hızında, 500 mm/dak ilerleme hızında ve 3 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilen takım ömrü testlerinde magnezyum 3000 mm işlenmiştir. Deneysel çalışma hem kuru hem de kriyojenik şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Her 500 mm frezeleme operasyonu yapıldıktan sonra kesici takım dijital mikroskop ile görüntülenmiştir. Kesici takımın hem kısa hem de uzun kenarı görüntülenmiştir. Kuru kesme koşullarında yapılan testlerde oluşan aşınma ölçümü Çizelge 4.12’de, kriyojenik ortamda yapılan testlerde oluşan aşınma ise Çizelge 4.13’de gösterilmiştir. Magnezyumun yapısı gereği olarak işleme sırasında düşük erime sıcaklığına sahip olmasından dolayı, oluşan talaşlar kesici takıma yapışarak kesici takım üzerinde yığıntı talaş (built up edge) oluşturmuştur. Kriyojenik ortamda sıcaklık düşürülerek yapılan işlemede iş parçasının soğutulması ile takım üzerinde biriken yığıntı talaş miktarının az olduğu görülmektedir. Yığıntı talaş miktarındaki kayda değer azalma, kriyojenik işlemin prosesi iyileştirdiğinin de bir göstergesidir.

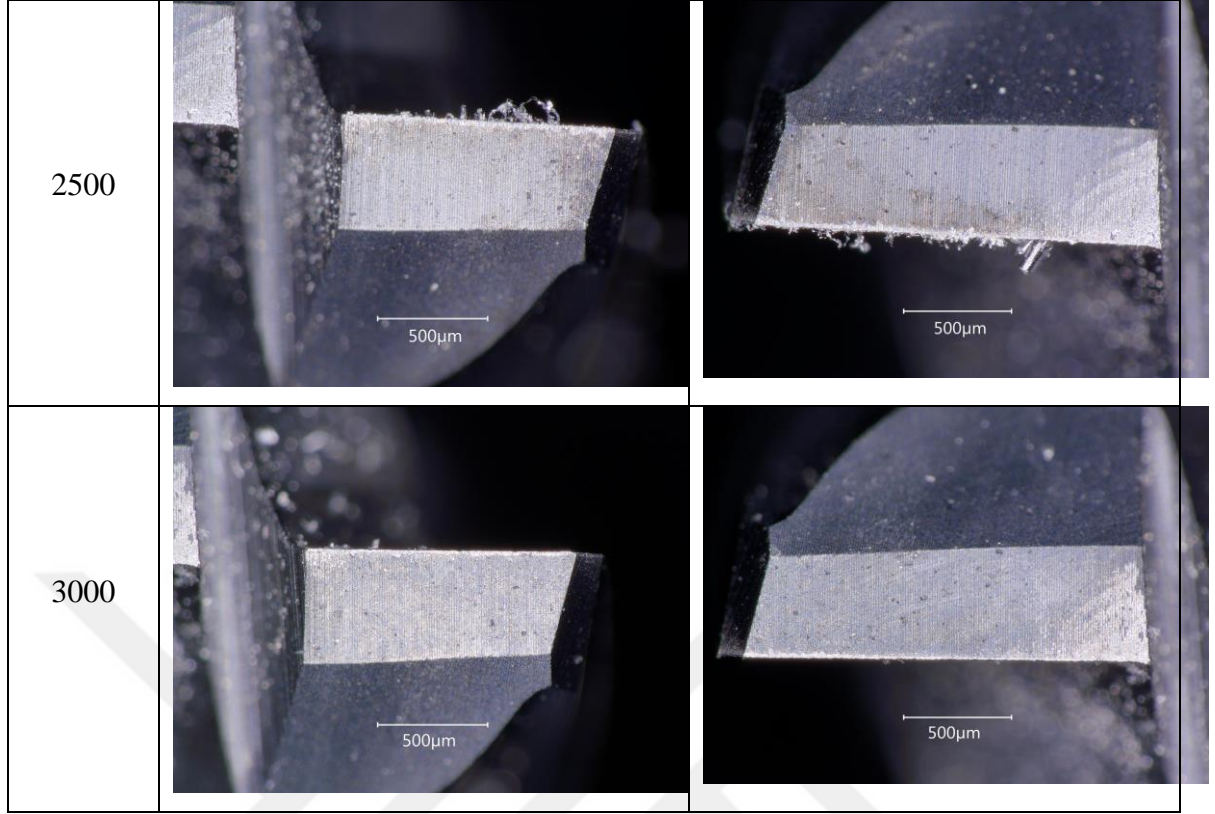
Çizelge 4.12. Kuru frezeleme operasyonunda oluşan aşınma

Kesme uzunluğu (mm)	5000 dev/dak, 500 mm/dak ve 3 mm	
	Kısa kenar	Uzun kenar
500		
1000		
1500		



Çizelge 4.13. Kriyojenik frezeleme operasyonunda oluşan aşınma

Kesme uzunluğu (mm)	5000 dev/dk, 500 mm/dak ve 3 mm	
	Kısa kenar	Uzun kenar
500		
1000		
1500		
2000		



4.5. İşlenen Kanalların Yüzey Kalitesi

Çizelge 3.3'te verilen deney tasarımına göre yapılan frezeleme testleri sonucunda işlenen yüzeylerden optik profilometre ile yüzey topografyaları alınmıştır (Çizelge 4.14 ve 4.15). Hem kuru hem de kriyojenik şartlarda gerçekleştirilen testlerde ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerleri artmaktadır. Fener mili hızının artması ile yüzey kalitesi iyileşirken, talaş derinliğinin artması yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca kriyojenik ortamda gerçekleştirilen testlerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kuru kesme şartlarından daha düşüktür. Kriyojenik soğutucu kullanılarak yapılan frezeleme operasyonunda kesme bölgesinin sıcaklığı artmadığından kesme kalıntıları, malzemenin erimesi ve yanması gibi problemler azaltılarak imal edilen ürünlerin yüzey kalitesi iyileştirilmiştir. Bununla beraber daha önce de belirtildiği gibi, kriyojenik kesme koşulları, malzemenin mukavemetini artırarak gevrekleşmesine sebep olup sürekli talaş oluşumunu engellemiştir. Her ne kadar kesme kuvvetini artırsa da kısa talaş oluşturmuş ve böylece daha talaş kaldırmayı kolaylaştırarak daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip daha kaliteli yüzeylerin elde edilmesini sağlamıştır.

Çizelge 4.14. Kuru kesme şartlarında gerçekleştirilen testlerde elde edilen yüzey topografya ölçümleri

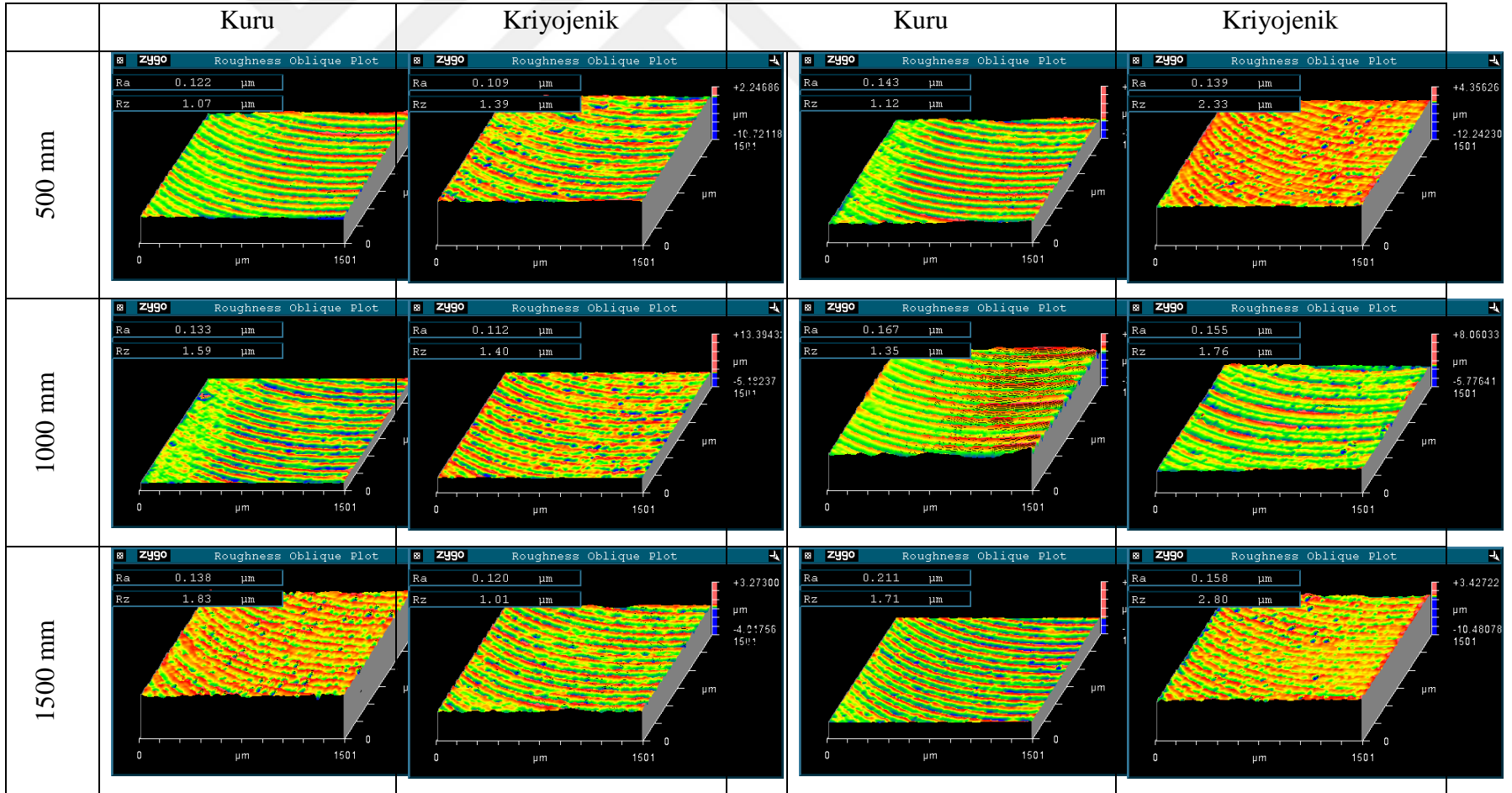
	3184 dev/dk, 2.5 mm	9500 dev/dk, 2.5 mm	6369 dev/dk, 636 mm/dk
477 mm/dak			
636 mm/ dak			
796 mm/ dak			

Çizelge 4.15. Kriyojenik kesme şartlarında gerçekleştirilen testlerde elde edilen yüzey topografya ölçümleri

	3184 dev/dk, 2.5 mm	9500 dev/dk, 2.5 mm	6369 dev/dk, 636 mm/dk
477 mm/dak			
636 mm/dak			
796 mm/dak			

Sabit 5000 dev/dak fener mili hızı, 500 mm/dak ilerleme ve 3 mm talaş derinliğinde AZ31 magnezyum plaka 3000 mm işlenmiştir. Bu deney serisi hem kuru hem de kriyojenik kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonrasında 500 mm, 1000 mm, 1500 mm, 2000 mm, 2500 mm ve 3000 mm işlendikten sonra kanalların içerisinden optik profilometre ile görüntüler alınmıştır (Çizelge 4.16). Çizelge 4.16 incelendiğinde hem kuru hem de kriyojenik şartlar altında kesme uzunluğu arttıkça yüzey kalitesi azalmaktadır. Yüzey kalitesindeki bu azalma takım aşınmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca kriyojenik şartlar altından yapılan kesme testlerinden elde edilen yüzeyler kuru kesme koşullarından elde edilen yüzeylerden daha iyidir. Deneylerin kriyojenik ortamda yapılmasıyla LN₂ hem yağlayıcı hem de soğutma görevi gördüğünden daha düz yüzeyler elde edilmiştir. Kuru kesme koşullarından elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 0.122 µm-0.211 µm arasında ölçülürken, kriyojenik kesme koşullarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ise 0.109 µm-0.158 µm dir.

Çizelge 4.16. Kesme uzunluğu artışının yüzey topografyasına etkisi

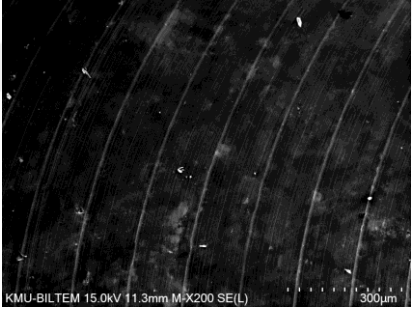
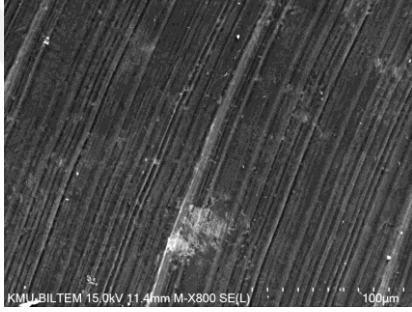
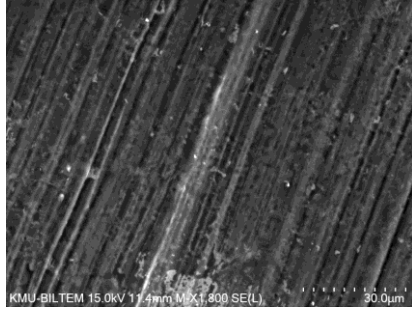
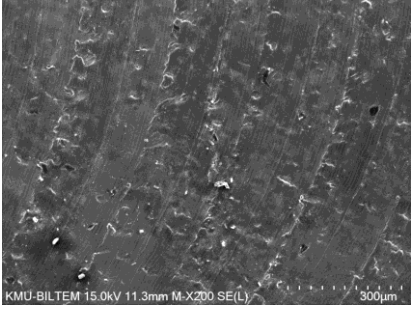
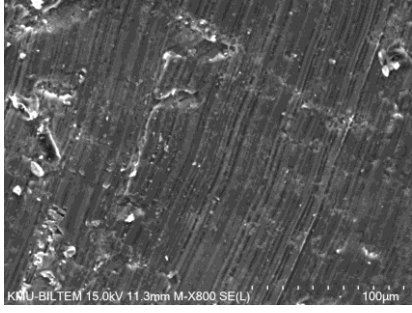

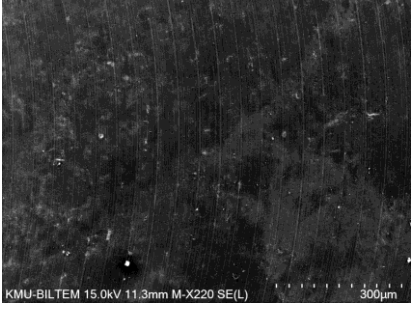
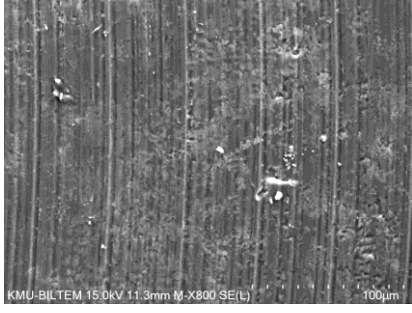
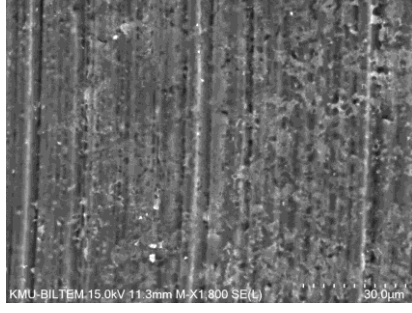


4.6. İşlenen Kanalların Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile İncelenmesi

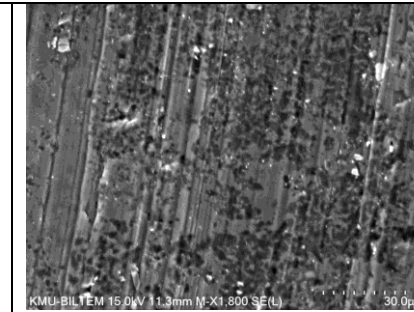
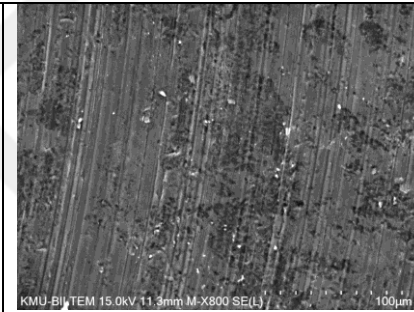
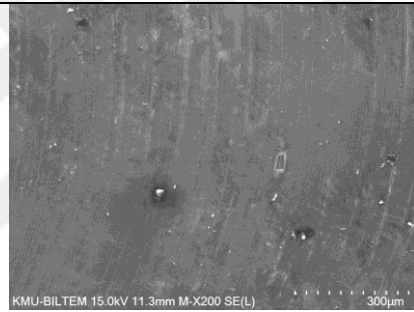
Çizelge 3.3'te verilen deney tasarımına göre yapılan deneyler sonucunda farklı fener mili hızı ve farklı ilerlemelerde işlenen yüzeylerden taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Görüntülenen kanallar Çizelge 4.17'de kuru kesme şartları, Çizelge 4.18'de ise kriyojenik şartlarda işlenen yüzeylerin görüntüleri verilmiştir. Fener mili hızının artması ile hem kuru hem de kriyojenik şartlarda altında elde edilen yüzeylerde takım izi azalmakta ve yüzey iyileşmektedir.

Kriyojenik şartlar altında yapılan testlerde elde edilen yüzeyler kuru kesmeye nazaran daha düz, daha temiz ve takım izi daha az oluştuğu gözlenmiştir. LN₂ hem soğutma hem de yağlayıcı görevi gördüğü için daha temiz ve düzgün yüzey elde edilmiştir. İlerleme miktarının artması ile her iki kesme durumunda da takım izleri daha belirgin oluşmaktadır. Buna ilaveten ilerlemenin artması durumunda özellikle kuru kesme şartlarında kanal yüzeyinde hasarlar oluşmuştur.

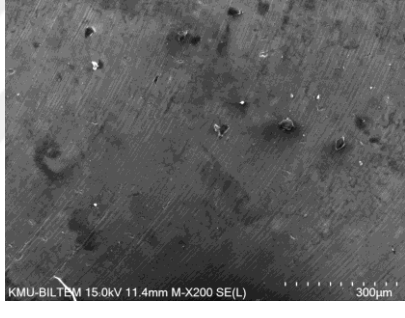
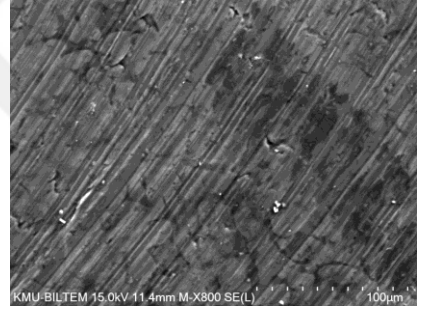
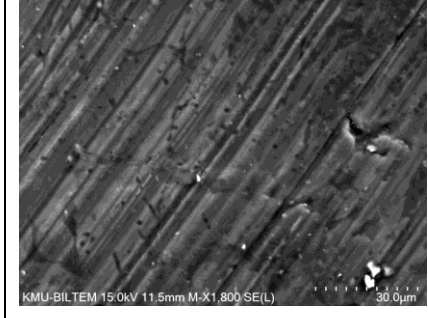
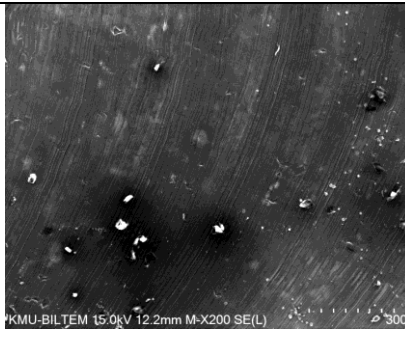
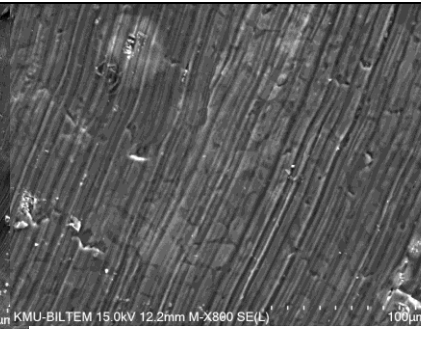
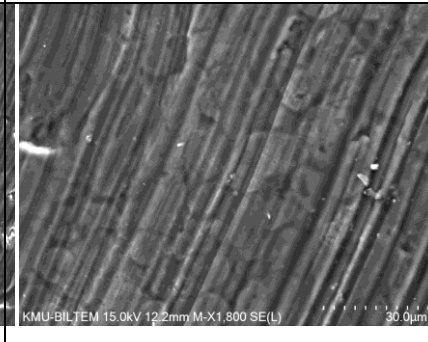
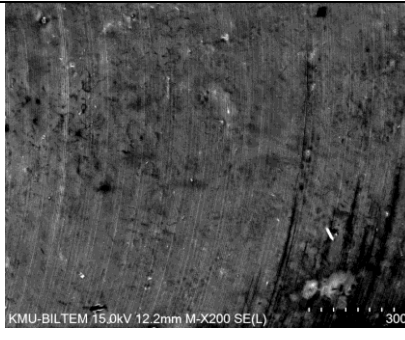
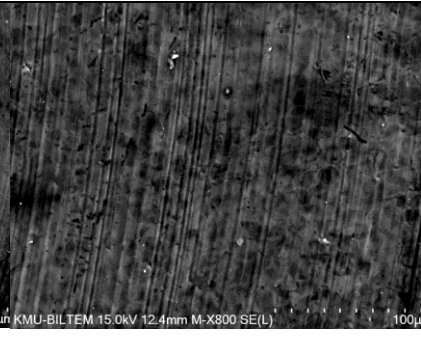
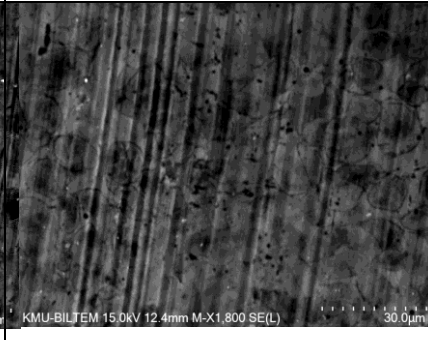
Çizelge 4.17. Kuru kesme şartlarında oluşan yüzeylerin SEM görüntüleri

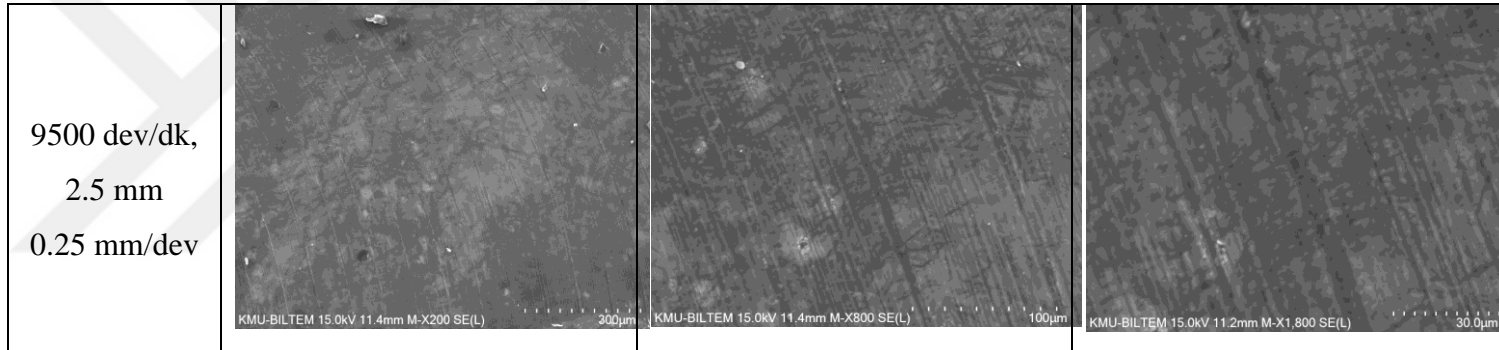
	300 μm	100 μm	30 μm
3184 dev/dk, 2.5 mm 0.15 mm/dev			
3184 dev/dk, 2.5 mm, 0.25 mm/dev			
9500 dev/dk, 2.5 mm, 0.15 mm/dev			

9500 dev/dk,
2.5 mm
0.25 mm/dev



Çizelge 4.18. Kriyojenik kesme şartlarında oluşan yüzeylerin SEM görüntüleri

3184 dev/dk, 2.5 mm 0.15 mm/dev	 <p>KMU-BILTEM 15.0kV 11.4mm M-X200 SE(L) 300µm</p>	 <p>KMU-BILTEM 15.0kV 11.4mm M-X800 SE(L) 100µm</p>	 <p>KMU-BILTEM 15.0kV 11.5mm M-X1.800 SE(L) 30.0µm</p>
3184 dev/dk, 2.5 mm, 0.25 mm/dev	 <p>KMU-BILTEM 15.0kV 12.2mm M-X200 SE(L) 300µm</p>	 <p>KMU-BILTEM 15.0kV 12.2mm M-X800 SE(L) 100µm</p>	 <p>KMU-BILTEM 15.0kV 12.2mm M-X1.800 SE(L) 30.0µm</p>
9500 dev/dk, 2.5 mm, 0.15 mm/dev	 <p>KMU-BILTEM 15.0kV 12.2mm M-X200 SE(L) 300µm</p>	 <p>KMU-BILTEM 15.0kV 12.4mm M-X800 SE(L) 100µm</p>	 <p>KMU-BILTEM 15.0kV 12.4mm M-X1.800 SE(L) 30.0µm</p>

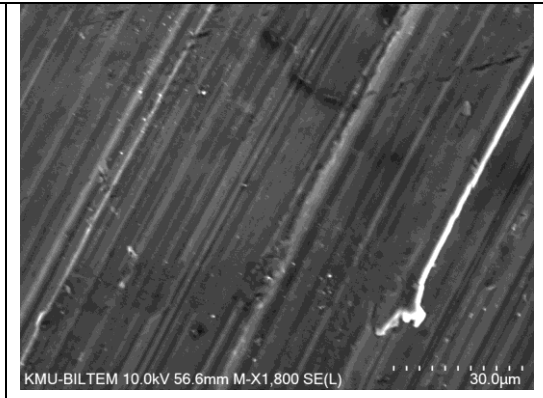
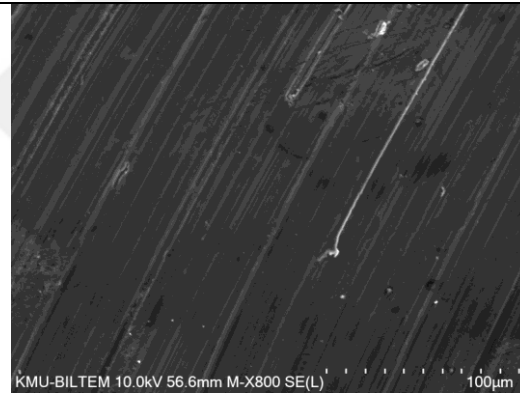
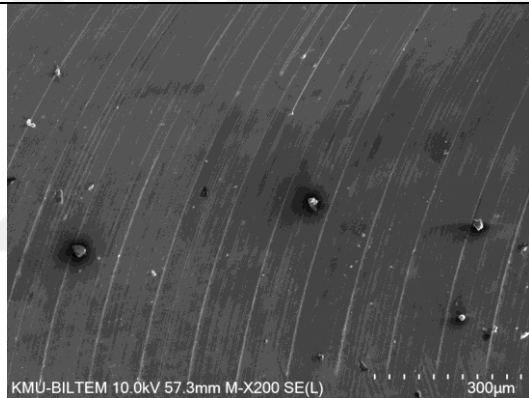


5000 dev/dak fener mili hızı, 500 mm/dak ilerleme ve 3 mm talaş derinliğinde kesme parametreleri ile kuru ve kriyojenik kesme şartlarında aynı kesici takım ile AZ31 magnezyum plaka 3000 mm işlenmiştir. Deneyler sonrasında işlenen kanallardan görüntüleri SEM ile yapılarak, alınan görüntüler Çizelge 4.19 ve 4.20’de verilmiştir. Takım ömrü deneylerinde 90 mm 1500 mm ve 3000 mm işlenmiş kanaldan görüntüler alınmıştır. Kesme uzunluğunun artması ile işlenen yüzeyde takım izleri daha belirgin hale gelmiş, işlenen yüzeylerde talaş yapışmalar artmış ve daha kaba yüzeyler oluşmuştur. Kesme uzunluğu artması ile yüzeyde meydana gelen ve artan istenmeyen durumlara takım aşınması sebep olmaktadır. Kriyojenik şartlar altında yapılan testlerde bahsedilen bu olumsuz durumlar daha az oluşmuştur. Kriyojenik şartlarda daha iyi yüzey elde edilmesinin sebebi; LN₂ nin kesme anında hem sıcaklığın artmasını engel olması hem de bir nevi yağlayıcı görevi gördüğü düşünülmektedir.

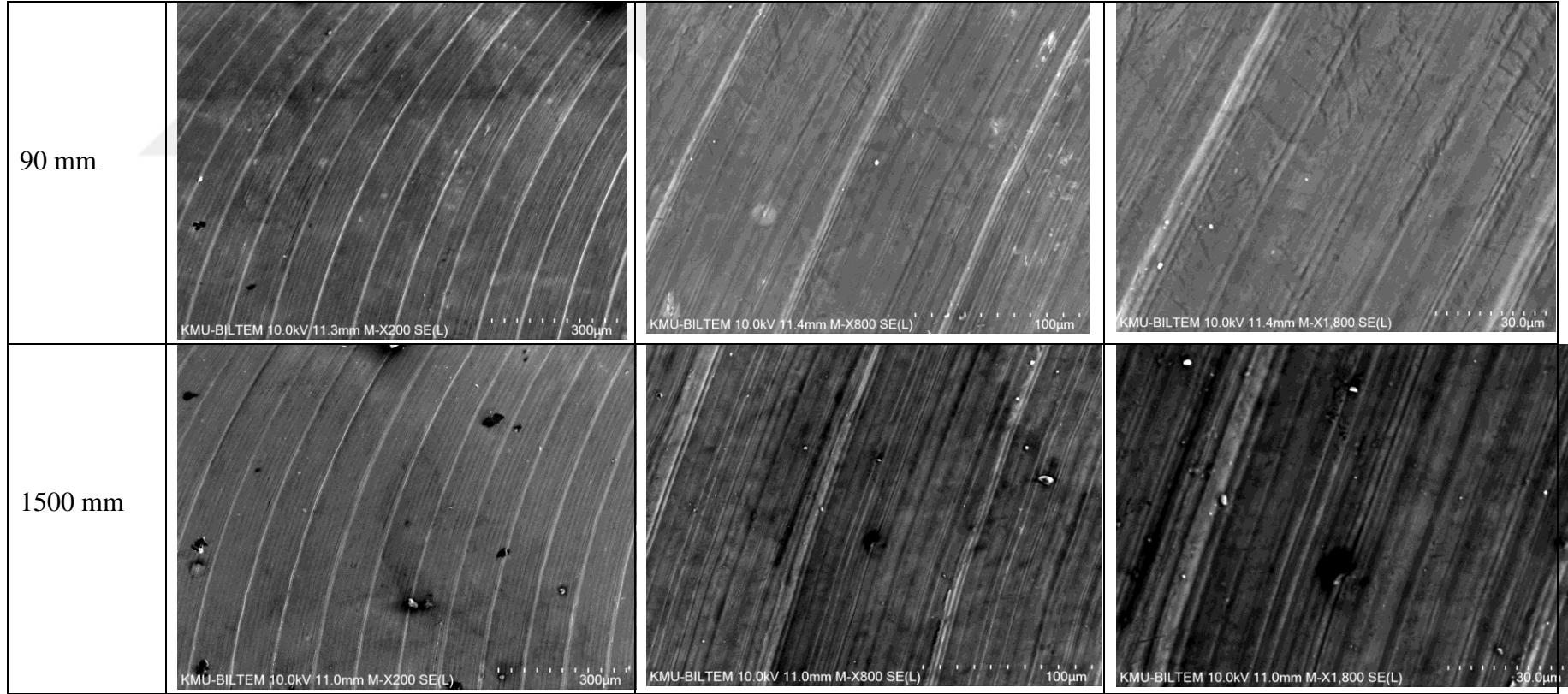
Çizelge 4.19. Kuru kesme şartlarında kesme uzunluğu değişiminin SEM incelemesi

Kesme uzunluğu (mm)	300 µm	100 µm	30 µm
90 mm			
1500 mm			

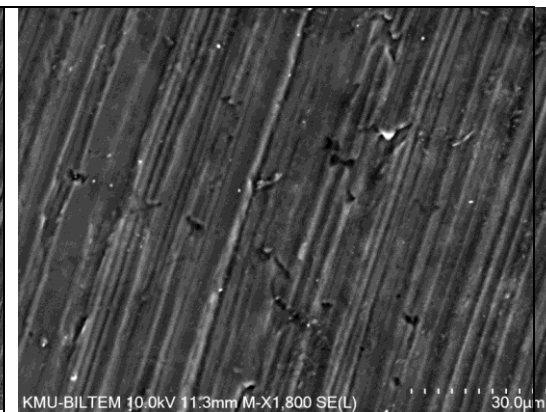
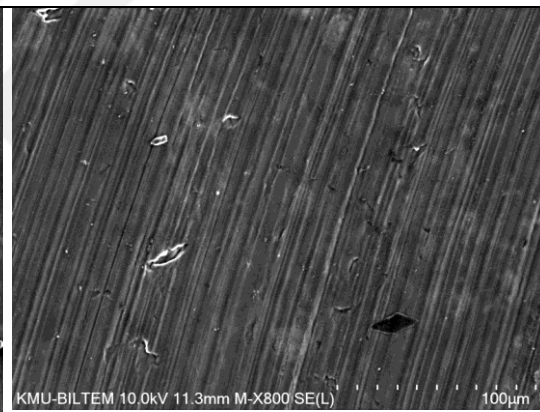
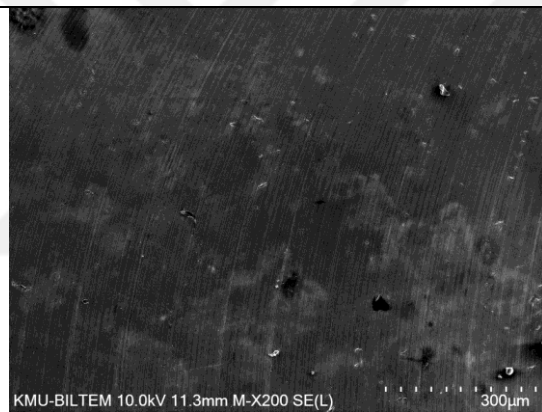
3000 mm



Çizelge 4.20. Kriyojenik kesme şartlarında kesme uzunluğu değişiminin SEM incelemesi



3000 mm



4.7. Sertlik Testi

Frezeleme işleminin sonrasında alınan numuneler geneli temsil edecek şekilde Digirock sertlik ölçüm cihazı ile yumuşak metallerin ölçümünde kullanılan Rockwell F skalası (HRF) metodu ile aynı yüzey üzerinden 3 farklı nokta olacak şekilde sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerin sonucu Çizelge 4.21’de verilmiştir. Sertlik değerleri genel olarak incelendiğinde fener mili hızının arttığı durumlarda hem kuru hem de kriyojenik şartlarda yüzey sertlik değerinin arttığı görülmektedir. Fener mili hızındaki artışın malzeme yüzeyinde oluşan ısı değerindeki yükselme kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Kuru ve kriyojenik koşullarda gerçekleştirilen frezeleme işlemleri değerlendirildiğinde ise kriyojenik koşullardaki sertlik değerinin ortalama değerine bakıldığında kuru koşullardakine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kriyojenik koşullarda kesme anında çok fazla sıcaklık oluşmadığından işlenen yüzey sertliğini de artırmamıştır.

Çizelge 4.21. Frezelenen kanalların sertlik değerleri

		Sertlik (HRF)				
			1	2	3	Ortalama
Kuru	3184 dev/dk	0.15 mm/rev	54.1	52.8	51.4	52.77
		0.25 mm/rev	53.4	59.2	56.9	56.5
	9500 dev/dk	0.15 mm/rev	54.9	55.3	51.1	53.77
		0.25 mm/rev	55.7	57.2	55.5	56.13
Kriyojenik	3184 dev/dk	0.15 mm/rev	44.9	53.6	51.2	49.9
		0.25 mm/rev	49.1	43.9	56.7	49.9
	9500 dev/dk	0.15 mm/rev	50.9	50.8	51	50.9
		0.25 mm/rev	53.8	52.6	59.2	55.2

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada AZ31B magnezyum alaşımı farklı fener mili hızlarında, farklı ilerleme hızlarında ve farklı kesme derinliklerinde kuru ve kriyojenik koşullarda kanal açma operasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve bulgular aşağıda belirtilmiştir.

- ✓ Kuru ve kriyojenik kesme koşullarında yapılan frezeleme testlerinde fener mili hızının artması ile kesme kuvvetleri azalırken, ilerleme hızının artması ile kesme kuvvetleri artmıştır. Talaş derinliği artışı da kuvvet oluşumunu artırmıştır. Kriyojenik ortamda yapılan testlerde oluşan kesme kuvvetleri kuru kesme şartlarında yapılan testlerde oluşan değerlerden daha yüksektir. Ayrıca, kesme uzunluğunun artması ile oluşan kesme kuvvetleri de artmıştır.
- ✓ Kuru frezeleme operasyonunda fener mili hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin artması ile oluşan sıcaklıkta artmıştır. Kesme uzunluğu artışına bağlı olarak oluşan sıcaklıkta artmıştır.
- ✓ Hem kuru hem de kriyojenik şartlar altında yapılan frezeleme testlerinde fener mili hızının artması ile talaşlar daha uzun ve daha dar şekilde oluşmuştur. İlerleme miktarının artması ile her iki kesme durumunda da talaşlar daha kısa oluşmuştur. Ayrıca kriyojenik ortamda gerçekleştirilen testlerde oluşan talaşlar kuru kesme koşullarında oluşan talaşlardan daha kısa formdadır.
- ✓ Kuru kesme şartlarında yapılan deneyler talaşlar kesici takıma yapışarak kesici takım üzerinde yığıntı talaş (built up edge) oluşturmuştur. Kriyojenik ortamda yapılan testlerde ise yığıntı talaş miktarının daha az olduğu görülmüştür.
- ✓ Hem kuru hem de kriyojenik şartlar altında yapılan frezeleme deneylerinde fener mili hızının artmasıyla slotların yüzey kalitesi iyileşirken, ilerlemenin artması ile deliklerin yüzey kalitesi bozulmaktadır. Ayrıca kesme derinliğinin artması da yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Kriyojenik ortamda yapılan deneylerde ise kuru kesme şartlarından daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akgün, M., Özger, G. ve Ulaş, H.B., 2014. Döküm Yöntemiyle Üretilmiş AZ91 Magnezyum Alaşımının İşlenebilirliğinin Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(5), 323-328.
- Alharthi, N.H., Bingöl, S., Abbas, A.T., Ragap, A.E., Aly, M.F. ve Alharbi, H.F., 2018. Prediction of Cutting Conditions in Turning AZ61 and Parameters Optimization Using Regression Analysis and Artificial Neural Network. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-10.
- Altay, M., 2012. AZ91 Magnezyum Alaşımının Mikro Ark Oksidasyon İşleminde Elektriksel Parametrelerin Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Amini, K., Akhbarizadeh, A. ve Javadpour, S., 2014. Investigating the effect of Quench Environment and Deep Cryogenic Treatment on the Wear Behavior of AZ91. *Materials and Design*, 54, 154–160.
- Bertolini, R., Bruschi, S., Ghiotti, A., Pezzato, L. ve Dabalà, M., 2017. The effect of Cooling Strategies and Machining Feed Rate on the Corrosion Behavior and Wettability of AZ31 Alloy for Biomedical Applications. *Procedia CIRP*, 65, 7–12.
- Biermann, D. ve Liu, Y., 2014. Innovative Flow Drilling on Magnesium Wrought Alloy AZ31. *Procedia CIRP*, 18, 209-214.
- Bruschi, S., Bertolini, R., Ghiotti, A., Savio, E., Guo, W. ve Shivpuri, R., 2018. Machining-Induced Surface Transformations of Magnesium Alloys to Enhance Corrosion Resistance in Human-Like Environment. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 67, 579–582.
- Buldum, B. B., 2013. AZ91 Magnezyum Alaşımının İşlenebilirliğinin İncelenmesi. *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Danis, I., Wojtowicz, N., Monies, F., Lamesle, P. ve Lagarrigue, P., 2013. Cutting Conditions and Surface Integrity During Dry Plunge-Milling of a Wrought Magnesium Alloy. *Procedia Engineering*, 63, 36-44.
- Desai, S., Malvade, N., Pawade, R. ve Warhatkar, H., 2017. Effect of High Speed Dry Machining on Surface integrity and Biodegradability of Mg-Ca1.0 Biodegradable Alloy. *Materials Today: Proceedings*, 4, 6718–6727.
- Dinesh, S., Senthilkumar, V. ve Asokan, P., 2016. Experimental Studies on the Cryogenic Machining of Biodegradable ZK60 Mg Alloy Using Micro-Textured Tools. *Materials and Manufacturing Processes*, 1-9.
- Kainer, K. U. (2003). *Magnesium Alloys And Technologies*. Wiley-VCH.

- Kheireddine, A.H., Ammouri, A. H., Lu, T., Dillon Jr, O.W., Hamade, R.F. ve I. S. Jawahir, 2015. An Experimental and Numerical Study of The Effect of Cryogenic Cooling on the Surface Integrity of Drilled Holes In AZ31B Mg Alloy. *Int J Adv Manuf Technol*, 78, 269–279.
- Kheireddine, A.H., Ammouria, A.H., Lub, T., Jawahir, I.S. ve Hamade, R.F., 2013. An FEM Analysis with Experimental Validation to Study the Hardness of In-Process Cryogenically Cooled Drilled Holes in Mg AZ31b. *Procedia CIRP*, 8, 588–593.
- Liu, Y., Shao, S., Xu, C., Yang, X. Ve Lu, D., 2012. Enhancing Wear Resistance of Mg–Zn–Gd Alloy by Cryogenic Treatment. *Materials Letters*, 76, 201–204.
- Machining of Magnesium, Datasheet 254 Web, Magnesium Elektron, 2009, United Kingdom.
- Mert, F., 2012. Magnezyum Alaşımlarının İşlenmesi. *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara.
- Mohamed N.A. Nasra, M.N.A. ve Outeiro, J.C., 2015. Sensitivity Analysis of Cryogenic Cooling on Machining of Magnesium Alloy AZ31B-O. *Procedia CIRP*, 31, 264–269.
- Pu, Z., 2012. *Cryogenic Machining and Burnishing of AZ31b Magnesium Alloy for Enhanced Surface Integrity and Functional Performance*. University of Kentucky, Lexington, Kentucky.
- Pu, Z., Outeiro, J.C., Batista, A.C., Dillon Jr, O.W., Puleo, D.A. ve Jawahir, I.S., 2011. Surface Integrity in Dry and Cryogenic Machining of AZ31B Mg Alloy with Varying Cutting Edge Radius Tools. *Procedia Engineering*, 19, 282–287.
- Pu, Z., Umbrello, D., Dillon Jr, O.W., ve , Jawahir, I.S., 2014. Finite Element Simulation of Residual Stresses in Cryogenic Machining of AZ31B Mg Alloy. *Procedia CIRP*, 13, 282–287.
- Pu, Z., Outeiro, J.C., Batista, A.C., Dillon Jr, O.W., Puleo, D.A. ve Jawahir, I.S., 2012. Enhanced Surface Integrity Of AZ31B Mg Alloy By Cryogenic Machining Towards Improved Functional Performance Of Machined Components. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 56, 17–27.
- Pu, Z., Umbrello, D., Dillon Jr, O.W., Lu, T., Puleo, D.A. ve Jawahir, I.S., 2014. Finite Element Modeling of Microstructural Changes in Dry and Cryogenic Machining of AZ31B Magnesium Alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 16, 335–343.
- Outeiro, J.C., Rossi, F., Fromentin, G., Poulachona, G., Germain, G. ve Batista, A.C., 2013. Process Mechanics and Surface Integrity Induced by Dry and Cryogenic Machining of AZ31B-O Magnesium Alloy. *Procedia CIRP*, 8, 487–492.
- Öztürk, F., 2012. Magnezyum Alaşımları ve Kullanım Alanlarının İncelenmesi. Niğde : s.n., 2012.

- Ruslan, M.S., Othmana, K., A.Ghani, J., Kassim, M.S., Haron, C.H.C., 2016. Surface Roughness of Magnesium Alloy AZ91D in High Speed Milling. *Jurnal Teknologi*, 78, (6–9), 115–119.
- Salahshoor, M. ve Guo, Y.B., 2011. Surface Integrity of Magnesium-Calcium İmplants Processed by Synergistic Dry Cutting-Finish Burnishing, *Procedia Engineering*, 19, 288–293.
- Seçgin, G.O., 2012. İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilmiş AZ31 Magnezyum Alaşımının Korozyon Davranışının İncelenmesi.
- Shi, K., Ren, J., Zhang, D., Zhai, Z. Ve Huang, X., 2017. Tool Wear Behaviors and Its Effect on Machinability in Dry High-Speed Milling of Magnesium Alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90, 3265-3273.
- Sunil, R.B., Ganesh, K.V., Pavana, P., Vadapalli, G., Swarnalatha, C., Swapna, P., Bindukumar, P. ve Reddy, G.P.K., 2016. Effect of Aluminum Content on Machining Characteristics of AZ31 and AZ91 Magnesium Alloys During Drilling. *Journal of Magnesium and Alloys*, 4, 15–21.
- Taşkın, N., 2012. Magnezyum Talaşlarından Malzeme Üretimi. İstanbul : s.n., 2012.
- Tanrıverdi, A., 2005. Magnezyum alaşım AZ91'in Korozyon Davranışları Katılma Hızı ile Si ve Y Katkıları. 2005.
- Uddin, M.S., Rosman, H., Hall, C. Ve Murphy, P., 2017. Enhancing the Corrosion Resistance of Biodegradable Mg-Based Alloy by Machining-Induced Surface Integrity: Influence of Machining Parameters on Surface Roughness and Hardness. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90, 2095–2108.
- Zeytin, Sakin., 1999. Magnezyum Alaşımları. *Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği*. s.l. : Tübitak, 1999.
- Zhang, H., Zhao, P., Ge, Y., Tang, H. ve Shi, Y., 2018. Chip Morphology and Combustion Phenomenon of Magnesium Alloys at High-Speed Milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95, 3943–3952.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Hüsnü KAYHANLAR
Doğum Tarihi ve Yer : 19.06.1990 / HADİM-KONYA
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
Telefon : 506 555 25 84
e-mail : husnukayhanlar@hotmail.com

Eğitim:

Lise: Karaman Yunuskent Lisesi - 2007
Lisans: Gaziantep Üniversitesi - 2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Devam	BİFA Bisküvi ve Gıda Sanayi A.Ş. / Karaman	Yatırım Grup Müdürü
2014	Mas Makine / Karaman	Tasarım ve İmalat Mühedisi
2013	Meten Makine / Gaziantep	Tasarım ve İmalat Mühedisi