



**T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ  
SONUÇ RAPORU**

**Mg-Al-Mn (AM SERİSİ) MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ  
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ: Doç.Dr.Birol AKYÜZ**

**PROJE NO: 2013-02 BİL.03-01**

**BAŞLAMA TARİHİ(onay): Ağustos 2014**

**BİTİŞ TARİHİ: Şubat 2017**

**BİLECİK  
2017**

# Mg-Al-Mn (AM SERİSİ) MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

## Özet:

Magnezyum ve Magnezyum alaşımları düşük yoğunlukta olması nedeniyle yapısal uygulamalarda, taşınabilir olması nedeniyle, microelectronic, iletişim, otomotiv, malzeme taşıma sistemlerinde ve düşük yoğunlukta olduğundan havacılık-uzay endüstrisi gibi yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Otomotiv parçalarında magnezyum alaşımlarının kullanımı, ağırlığın azaltılmasında ve buna bağlı olarak hem hava kirliliğinin azaltılmasında hem de enerji tüketimini azaltmasında çok büyük öneme sahiptir. Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının bir diğer önemli yanı vücutta çözünebilme özelliğine sahip olması ile gelecekte yeni nesil malzemeler arasında özellikle biyomedikal uygulamalarda kullanım alanı bulması önemlidir. Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının en önemli olumsuz yanlarından birisi işlenmesi esnasında aniden tutuşması yanma problemlerine yol açmasıdır. Bu nedenle, magnezyum ve magnezyum alaşımlarının yeni işleme yöntemlerinin uygulanması gerekir. Özellikle otomotiv ve taşımacılık endüstrilerinde kullanılan magnezyum alaşımlarının başında AZ serisi, AM serisi ve AS serisi magnezyum alaşımları gelmektedir.

Bu çalışmanın amacı (Mg-Al-Mn) AM serisi magnezyum ve magnezyum alaşımlarının işleme metotlarının, işleme parametrelerinin ve magnezyum alaşımlarının bileşimlerinin bir fonksiyonu olarak incelenmesi ve değerlendirilmesidir. Bu bağlanma farklı alaşım bileşenlerine sahip AM serisi magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve işlenebilirlik özellikleri incelenmesi hedeflenmektedir

Bu araştırma projesi kapsamında, AM serisi (%1-9 Al, %1 Mn) magnezyum alaşımlarının işlenmesinde, magnezyum döküm alaşımlarında bileşim farklılıklarına ve işleme parametrelerine (talaş derinliği, kesme hızı, ilerleme hızı, devir sayısı vb.) bağlı olarak oluşan kesme kuvvetlerinin, talaşların yığılması ve kesici ucuna yapışmasına etki eden faktörler ve bunların işlenebilirliğe etkisinin incelenmesini kapsamaktadır. Ayrıca alaşım bileşenlerindeki değişimlere bağlı olarak AM serisi magnezyum alaşımlarının mekanik özelliklerindeki değişimlerin işlenebilirliğe etkileri üzerinde odaklanılmıştır.

Proje çalışmasında, CNC torna tezgâhında (DMG CTX Alpha300) talaşlı işleme uygulamaları yapılarak AM serisi magnezyum alaşımlarının işlenebilirliği araştırılması hedeflenmektedir. Ayrıca AM serisi alaşımların mekanik testleri yapılarak, çekme ve akma mukavemeti, % uzama ve sertlik vb. mekanik özellikleri yanında, mikroyapı incelemeleri ve talaşların kırılma-oluşumu incelenerek işlenebilirliğe etkileri araştırılacaktır.

Bu projenin amacı magnezyum ve magnezyum alaşımlarının talaşlı işleme metotlarının geliştirilmesi, işleme parametrelerinin ve magnezyum alaşımlarının bileşimlerinin bir fonksiyonu olarak incelenmesi ve değerlendirilmesidir. Bu bağlamda farklı alaşım bileşenlerine sahip (Mg-Al-Mn) AM serisi magnezyum alaşımları üzerinde uygulamalar yapılması planlanmıştır.

## 1.Giriş

Günümüzde magnezyum ve magnezyum alaşımlarının çok geniş alanlarda kullanılması sahip olduğu özellikler ile yakından ilgilidir. Bu bağlamda, magnezyum ve magnezyum

alaşımının kullanım alanlarının giderek artması, en önemli işleme yöntemlerinden birisi olan talaşlı işleme yöntemlerinde karşılaşılan sorunların çözülmesi önemlidir.

Magnezyum ve magnezyum alaşımlarını yüksek hızlarda işlemek mümkündür ancak, kesme hızını artırdıkça işleme esnasında kesici ile iş parçası arasında sürtünmenin neden olduğu önemli talaş yığılması meydana gelebilir, bunun sonucunda tutuşma ve yanma olabilir. Bu işleme problemlerine yol açabilir ve işlenen parçalarının titreşimi ile ve toleransı ile ilgili olarak, termal genleşmenin yanı sıra işlenen parçaların yüzey kaliteleri ve görünüşlerinin hassas olmamasına neden olabilir. Tönsoff ve Winkler, AZ91 alaşımı üzerinde tornalama işlemleri ve deneyleri yapmışlardır. Magnezyumun kuru işleme esnasında 900 m/dk da, kesme hızında iş parçası ile kesici arasında sürtünmeden dolayı talaşların yapışması ve yığılması gözlenmiştir. Friemuth ve arkadaşları, magnezyum alaşımlarının kuru işlemede elmas kesici kullanarak, talaş ısısını ve kesme kuvvetlerini azaltarak talaşın yanma tehlikesini azaltabileceğini ifade etmişlerdir. Tomac ve arkadaşları magnezyum alaşımlarının yaklaşık 600 m/dk nın üzerindeki hızlarda kesme açıları üzerinde talaş yığılması olduğunu belirtmektedir. Magnezyum matrisinde intermetallic  $Mg_{17}Al_{12}$  ( $\beta$ ) fazının varlığının Magnezyum alaşımlarının işlenebilirliğinde önemli farklara neden olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, Deneysel çalışmalar göstermiştir ki, gözenek ve çatlaklar gibi yüzey kusurları talaş yığılmasını artırabilmektedir. Fang ve arkadaşları magnezyum alaşımlarının yüksek kesme hızlarında ortalama sıcaklıklarda kesici yan yüzeyinde yanmanın olduğunu belirlemişlerdir. Ozsváth ve arkadaşları, yeni görüntü inceleme metodu ile freze çakısının dönmesi ile oluşan talaş ısısını incelemişlerdir. Arai ve arkadaşları, boru biçiminde helisel olarak oluşan talaşların kolay yanmadığı gözlemlenmişler ve kesme koşullarını araştırmışlar, magnezyum alaşımlarının katmanlar biçiminde talaş kaldırma metodunu önermişlerdir.

## 2.Literatür Özeti

Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının, bilinen bütün metalik yapı elemanları içerisinde en düşük yoğunluğa sahip olması, yüksek özgül mukavemeti, dökülebilirliğinin iyi olması ve yüksek basınçlı kalıp döküm mümkün olması, yüksek hızlarda talaşlı işlenebilirliği ve doğada kolay bulunabilir özellikleri magnezyum ve magnezyum alaşımlarının önemini artırmaktadır (Friedrich ve Mordike, 2006; Friemuth ve Winkler, 1999). Magnezyum ve magnezyum alaşımları, düşük yoğunluğa sahip olmalarının yanı sıra, iyi süneklik, dayanım ve iyi korozyon direncine sahip demir dışı metaldir. Ancak, kristal yapısının hegzagonal sıkı paket (HSP) olmasından kaynaklanan şekillenebilirlik ve talaşlı işleme sırasında tutuşma ve yanma gibi sorunlar yüzünden üzerinde Alüminyum (Al) kadar çalışmalar yapılamamıştır. Ancak ekolojik denge, yakıt tasarrufu vb. konular son yıllarda gündeme geldiğinden, magnezyum ve magnezyum alaşımlarının kullanımı üzerinde daha fazla yoğunlaşma olduğu göze çarpmaktadır. Alaşımlandırma veya farklı döküm yöntemleri kullanılarak göreceli olarak şekillenebilirlik geliştirilebilmektedir. Magnezyum ve alaşımlarından en yaygın olarak kullanılanlar AZ serisi (Al-Zn), AM serisi (Al-Mn) ve AS serisi (Al-Si) alaşımlardır. Bu alaşım serilerinde de görüldüğü gibi magnezyum içinde bulunan en yaygın ikincil element olarak alüminyum önde gelmektedir (Denkena ve diğ., 2004). Bunlardan en yaygın kullanılanlardan birisi AZ91 magnezyum alaşımıdır (Candan ve diğ., 2011).

Magnezyum ve magnezyum alaşımlarından elde edilen parçaların en önemli üretim yöntemi dökümdür. Atmosfer kontrollü ergitme fırınları kullanılarak metal kalıplara döküm yapılarak magnezyum alaşımları elde edilmektedir (Akyüz 2013, Akyüz 2014). Magnezyum ve magnezyum alaşımları yaygın olarak kullanılan diğer metallerle karşılaştırıldığında daha yüksek işlenebilirlik özelliğine sahiptir (Friedrich ve Mordike, 2006; Mordike ve Ebert, 2001).

Talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak yapılan makine parçalarının yüzey kalitesi birçok değişkene bağlı olarak değişmektedir. İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli kriterlerden biridir. Tornalama operasyonlarında ideal talaş kaldırma işlemi, kesici uç yüzeyinde düşük mekanik ve termal yüklerin olduğu, düşük kesme kuvvetleri ile elde edilen yüksek yüzey kalitesi ve kolay kırılarak kesici ve iş parçası üzerinden uzaklaşan talaşlar olarak tanımlanmaktadır (Denkara ve diğ., 2005). Tornalama işlemlerinde kesme hızı talaş derinliği ve ilerleme miktarı önemli parametrelerdir.

Magnezyum ve magnezyum alaşımlarını talaşlı işleme operasyonlarında yüksek kesme hızlarında işlemek mümkündür. Ancak, kesme hızını artırdıkça işleme esnasında iş parçası ile kesici ucun talaş yüzeyi arasında sürtünmeden kaynaklanan sıcaklık artışı ile talaşların kesici yüzeyine yapışması sonucunda kesici yüzeyinde talaş yığılması (Flank Build Up - FBU) meydana gelir ve bunun sonucunda magnezyum talaşlarının tutuşması ve yanması ihtimali yükselir (Tönshoff ve diğ.,2006; Friemuth ve Winkler, 1999).

Magnezyum alaşımlarının talaşlı işleme operasyonlarında yüksek kesme hızlarında talaş kaldırma sırasında yüksek mekanik ve termal gerilmelerin oluşmasına bağlı olarak işleme sırasında kesicinin ucunda yüksek sıcaklıkların ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Hou ve diğ., 2010). Kesicinin uç kısmında sıcaklık artışına bağlı olarak kesici talaş açısı ile kesici yan kesme yüzeylerinde aşınma meydana gelir. Ayrıca, yüksek kesme hızlarında tornalama operasyonlarında açığa çıkan yüksek sıcaklıklar kesicinin sertliğinin azalmasına ve işlenen yüzeylerin yumuşayarak çıkan talaşların kesici uca yapışması ile kesici ucun aşınması daha da hızlanmaktadır (Weinert ve Lange, 2001; Tönsoff ve Winkler, 1997). İşlenen makina parçalarında titreşim ve termal genleşmelerin artışına sebep olur ve bunun yanı sıra toleransların ve yüzey kalitelerinin bozulmasına neden olur.

Talaşlı işlemede operasyonlarında soğutma sıvısı kullanılarak yapılan işlemlere ıslak işleme (Wet machining), soğutma sıvısı kullanılmadan yapılan talaşlı işleme operasyonlarına kuru işleme (Dry Machining) denilmektedir (Groover, 2010). Talaşlı işleme operasyonlarında özellikle kesicinin ısınmasını önlemek amacıyla soğutma sıvısı kullanılmaktadır. Magnezyum parçaları, kuru ya da ıslak işlemek mümkündür. Ancak, talaşlı işleme operasyonlarında özellikle yüksek kesme hızlarında kuru işleme sırasında magnezyum talaşlarının kolayca tutuşması ve yanması en büyük olumsuz özelliğidir (Ruzi ve diğ., 2009).

Tönsoff ve Winkler (1997) tarafından AZ91 magnezyum alaşımı üzerinde kuru işleme koşullarında 900 m/dk kesme hızında tornalama işlemleri yaparak magnezyumun talaşlarının iş parçası ile kesici uç arasında sürtünmeden dolayı talaşların yığıldığını (FBU) ve kesici üzerine yapıştığını rapor etmişlerdir. Friemuth ve Winkler (1999) magnezyum alaşımlarının kuru işleme koşullarında kesme kuvvetlerini azaltarak ve elmas kesici uç (Polycrystalline Diamond-PCD) kullanarak tornalama sırasında talaş sıcaklığını düşürerek talaşın yanma tehlikesini azaltabileceğini rapor etmişlerdir.

Fang ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan bir çalışmada ise, magnezyum alaşımlarının freze tezgâhında kuru işleme koşullarında yüksek kesme hızlarında ortalama sıcaklıklarda kesici yan yüzeyinde yanmanın meydana geldiği sıcaklık değerlerini belirlemeye çalışmışlardır. Ozsváth ve arkadaşları (2008), AZ91 magnezyum malzemenin, yeni görüntü inceleme metodu ile freze çakısının dönmesi ile oluşan talaşın sıcaklıklarını incelemişlerdir.

Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan tornalama işlemlerinde özellikle yağ esaslı soğutucuların kullanılmasında da bazı olumsuzluklar söz konusudur. Yüksek kesme hızlarında yağ esaslı soğutma sıvılarının yanma tehlikesi bulunmaktadır (Tikal ve diğ., 2000). Su esaslı soğutma sıvılarında ise talaşlı işleme sırasında talaşların biriktiği ortamda hidrojen birikmeye başlar.

Hidrojenin düşük tutuşma noktasına sahip olduğu dikkate alındığında ortamda biriken hidrojenin ne kadar tehlikeli olabileceği unutulmamalıdır. Eğer ortamda bulunan bir ateş magnezyum talaşlarına ulaşırsa, magnezyum suyla doğrudan reaksiyona girerek daha güçlü yanacaktır. Bu ekonomik ve ekolojik açıdan dikkate alınması gereken bir konu olduğu gibi çalışanların ve çalışma ortamının güvenliği açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, tornalama işlemlerinde soğutma sıvısı kullanılması durumunda ise çıkan talaşların geri dönüşümünde kayıplara ve çevre kirliliğine neden olmaktadır (Hanko ve diğ., 2000).

Arai ve arkadaşları (1996), AZ91 magnezyum alaşımlarının işlenmesinde talaşın kırılmasını incelemişler ve helisel olarak oluşan boru biçimindeki talaşların yanmasının kolay olmadığını ve katmanlar biçiminde talaş kaldırmanın uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Hou ve arkadaşları tarafından (2010) yapılan çalışmada, AM50 ve AZ91 magnezyum alaşımlarının düzlem yüzey frezeleme operasyonunda, talaş derinliği ve kesme hızının etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada, farklı kesme parametrelerinde elde edilen talaşların şekli ile talaşın tutuşması arasındaki ilişki incelenmiş ve AZ91 ve AM50 magnezyum alaşımlarında kesme hızına, ilerleme hızına ve talaş derinliklerine bağlı olarak talaşların tutuşması ve yanmanın nasıl olduğu araştırmada rapor edilmiştir. AZ91 alaşımında tutuşma ve yanmanın AM50 alaşımına göre daha çabuk olduğu araştırmanın önemli bulguları arasındadır. Bu araştırmalardan, magnezyum alaşımlarının bileşen özellikleri ile yanma ve tutuşmanın kesme hızı, talaş derinliği gibi işleme parametreleri ile ilişkili olduğu tezinin doğru olabileceğini göstermektedir.

Friemuth ve Winkler (1999) tarafından yapılan araştırmada ise, Sementit karbid kesici kullanarak AZ91D magnezyum alaşımının kesme uzunluğuna ve kesme kuvvetine bağlı olarak kesici ucunda meydana gelen talaş yığılmasının oluşumunu (FBU) araştırmışlardır. Tönsoff ve Winkler (1997), yaptıkları çalışmalar ile AZ91 alaşımının işlenmesinde en uygun kesici özellikleri üzerinde araştırmalar yapmışlar ve en iyi sonuçların Polycrystalline diamond (PCD) kesici uçlar ile elde edildiğini ve bu kesicilerin talaş yığılmasını (FBU oluşumunu) en aza indirdiğini rapor etmişlerdir. Bu araştırmalar, kesici ucunda talaş yığılmasının kesme kuvvetleri ile ilişkili olduğunu ve kesme kuvvetlerinin talaş yığılmasını artırdığı, bunun sonucunda kesici ucunda sıcaklık artışına bağlı olarak tutuşma ve yanma meydana geldiği tezini ortaya çıkarmaktadır.

Literatür incelendiğinde en önemli bazı magnezyum ve magnezyum alaşımlarının alaşım bileşenleri aşağıda görülmektedir. Deneysel çalışmada aşağıda belirtilen tablo esas alınacaktır.

Tablo 1. Magnezyum alaşımları

Alaşım Elementi	Mg Alaşımları									
	AM50	AM60	AS21	AS41	AZ31	AZ61	AZ80	AZ91	ZE10	ZK60
Al	4,5-5,3	5,6-6,4	1,9-2,5	3,7-4,8	2,5-3,5	6,5	7,8-9,2	8,5-9,5	0,05 max	0,05 max
Zn	0,20 max.	0,20 max.	0,15-0,25	0,10 max.	0,7-1,3	1,0	0,2-0,8	0,45-0,90	1,0-1,5	4,8-6,2
Mn	0,28-0,50	0,26-0,50	0,20 min.	0,35-0,60	0,20 min.	0,15	0,15-0,5	0,17-0,40	0,1 max.	0,1 max.
Si	0,05max.	0,05max.	0,70-1,2	0,60-1,4	0,05 max.	0,20 max.	0,10 max.	0,05 max.	0,05 max.	0,05 max.
Fe (max)	0,004	0,004	0,004	0,0035	0,005	-	0,05	0,004	0,03	0,03
Cu (max)	0,008	0,008	0,008	0,015	0,05	0,08	0,05	0,025	0,02	0,05
Ni (max)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,010	0,005	0,001	0,005	0,005
Be	-	-	-	-	-	-	0,002	-	0,002	0,002
Ce	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12-0,25	-
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3-0,9
Diğer	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	0,01	-	-
Mg	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

### 3. Proje Kapsamında Yapılan Çalışmalar ve Uygulama Adımları:

Projede yapılan çalışmalar iki kısımda ele alınmıştır. Birinci aşamada, projede kullanılacak deney numunelerinin dökümü yapılmıştır. Dökümleri yapılan numunelerin döküm hataları yönünden incelenerek en uygun olanları seçilmiş ve daha sonra talaşlı işleme uygulamalarına ve mekanik deneylere geçilmiştir. Proje kapsamında kullanılan deney numuneleri metal kalıplara döküm yapılarak elde edilmiştir. Deneyde kullanılan AM serisi magnezyum alaşımı numuneler %0.5 Mn içermektedir. Proje kapsamında yapılan bütün çalışmalar literatür incelemelerinden elde edilen bilgiler ışığında belirlenmiş ve literatür ışığında yorumlanmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen verilere ilişkin grafikler hazırlanmıştır. Proje tamamlanarak çalışmadan elde edilen sonuçlar rapora yansıtılmıştır.

#### 3.1. Deney Alaşımlarının Dökümü

Proje kapsamında kullanılan deney numuneleri alaşım bileşenleri literatürden belirlenerek hazırlanmıştır. Bu kapsamda standartlar çerçevesinde AM20, AM40, AM50 ve AM60 magnezyum alaşımlarının dökümü atmosfer kontrollü ergitme fırınında yapılmıştır (kokil kalıba). Kalıptan çap:22 mm, boy:200 mm olan numuneleri elde edilmiştir. AM serisi magnezyum alaşım numunelerinden kaynaklanabilecek hatalara karşı (çatlak, gaz boşlukları, çukurlar vb.) her seriden 4 adet üretimi yapılmıştır. Her seriden dökümü yapılmış olan alaşımların adları üzerlerine yazılmış ve çevre koşullarına karşı koruma altına alınmıştır. Projede kullanılan alaşımlar ve bileşenleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. AM serisi Magnezyum alaşımlarının alaşım bileşenleri  
(Wt %, "A" refers to Al content and "M" refers to Mn content of the alloy).

Alaşım	Al	Mn	Zn	Si	Fe	Mg
AM20	1.9	0.4	0.15	0.01	0.01	Rest
AM40	4.3	0.4	0.15	0.01	0.01	Rest
AM50	5.1	0.4	0.15	0.01	0.01	Rest
AM60	6.2	0.4	0.15	0.01	0.01	Rest

#### 3.2. Talaşlı İşleme Deneyleri

AM serisi magnezyum alaşımı numuneler üzerinden ön temizlik talaşı alınarak işlenebilirlik deneylerinin ön hazırlık çalışmaları tamamlanmıştır. Döküm kalıbından çıkan numuneler yolluk ve besleyicilerden kesilerek çubuklar halinde hazırlanmıştır. Daha sonra Tablo.3'te belirtilen işleme parametrelerine uygun olarak tornalama işlemlerine geçilmiştir. Numuneler üzerinde yukarıda belirtilen parametrelere uygun tornalama işlemleri yapılarak kesme kuvvetlerine ilişkin veriler elde edilmiştir. İşlenen bu numunelerin kumpas ve mikrometre ile ölçüleri kontrol edilerek, her seriye ait numuneler kendi içinde ayrı ayrı sıralanarak ve etiketlenerek, daha sonra uygulamadan elde edilecek talaşların optik mikroskop ile görüntüleri incelenmek üzere biriktirilmesi amacıyla hazırlanan bölmeli kutularda tasnif edilmiştir.





Tablo 3. Uygulamada Seçilen İşleme Parametreleri

İşleme Parametreleri				
Döküm Yöntemi	Al-Si alaşımları	Talaş derinlikleri (DoC:mm)	Devir sayısı/Kesme Hızı (rpm-m/min)	İlerleme Hızı (mm/dev)
Metal Kalıp	AM20	0.5 mm	1000 rpm (56m/min)	f:0.10
	AM40	1.0 mm	2000 rpm (112m/min)	
	AM50		3000 rpm (168m/min)	
	AM60			

AM magnezyum serilerinin işlenmesinde devir sayısı sırasıyla (1000,2000,3000rpm) seçilerek talaşlı işleme uygulamaları yapılmıştır. Bütün devir sayılarında (kesme hızlarında) talaş kesiti sabit tutularak uygulama yapılarak kesme kuvvetlerindeki değişimler incelenmiştir. Talaş derinlikleri 0.5 ve 1.0 mm olarak seçilerek kesme kuvvetlerindeki değişimler incelenmiştir. Bu uygulamada devir sayısı ve ilerleme hızı sabit tutularak talaş derinliklerinin değiştirilmesine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetlerinin büyüklükleri strainage ile ölçülerek, ilgili yazılım ve donanım sayesinde okunarak veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Her talaş derinliğinden sonra işlenmiş yüzeyin yüzey kalite değerleri (Ra-  $\mu\text{m}$ ) proje kapsamında alımı planlanan yüzey pürüzlük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Al-Si numunelerinin tamamı yukarıda belirtilen işlem sırasında işlenerek alüminyum alaşımlarının talaşlı işleme operasyonları tamamlanmıştır. Talaşlı işleme operasyonlarında elde edilen talaşlar taramalı optik mikroskop ile görüntüleri incelenerek, talaşın oluşumu ve talaşların biçimi ile kesme kuvvetleri ve kesici uçta meydana gelen talaş yığılması (Flank Build-Up) arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Proje çalışmasında uygulanan işleme parametreleri literatür incelemeleri sununda Tablo 2.'de görüldüğü gibi belirlenmiştir. Kesilmiş numunelerin önce CNC torna tezgâhında ön temizlik talaşı alınarak işlenmiştir. Aynı çapta olan deney parçalarının her birini 0.5mm ve 1.0 mm talaş derinliği verilerek kesme kuvvetlerine ilişkin veriler elde edilmiştir. Deneyde 1000, 2000 ve 3000 rpm devir sayısı verilerek her bir derinliğin ve devir sayısının kesme kuvvetleri incelenmiş ve veriler grafikler halinde düzenlenmiştir. Projede işlenebilirlik deneylerinde kullanılan makine/araç-gereç listesi Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4. Projede Talaşlı İşlemede Kullanılan Makine/Araç-Gereç Listesi

Adı-Özellikleri/Modeli	Projede Kullanım Amacı
CNC Torna Tezgâhı 	Deney numunelerinin talaşlı işleme yöntemiyle Torna tezgâhında işlenmesi ve bu sırada kesme kuvvetlerinin okunması amacıyla kullanılmıştır.
Magnezyum Deney numuneleri 	Torna tezgâhında, talaş kaldırma işlemlerinde kullanılmak üzere Çapı 20 mm, Boyu 200 mm olan işlenecek numunelerin dökümü yapılmıştır.
Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı-TR200 	Talaşlı işlemede talaş kaldırma işleminden sonra işlenen yüzeylerin yüzey kalitesinin belirlenmesi (Ra $\mu\text{m}$ ) amacıyla kullanılmıştır.
Kumpas ve Mikrometre 	Talaşlı işlemede işlenen yüzeylerin boyutlarının ölçülmesinde kullanılmıştır.

### 3.3. Zımparalama ve Parlatma İşlemleri

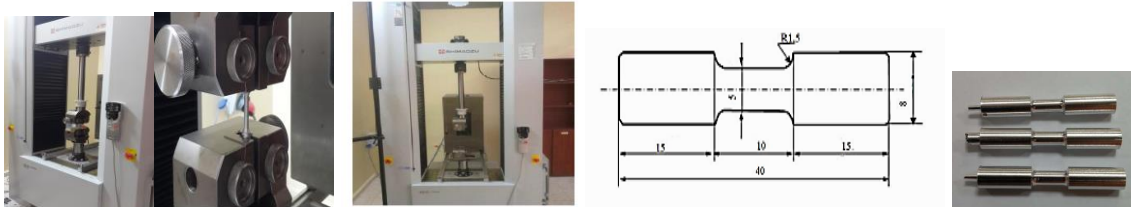
Proje kapsamında kullanılan AM serisi magnezyum alaşımlarının mikroyapılarını incelemek amacıyla numuneler hazırlanmıştır. Dökümü yapılan AM serisi alaşımları hassas kesme makinasında kesilerek deney numunelerinin ön hazırlıkları yapılmıştır. CNC torna tezgâhında ve hassas kesme makinasında silindirik numuneler hazırlanmıştır (çap 18 mm). Her deney numunesinden en az 3 adet numune hazırlanmıştır. Bu numuneler zımparalama ve parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Sırasıyla 180, 320, 600, 1000 ve 1200'lük zımpara ile zımparalanmıştır. Bu zımparalama işlemi bittikten sonra 0.6,0.3 ve 0.1 mikronluk parlatıcılarda parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi bittikten sonra numuneler özel olarak hazırlanan dağlama çözeltisi ile ortalama 8-12 saniye dağlanmıştır. Dağlama işlemi yapılan yüzeylerden mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Dağlama çözeltisi ile dağlanmış numunelerin optik mikroskop ile mikro yapı görüntüleri elde edilmiştir. Mikroyapı inceleme numunelerinin hazırlanmasında kullanılan araç, gereç ve cihazlar Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. a)Hassas Kesme ve b) Zımparalama ve Parlatma Cihazı ve c)Optik Mikroskop

### 3.4. Çekme Deneyleri

CNC torna tezgâhında ASTM standartlarına uygun olarak her seriden en az 3 adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Deney numunelerinin çekme testleri yapılmıştır (Şekil 2). Çekme testlerinde alaşımların kopma-akma mukavemeti ve % uzama değerlerine ilişkin veriler elde edilmiştir. Çekme testlerinde kullanılan numuneler ASTM E 8 M-99 standartlarına göre hazırlanmıştır. Çekme testleri oda sıcaklığında (20°C) (Shimadzu Autograph AGS-J 10 kN Universal Tester) yapılmıştır. Çekme test verileri en az 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Çekme testlerinden elde edilen veriler grafikler halinde düzenlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bilgiler ve bulgular ışığında yorumlanmıştır.



Şekil 2 : Çekme deneyinin yapıldığı çekme cihazı ve Çekme Deney Numuneleri

### 3.5. Sertlik Deneyleri

Zımparalanmış ve parlatılmış numunelerin yüzeylerinde sertlik ölçme (Vickers hardness - HV) deneyleri yapılmıştır. Deneyde sertlik değerleri 10N yük (20s) uygulanarak değerler elde edilmiş ve grafikler halinde düzenlenmiştir. Dökümü yapılmış olan AM serisi alaşımlarda silindirik numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler zımparalanmış ve sonrasında parlatılmıştır. Deneyler, bölüm laboratuvarındaki dijital sertlik cihazında (Shimadzu HMV-2) yapılmıştır (Şekil 3).

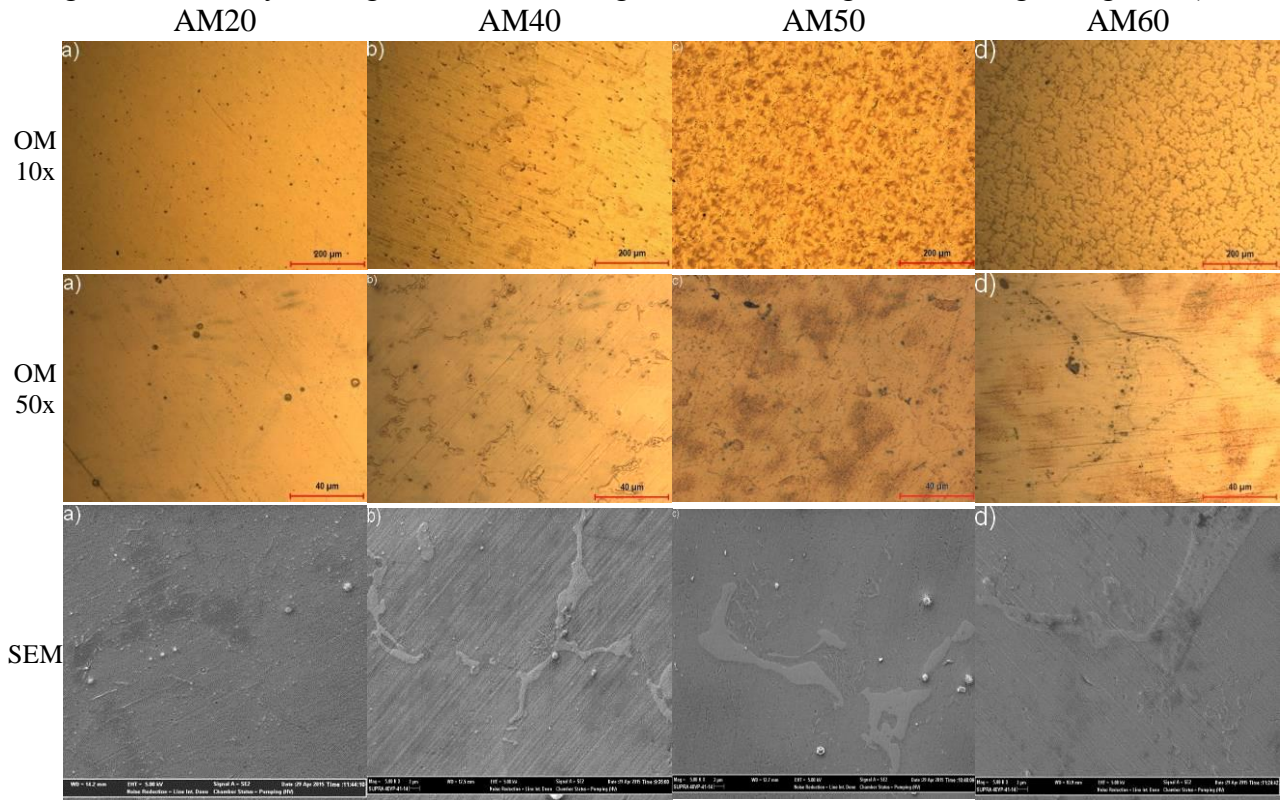


Şekil 3. Mikro sertlik ölçüm cihazı

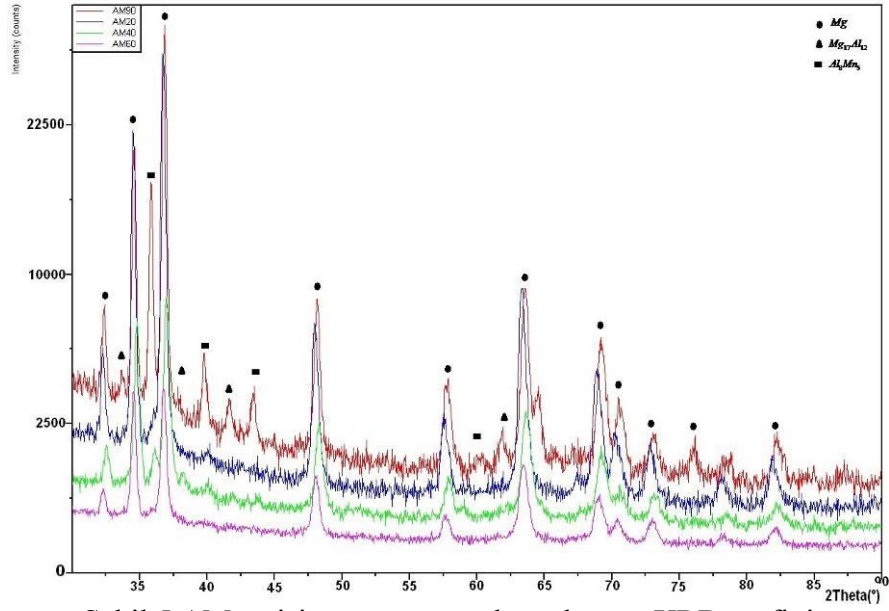
## 4. Deneysel Sonuçları

### 4.1 Mikroyapı İnceleme ve XRD

Deneysel çalışmada, AM serisi magnezyum alaşımlarının işlenebilirlik özellikleri ve mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi ve yorumlanması amacıyla optik mikroskop (OM) ve SEM'de (*scanning electron microscope*) elde edilen mikroyapı görüntüleri aşağıda verilmiştir (Şekil 4). Deneysel çalışmada, alaşım içindeki %Al miktarının artışına bağlı olarak mikroyapı içerisinde intermetalik fazların dağıldığı, belirginleştiği/arttığı görülmüştür. Mikroyapıda bulunan intermetalik fazların alaşım içerisinde bulunan Al% miktarındaki artışa bağlı olarak (ve alaşım içinde bulunan Mn'nin varlığı ile) konum ve biçiminin değiştiği görülmüştür. Mikroyapı incelemeleri bölüm laboratuvarındaki optik mikroskop (Nikon) ve MARAL'da bulunan SEM cihazı kullanılarak mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Proje çalışmasında, AM serisi Magnezyum alaşımlarında (%0.5Mn içeren) Al miktarındaki artışa bağlı olarak mikroyapıda bulunan intermetallik fazların ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_8Mn_5$ ) daha belirgin olarak ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 4). Mikroyapılar optik mikroskopta ve SEM'de incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan alaşımlarda bulunan fazları gösteren XRD grafiği Şekil 5'te görülmektedir. Çalışmadan elde edilen mikroyapı literatür ile uyumludur (Tönshof ve diğ.,2006; Tsuchiya ve diğ.,2012; Zhao ve diğ.,2011; Ma ve diğ.,2009; Wang ve diğ.,2003).



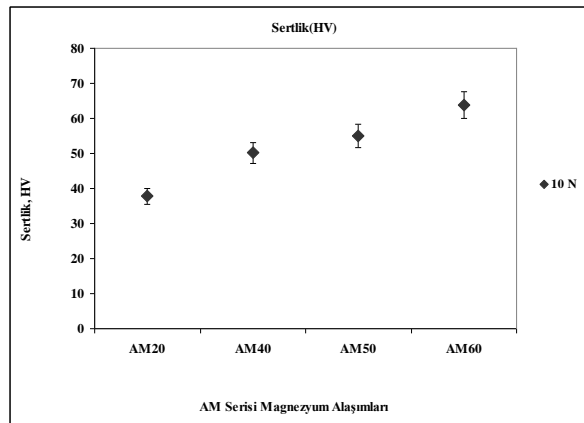
Şekil 4:AM serisi Mikroyapı görüntüleri (OM ve SEM)



Şekil 5.AM serisi magnezyum alaşımlarının XRD grafiği

#### 4.2. Sertlik

Malzemelerin sertlik özelliklerinin işlenebilirlik özelliklerine etki ettiği bilinmektedir. AM serisi alaşımların sertliklerinde Al miktarındaki artışa bağlı olarak sıralı olarak artış gözlenmiştir (Şekil 6). Deneyde kullanılan alaşımların ortalama sertlik değerlerine bakıldığında sertliğin AM20 (2%Al) alaşımından başlayarak AM60'a (6%Al) doğru artış göstererek sıralandığı görülmüştür. Sertlik değerleri en düşük AM20'de (37.6 HV<sub>10</sub>) elde edilirken en yüksek sertlik değeri AM60 alaşımında (65 HV<sub>10</sub>) elde edilmiştir. AM60 alaşımının sertliğinin yüksek olmasının nedeni, mikroyapıda bulunan intermetalik fazların (Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> ve Al<sub>8</sub>Mn<sub>5</sub>) etkisinden kaynaklandığı söylenebilir.

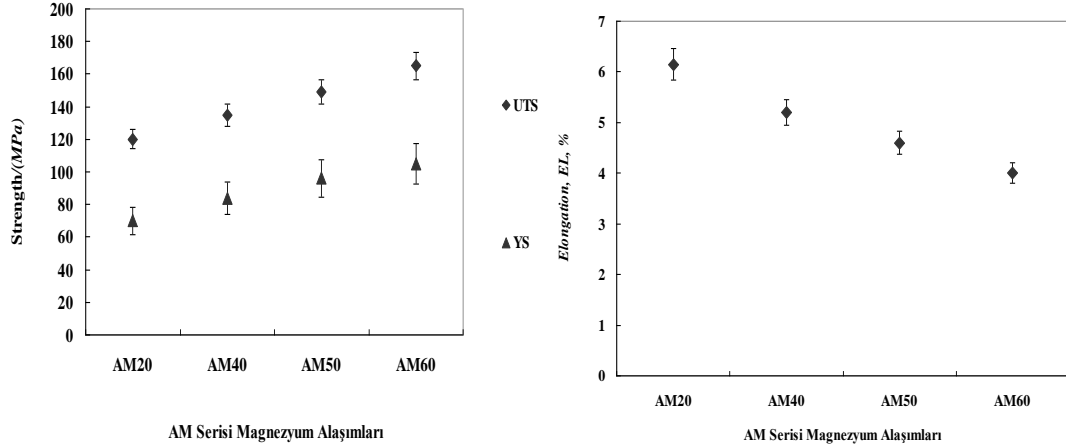


Şekil 6.AM serisi magnezyum alaşımlarının Sertlikleri

#### 4.3 Çekme Deneyleri

Deneylerde kullanılan farklı Al içeriğine sahip AM serisi magnezyum alaşımlarının çekme testlerinden elde edilen verilerden oluşturulan grafikler aşağıda verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada alaşımların çekme testlerinden elde edilen veriler grafikte görülmektedir (Şekil 7a-b). Alaşım içerisinde Al miktarındaki artışa bağlı olarak alaşımın çekme mukavemetlerinin arttığı öte yandan uzama değerinin ise azaldığı gözlenmiştir. Yapılan çekme testlerinde ise en

yüksek kopma(UTS) ve akma(YS) değerleri AM60'da görülmüştür. Öte yandan AM60 alaşımı en düşük %El değerine sahiptir. Grafikte de görüldüğü gibi AM serisi alaşımların kopma ve akma mukavemetlerinde sıralı artış gözlenirken, %EL'de ise sıralı düşüş gözlenmiştir. En yüksek kopma mukavemeti AM60'a da görülürken, en yüksek %EL ise AM20 de gözlenmiştir. Bu durumda alaşımda AM serisi içinde Al miktarındaki artışa bağlı olarak alaşımların mukavemetleri artarken %EL'nin düştüğü söylenebilir.

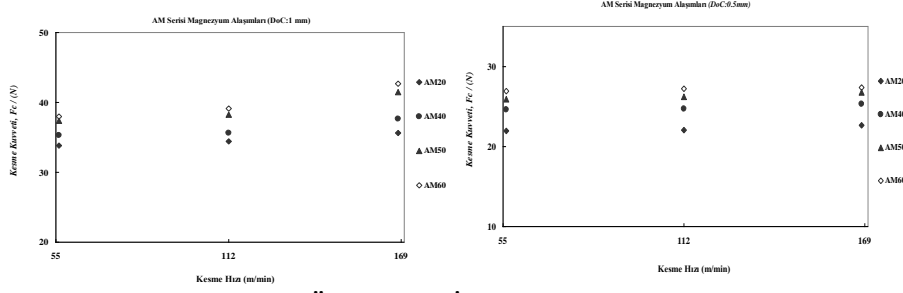


Şekil 7. AM50 ve AM60 Kopma (UTS), Akma (YS) ve %Uzama (%EL) Grafiği

#### 4.4. İşlenebilirlik Deneyleri

Deneyisel çalışmada farklı kesme hızlarında (talaş kesiti sabit tutularak) AM serisi magnezyum alaşımlarının kesme kuvvetlerine ilişkin veriler elde edilmiştir (Şekil 8). AM serisi magnezyum alaşımlarında alaşım içinde bulunan Al% miktarındaki artışa bağlı olarak kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür (Şekil 8). AM serisi içinde kesme kuvvetlerindeki artış AM20 (2%Al) alaşımından başlayarak AM60 (6%Al) alaşımına doğru artarak devam etmiştir. Kesme hızının artmasına bağlı olarak da kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür. Bütün kesme hızlarında (üç kesme hızında) en düşük kesme kuvveti değeri AM20 alaşımında elde edilirken (üç kesme hızında) en yüksek kesme kuvveti değeri AM60 alaşımında elde edilmiştir. En düşük kesme hızında (56m/dk) kesme kuvveti değeri AM20 alaşımında 33.8N ölçülürken AM60 alaşımında 37.4N olarak ölçülmüştür. Kesme hızı 168 m/min çıkarıldığında AM20'de 35.6N, AM60'da ise 42.6N kesme kuvveti ölçülmüştür. AM20'den başlayarak AM60'a doğru kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir (Şekil 8). En büyük kesme kuvveti değeri AM60 alaşımında elde edilmiştir. AM20 ile AM60 alaşımı arasında sadece %Al miktarındaki artış olduğu dikkate alındığında (%0.5Mn sabit olduğundan) intermetalik fazların ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_8Mn_5$ ) kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi görülmektedir.

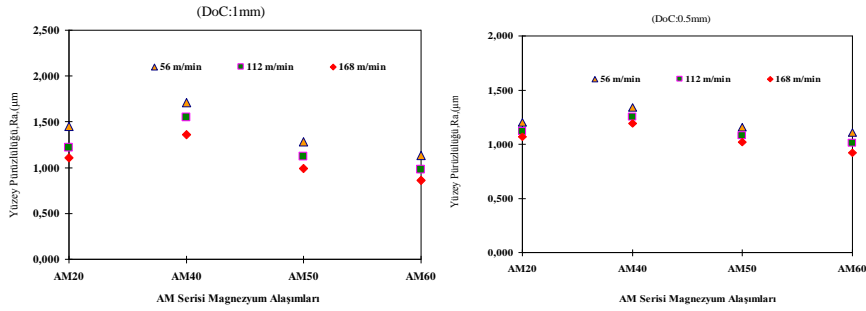
Bu noktadan hareketle, kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki artışın talaş ile kesici uç ara yüzeyinde meydana gelen dislokasyon yığılmasına bağlı olarak meydana geldiği söylenebilir (Tönshoff ve diğ.,2006; Akyüz,2013). Bunun nedeni olarak mikroyapı içinde görülen intermetalik fazların etkisi ile ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_8Mn_5$ ) kesme kuvvetlerinin artmasıdır. Özellikle AM60 alaşımında, en büyük kesme kuvvetinin meydana gelmesi yapıdaki intermetalik fazların kesme kuvvetlerinin artışına yol açtığı (böylece işlenebilirliği düşürdüğü) söylenebilir. Bu kısımda elde edilen veriler literatür ile uyumludur (Tönshoff ve diğ.,2006; Akyüz,2013; Zhao ve diğ.2011; Tomac ve diğ.,2008).



Şekil 8. Kesme Kuvveti-Alaşım Özellikleri İlişkisi (Talaş Derinlikleri 0.5mm ve 1.0mm)

#### 4.5. Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)

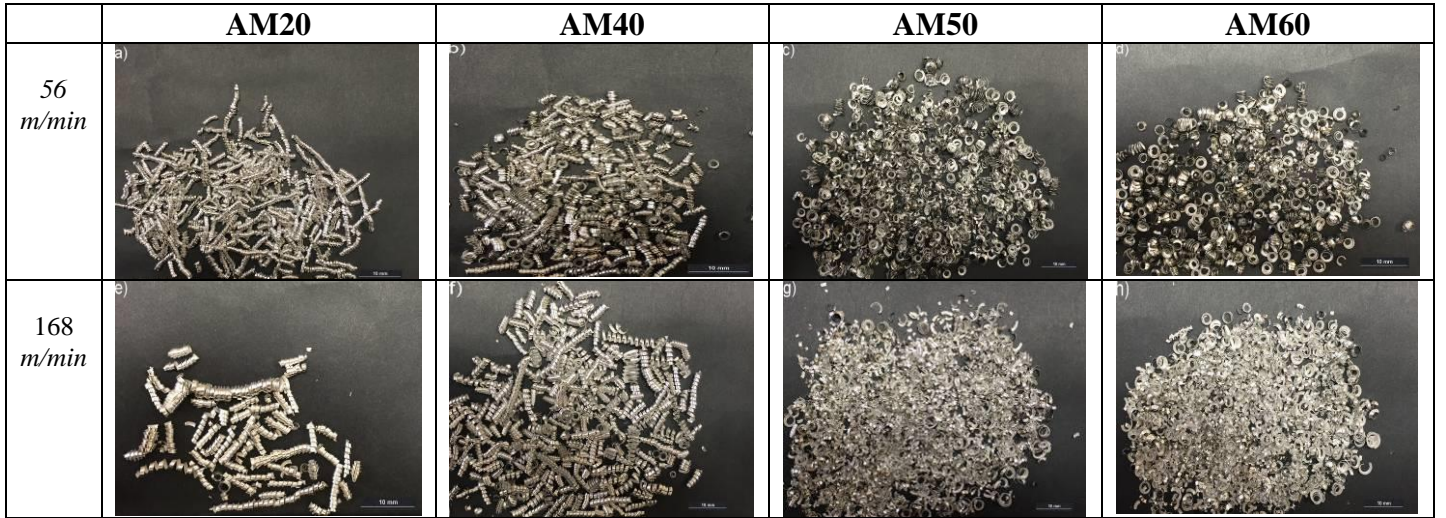
İncelenen numunelerin talaşlı işleme sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme kuvvetlerine ve alaşım özelliklerine bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü işlenebilirlik çalışmalarında önemlidir. AM serisi magnezyum alaşımlarının (sabit talaş kesitinde) işlenmesi ile oluşan yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri Şekil.9'da görülmektedir. Deneyde, alaşım içindeki Al% miktarı ve kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin oluşmasında alaşım içerisindeki Al ve Mn'nin etkisine/varlığına bağlı olarak oluşan ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_8Mn_5$ ) intermetallic fazların etkili olduğu söylenebilir. En düşük yüzey pürüzlülüğü AM60 alaşımında (en kaliteli yüzey) görülmüştür (Şekil 9).



Şekil 9. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri (Talaş Derinliği, DoC:0.5 mm ve 1.0mm)

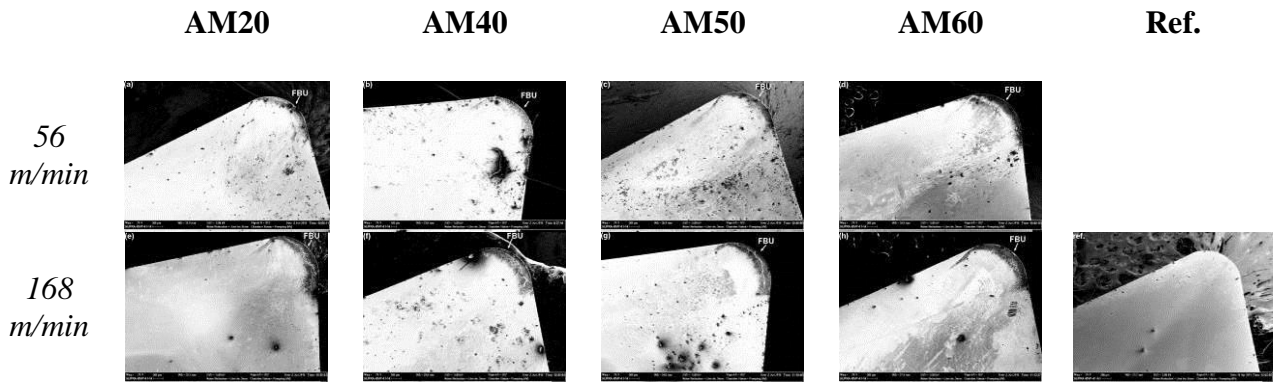
#### 4.6. Talaş ve FBU Oluşumu

Çalışmada kullanılan numunelerden elde edilen talaşların oluşumuna bakıldığında ise (Şekil 10) alaşım içinde Al miktarındaki artışa bağlı olarak (Al ve Mn'nin etkisiyle) oluşan intermetallic fazların talaş boylarının kısa olmasına ve daha gevrek olarak kırılmasına neden olmaktadır. Talaş görüntüleri incelendiğinde AM60 alaşımında oluşan talaşların diğer alaşımlara ait talaşlarla karşılaştırıldığında talaşların daha küçük boylarda ve daha kıvrımlı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak intermetallic fazların ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_8Mn_5$ ) daha sert ve kırılğan olmasının ve alaşımların sertlik artışının bir sonucu olduğu söylenebilir. Bu kısımda elde edilen veriler literatür ile uyumludur (Tönshoff ve diğ.,2006; Akyüz,2013; Zhao ve diğ.,2011; Tomac ve diğ.,2008; Ding ve diğ.,2014).



Şekil 10. Talaş oluşumu oluşumu ( $V_c: 168 \text{ m/min}$ ,  $DoC: 1 \text{ mm}$ ,  $f: 0.10 \text{ mm/rev}$ ).

AM serisi magnezyum alaşımlarının işlenmesiyle kesici uç yüzeyinde meydana gelen aşınmalar ve FBU oluşumu Şekil 11’de görülmektedir. Deneyde kullanılan kesici uç yüzeyleri incelendiğinde, deney numunelerinin işlenmesi sırasında iş parçası ile kesici yüzeyi arasında oluşan (dry adhesion) kuru sürtünmeye bağlı olarak Flank Build Up (FBU) oluştuğu ve kesici uçların aşındığı söylenebilir. Bu aşınmanın AM60 alaşımına ait kesici uça daha derin olduğu görülmüştür. Alaşım içinde oluşan/yer alan ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_8Mn_5$ ) intermetalik fazların kesme kuvvetlerinin artmasında etkili olduğu buna göre AM60’in yüzeyinin daha çok aşındığı görülmektedir (Şekil 11). Kesici uç ile numune yüzeyi temas noktası arasında intermetallic fazların etkisine bağlı olarak kesici yüzeyinde FBU oluşumunun artması kesme kuvvetlerinin de artmasına neden olmaktadır. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak da kesici yüzeyinde meydana gelen sürtünme ve sıcaklık artışı ile FBU oluşumunun arttığı ve böylece kesme kuvvetlerini de arttığı söylenebilir. Buradan hareketle, AM60 alaşımı içinde Al ve Mn' nin etkisiyle/varlığı ile oluşan ve daha belirgin olarak görülen intermetalik fazların daha etkin olduğu (ve daha sert yapıda olduğu) ve bunun kesiciyi daha çok aşındırdığı söylenebilir (AM20' e göre).



Şekil 11. Kesici Takım Ucu FBU oluşumu (SEM) görüntüleri ( $V_c: 168 \text{ m/min}$ ,  $DoC: 1 \text{ mm}$ ,  $f: 0.10 \text{ mm/rev}$ ).

## 5.Sonuç:

Bu proje kapsamında; Literatür incelendiğinde magnezyum ve magnezyum alaşımlarının işlenmesinde karşılaşılan önemli sorunlar şöyle sıralanabilir:

- Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının en önemli olumsuz özelliklerinden birisi talaşlı işleme sırasında yanma tehlikesinin olmasıdır.
- Kuru işlemlerde, kritik kesme hızları aşıldığında kesici ve işparçası arasında sürtünmeden kaynaklanan yüksek sıcaklığın oluşması,
- Su karışımı işlemlerde, magnezyum ve magnezyum alaşımlarının işlenmesi ile hidrojenin birikmesi sonucu yanma ve insan sağlığına tehlikeli hale gelebilir. Islak işleme ile yüksek kesme hızlarında yanma tehlikesi vardır.
- Yumuşak matrislerde sert parçacıkların var olması ve yeterince kesme sıcaklığı ve iş parçası malzemesi ile kesici arasında bir temasın olması talaş yığılmasının(FBU) başlamasına neden olmaktadır.
- Kesicinin elmasla kaplanması, talaş yığılmasının azalmasına neden olabilir. Tornalamada yüzey oluşumu yanı sıra kesme ve itme kuvvetleri üzerinde farklı talaş açılarının etkileri, talaş yığılmasını etkiler.
- Yanmanın biçimi, magnezyum alaşımlarının bileşimi, kesme hızı ve derinliğine bağlı olarak değişmektedir.

Bu proje kapsamında yapılan deneysel çalışmalardan şu sonuçlar elde edilmiştir;

- AM serisi Mg alaşımlarında alaşım içinde bulunan Al% miktarındaki artış ile birlikte alaşımların sertliğinin (HV) ve mukavemetinin arttığı (UTS,YS) görülmüştür. Öte yandan alaşımların EL% uzaması düşmüştür. Alaşımların sertliği ve mukavemeti sırasıyla AM20 den başlayarak AM60'a doğru artarak sıralanmıştır.
- Al miktarındaki artışa (ve Mn'nin varlığına) bağlı olarak ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_8Mn_5$ ) intermetalik fazların mikroyapı içerisindeki biçimi/şekli değişmektedir. Mikroyapı içerisindeki intermetalik fazların konumu ve biçimi sertlik ve mukavemet özelliklerini artırırken işlenebilirliği düşürmüştür.
- AM serisi magnezyum alaşımlarında mikroyapıda görülen ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_8Mn_5$ ) intermetalik fazların kesme kuvvetleri üzerinde etkili olduğu ve bunun sonucunda işlenebilirliğin değiştiği gözlenmiştir. İntermetallic fazların kesme kuvvetlerini artırdığı (işlenebilirliğin düştüğü) görülmüştür. Alaşımların işlenebilirliği ise AM20 den AM60'e doğru azalmıştır. AM60 (9% Al) alaşımının mikroyapısında görülen intermetalik fazların etkisiyle en yüksek sertlik ve mukavemete sahip olduğu öte yandan ise işlenebilirliğinin en düşük olduğu belirlenmiştir.
- Talaşların oluşmasında ve kırılmasında intermetallic fazların etkili olduğu görülmüştür. Daha yüksek sertlikteki AM60 alaşımında (intermetallic fazların etkisiyle) talaşların daha kısa boylarda ve kıvrımlı olarak, gevrek kırılma ile oluştuğu görülmüştür.
- İntermetalik fazların kesici takım ucunda FBU oluşumunu artırdığı görülmüştür. FBU oluşumuna bağlı olarak kesme kuvvetlerinin arttığı (işlenebilirliğin düştüğü) ve kesici ucunda artış olduğu söylenebilir.
- Al miktarındaki artışa (ve Mn'nin varlığına) ve kesme hızının artmasına bağlı olarak alaşımların yüzey kalitesi artmıştır (Ra düşmüştür).

## 6. Kaynaklar

1. Akyüz, B.: Comparison of the machinability and wear properties of magnesium alloys, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 75 Issue 9-12, p1735-1742. Dec 2014, DOI 10.1007/s00170-014-6256-y. ISSN:0268-3768.

2. Akyüz, B.: Influence of Al content on machinability of AZ series Mg alloys, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 23, Issue 8, p.2243-2249, August 2013. DOI:10.1016/S1003-6326(13)62724-7. ISSN:1003-6326.
3. Arai, M., Sato, S., Ogawa, M. ve Shikata, H.I. : Chip Control in Finish Cutting of Magnesium Alloy, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 62, 341–344, (1996).
4. Black, J.T. and Kohser, R.A.: Materials&Processes in Manufacturing (10<sup>th</sup> Ed.), John Wiley&Sons, Inc., 2008.
5. Candan,S. Unal, M., Koc, E., Turen, Y.,Candan, E.: Effects of titanium addition on mechanical and corrosion behaviours of AZ91 magnesium alloy, Journal of Alloys and Compounds 509 (2011) 1958–1963
6. Cizek, L., Hanus, A., Sozanska, M., Tanski, T., Pawlica, L., Structure characteristics of magnesium alloys with admixture of aluminium, silicon and zirconium, Acta Metallurgica Slovaca, 13, 531–538, 2007.
7. Denkana, B., Witte, F., Podolsky, C. ve Lucas, A.: Degradable Implants made of Magnesium Alloys, Proc.5Th. Euspen International Conferance-Montpiller, France, (May 2005).
8. Denkena, B. , Becker, J. C. , Podolsky, C. ve Kuhlmann, A., Safe Machining of Magnesium Parts by Cutting and Burnishing Operations, (Edited by K.U. Kainer), Magnesium Proceedings of the 6th International Conference Magnesium Alloys and Their Applications, Wiley-VCH, Germany, (2004).
9. Ding, H. L., Zhang, Y. W. and Kamado, S. Effect of finish-rolling conditions on mechanical properties and texture characteristics of AM50 alloy sheet. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014, 24(9), 2761-2766.
10. Fang, F.Z., Lee, L.C. ve Liu, X.D., Mean flank temperature measurement in high speed dry cutting of magnesium alloy, Journal of Materials Processing Technology 167 ,119–123, (2005).
11. Friedrich, H.E. ve Mordike, B.L.: Magnesium Technology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2006.
12. Friemuth, T. ve Winkler, J., Machining of Magnesium Workpieces, Advanced Engineering Materials, 1, No. 3, 4 , (1999).
13. Fu, P., Luo, A. A., Jiang, H., Peng, L., Yu, Y., Zhai, C. and Sachdev, A. K. Low-pressure die casting of magnesium alloy AM50: Response to process parameters. journal of materials processing technology, 2008, 205(1), 224-234.
14. Gariboldii, E.: Drilling a magnesium alloy using PVD coated twist drills, Journal of Materials Processing Technology 134, p.287-295, (2003).
15. Groover, M.P., Principles of Modern Manufacturing, Fourth Edition, SI Version, John Wiley & Sons, Inc.,p.568-569, (2010).
16. Grover, M.P.: Principles of Modern Manufacturing (4<sup>th</sup> Ed.), John Wiley & Sons, Inc., 2010.
17. Grzesik,W.: Advanced Machining Processes of Metallic Materials, Elsevier, UK., 2008.
18. Guo, Y.B. ve Salahshoor, M., Process mechanics and surface integrity by high-speed

- dry milling of biodegradable magnesium–calcium implant alloys, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 59, 151–154, (2010).
19. Hanko, G., Lochbichler, C., Riederer, W. ve Macher, G., Techniques for Recycling of Magnesium Scrap, (Edited by K.U. Kainer) , *Magnesium Proceedings of the 6th International Conference Magnesium Alloys and Their Applications*, Wiley-VCH, Germany, (2004).
  20. Hou, J., Zhou, W. ve Zhao, N., Methods for Prevention of Ignition during Machining of Magnesium Alloys, *Key Engineering Materials Vols. 447-448*, pp 150-154, (2010).
  21. Hu, H., Zhou, M., Sun, Z., and Li, N. Tensile behaviour and fracture characteristics of die cast magnesium alloy AM50. *Journal of materials processing technology*, 2008, 201(1), 364-368.
  22. Jönsson, M. ve Persson, D., The influence of the microstructure on the atmospheric corrosion behavior of magnesium alloys AZ91D and AM50, *Swerea KIMAB, Drottning Kristinas väg 48, SE-104 05 Stockholm, Sweden*, (2010).
  23. Kalpakjian, S. and Schmid, S.R.: *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice Hall, 2010.
  24. Kielbus, A., Sozańska, M., Cizek, L.: *Microstructural Characterisation of AZ91 Magnesium Alloy*, *Magnesium Proceedings of the 6th International Conference Magnesium Alloys and Their Applications*, (Edited by K.U. Kainer), *Magnesium Alloys and Their Applications*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2004.
  25. King, J. F.: *Development of Practical High Temperature Magnesium Casting Alloys, Magnesium Alloys and their Applications*. (Edited by B.L.Mordike and K. U. Kainer), WILEY-VCH, Weinheim, Germany, p.14-22, (2000).
  26. King, J.F. *Technology of Magnesium and Magnesium Alloys*, *Magnesium Technology* (Edited by H.E. Friedrich and B.L.Mordike) Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, (2006).
  27. Knight, W. A. and Boothroyd, G. *Fundamentals of metal machining and machine tools* (Vol. 198). CRC Press, 2005.
  28. Koç, E., *Alaşım Elementlerinin Magnezyum Döküm Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*. K.Ü. Fen Bilimleri Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi Karabük, 2008.
  29. Lin, P., Zhou, H., Sun, N., Li, W., Wang, C., Wang, M., Guo, Q. ve Li, W., Influence of cerium addition on the resistance to oxidation of AM50 alloy prepared by rapid solidification, *Corrosion Science* 52, 416–421, (2010).
  30. Lin, S. Y., Yu, S. H. ve Wu, M. L., Effect of Different Coating Materials on Cutting Performance in High-Speed Machining of Mold Steels, *Key Engineering Materials Vols. 364-366*, pp 1026-1031, (2008).
  31. Liu, K., Li, X.P. and Liang, S.Y. The mechanism of ductile chip formation in cutting of brittle materials, *Int J Adv. Manuf. Technology* 33, (2007), 875-884.
  32. Ma, Y., Zhang, J., and Yang, M. Research on microstructure and alloy phases of AM50 magnesium alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 470(1), 515-521. (2009).

33. Mehta, D.S., Masood, S.H. and Song, W.Q. Investigation of wear properties of magnesium and aluminum alloys for automotive applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156, (2004), 1526-1531.
34. Mordike, B. L. ve Ebert, T., Magnesium – applications – potential, *Journal of Material Science Engineering A* 302, pp. 37-45, (2001).
35. Ozsváth, P., Szmejkál, A. ve Takács, J., Dry milling of magnesium based hybrid Materials, *Transportation Engineering*. Vol. 36, p. 73, (2008).
36. Ruzi, M. H., Norhamidi, M., Abu Bakar, S., Khairur, R.J., Nor Hafiez, M.N., Sufizar, A. ve Mohd Halim Murtadhadi, I.I., A Review Of Workability Of Wrought Magnesium Alloys, *Advanced Manufacturing Research Group'09 Seminar 3*, Advanced Manufacturing Research Group, (2009).
37. Sarennah, J.P., “The Bolting of Magnesium Components in Car Engines”, Master, University of Cambridge, Cambridge, 6-10 (2001).
38. Stephenson, D. A. and Agapiou, J. S. *Metal cutting theory and practice*. CRC press. 2016.
39. Tikal, F., Schmier, M. ve Vollmer, C., High-speed-drilling in AZ91 D without Lubri-coolants, (Edited by Mordike and Kainer), *Magnesium Alloys and their Applications*, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, (2000).
40. Tomac, N., Tønnesen, K. ve Mikac, T., Study of Influence of Aluminum Content on Machinability of Magnesium Alloys, *Strojarsvo* 50 (6) 363 – 367, (2008).
41. Tönshoff, H. K., Denkena, B., Winkler, J. ve Podolsky, C., *Machining, Magnesium Technology, Metallurgy, Design Data, Applications*, (Ed. H. E. Friedrich ve B. L. Mordike), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, p.398, (2006).
42. Tönshoff, H.K. ve Winkler, J., The Influence of Tool Cutting in Machining of Magnesium, *Surface and coating Technology*, 94-95, p.610-616, (1997).
43. Tönshoff, H.K., Friemuth, T., Winkler, J., Podolsky, C., Improving the Characteristics of Magnesium Workpieces by Burnishing Operations, *Magnesium Alloys and their Applications*, (Edited by K. U. Kainer) WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, p.406, (2006b)
44. Tsuchiya, T., Watanabe, K., Matsuda, K., Kawabata, T., Sakakibara, K., Yamaguchi, T., Saikawa, S., Ikeno, S. Effect of Al and Mn Contents on Microstructure in AM-Series Magnesium Alloys. *Advanced Materials Research*, Vol. 409 (2012), pp 379-382.
45. Ünal, M., *Magnezyum Alaşımlarının Döküm Özelliklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
46. Wang, R. M., Eliezer, A. and Gutman, E. M. An investigation on the microstructure of an AM50 magnesium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 2003, 355(1), 201-207.
47. Weinert, K. ve Lange, M., *Machining Of magnesium matrix Composites*, *Advanced Engineering Materials*, 3, No. 12, (2001).
48. Zhao, X.L. , Tang, Y., Deng, W.J. and Zhang, F.Y. Effect of Tool Flank Wear on the Orthogonal Cutting Process. *Key Engineering Materials*, Vol. 329; (2007), 705-710.