



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

**MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Ahmet KALA
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Birol AKYÜZ

BİLECİK, 2014

Ref. No: 10044379



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

**MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Ahmet KALA
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Birol AKYÜZ

BİLECİK, 2014



BİLECİK SEYH EDEBALI UNIVERSITY
Graduate School Of Sciences
Department of Mechanical and Manufacturing Engineering

**AN INVESTIGATION OF MACHINABILITY OF
MAGNESIUM ALLOYS**

Ahmet KALA

Master's Thesis

Thesis Advisor
Assist. Prof. Dr. Birol AKYÜZ

BİLECİK, 2014

 BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU
--	--

Bilecik Şeyh Edebâli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02/06/2014 tarih ve 24-1 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17/06/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ahmet KALA' nın "Magnezyum Alaşımlarının İşlenebilirliğinin İncelenmesi" başlıklı tez çalışması Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Birol AKYÜZ



ÜYE : Prof. Dr. Şennur CANDAN



ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ



ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../.....tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Magnezyum alaşımlarının işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmaların oldukça az ve yetersiz olması nedeniyle tez çalışmamı bu yönde ilerletmem konusunda bana yön veren ve karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Birol AKYÜZ 'e en içten minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmasında, değerli bilgilerini paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen değerli öğretim üyeleri Prof. Dr. Şennur CANDAN ve Doç. Dr. Harun MİNDİVAN 'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman yanımda olan motivasyonumu arttıran ve hedefe odaklanmamı sağlayan değerli daire başkanlarım Öğrenci İşleri Daire Başkanı Sezer KUYUCU ve Bilgi İşlem Daire Başkanı Murat FİDAN 'a ve Sosyal Bilimler Enstitü Sekreteri Akif TETİK 'e sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatıma renk katan, beni sabırla destekleyen ve bu günlerimi benimle paylaşan çok özel üç kişi eşim Züleyha, oğlum Eymen ve kızım Erva 'ya çok teşekkür ederim. Ayrıca beni yetiştiren ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan anne ve babama sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ahmet KALA
BİLECİK, 2014

ÖZET

Bu çalışmada, AS serisi magnezyum (Mg) (AS11, AS21, AS41, AS61, AS91) alaşımlarında Al içeriğinin işlenebilirliğine etkisi araştırılmıştır. Mikroyapısal karakterizasyon mikroskop incelemeleri ve x-ışını difraksiyonu (XRD) analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Mekanik özellik karakterizasyonu, sertlik ve çekme testleriyle yapılmıştır. Alaşımların işlenebilirliğinde farklı işleme parametreleri seçilerek işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir. İşlenen yüzeylerin yüzey pürüzlülük ve kesme kuvveti değerleri, alaşımların işlenmesi ile oluşan talaşlar ve kesici uç yüzeylerinde meydana gelen aşınma ve talaş yığılması incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Alaşımların mikroskobik incelemeleri, mekanik test sonuçları ve işlenebilirlik verileri literatür ışığında değerlendirilmiştir.

Sonuçlarda, AS serisi magnezyum alaşımlarının mikroyapısında gözlemlenen intermetalik fazların miktarı alaşım içerisinde bulunan %Al miktarındaki artışa bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Al miktarındaki artış ile mikroyapıda bulunan intermetalik fazların alaşımların işlenebilirliği ve mekanik özellikleri üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir.

Al ilavesi ile alaşımların akma ve kopma mukavemetinin ve sertliği artarken, % uzama azalmaktadır. Hem Al miktarındaki artış hem de kesme hızındaki artışa bağlı olarak alaşımların işlenebilirliği azalmaktadır. Ayrıca, bütün alaşımlarda kesme hızı arttıkça kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü artmıştır.

Anahtar Kelimeler

İşlenebilirlik, Kesme Kuvveti, Mg;AS Serisi Alaşımlar, Yüzey Pürüzlülüğü.

ABSTRACT

In this study, influence of aluminium (Al) content on the machinability of AS series magnesium (Mg) alloys (AS11, AS21, AS41, AS61, AS91) was investigated. Microstructural characterizations were performed by microscopic examination and x-ray diffraction analysis (XRD). Room temperature mechanical properties of the alloys were determined by hardness measurements and tensile tests. Machinability characteristics of the alloy were investigated by selecting different processing parameters. The results of machinability were evaluated by surfaces roughness and cutting force values, chips, wear and flank built-up (FBU) at the tip of the cutting tool during machining. Microscopic examination, mechanical test results and machinability of the alloys are evaluated in the light of the literature data.

In the results, the amount of intermetallic phases observed in the microstructure of AS series Mg alloys increased with an increase of Al content in the alloy. Intermetallic phase in the microstructure with an increase of Al content have an effect on the machinability and mechanical properties of alloys.

Yield and tensile strengths and hardness of the alloy increased by addition of Al, but elongation % decreased with increasing Al content. The machinability of the alloy decreased depending on both the increase in Al content and cutting speed. In addition, at all alloys, cutting force and surface roughness increased with an increase of cutting speed.

Key Words

Machinability, Cutting Force, Mg;AS Series Alloys, Surface Roughness.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ ONAY SAYFASI

TEŞEKKÜR

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. MAGNEZYUM ve MAGNEZYUM ALAŞIMLARI.....	3
2.1 Magnezyumun Tarihçesi	3
2.2 Magnezyumun Saf Haldeki Özellikleri	8
2.3 Magnezyum Üretim Teknolojileri.....	10
2.3.1 Ham Maddeler	10
2.3.2 İndirgeme Metotları	11
2.3.3 Üretim Sıcaklıkları.....	12
2.3.4 Yan Ürünler	12
2.3.5 Başlıca Üretim Yöntemleri	12
2.4 Magnezyumun Kullanım Alanları	14
2.5. Magnezyum Alaşımları	16
2.5.1 Başlıca Alaşım Elementleri	18
2.5.2 Üretim Amaçlı Kullanılan Elementler ve Katışkılar	20
2.5.3 Magnezyum Alaşımlarının Avantaj ve Dezavantajları.....	21
2.5.3 Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	22
2.5.4 Magnezyum Alaşımları ile İmalat Yöntemleri	24

2.6 Magnezyum Alaşımlarının Döküm Yöntemleri	25
2.7 Magnezyum Alaşımlarının Talaşlı İmalatı	26
2.8 Magnezyum Alaşımları ile Plastik Şekillendirme	28
3. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK.....	29
3.1 Talaş Kaldırma Mekaniği	29
3.2 Talaş Kaldırma İşlemini Etkileyen Faktörler	31
3.2.1 Takım Ömrü.....	31
3.2.2 Kesme Hızı	31
3.2.3 Talaş Derinliği, İlerleme Miktarı ve Kesme Hızı	32
3.2.4 Takım Geometrisi	32
3.2.5 Talaş Geometrisi	33
3.2.6 Kesme Kuvveti ve Kesme Gücü	34
3.2.7 Soğutma Sıvısı	34
3.3 Talaş Biçimleri	35
3.3.1 Sürekli Talaş	35
3.3.2 Kesikli Talaş	36
3.3.3 Sıvanmalı Sürekli Talaş	37
3.4 Takım Aşınması	38
3.4.1 Yan Yüzey Yanak Aşınması.....	38
3.4.2 Krater Aşınması	38
3.4.3 Çentik Oluşumu	39
3.4.4 Kesici Takımın Kırılması.....	39
3.4.5 Kesici Takımda Yığılma Ağız Faktörü (Built-up Edge Factor)	40
3.5 İşlenebilirlik.....	40
3.6 İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler	42
3.6.1 Mikroyapının Etkisi	42

3.6.2 Isıl İşlemin Etkisi	42
3.6.3 Alaşım Elementlerinin Etkisi	42
3.6.4 Mekanik Özelliklerin Etkisi	42
3.7 Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü	42
3.7.1 Yüzey Kalitesi	42
3.7.2 Yüzey Kalitesi Elemanları	43
3.7.3 Yüzey Pürüzlülüğü ve Değerlendirilmesi	43
3.7.4 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler	45
3.7.5 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri	45
3.7.6 Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	45
3.7.7 Yüzey Pürüzlülüğünde Kullanılan Standartlar	49
4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	50
5. MATERYAL VE METOT	52
5.1 Malzeme	52
5.2. Deney Malzemelerinin Elde Edilmesi	52
5.3 Deneysel Çalışmalar	53
5.3.1 Mikroyapı	53
5.3.2 Mekanik Deneyler	55
5.3.3 İşlenebilirlik Deneyleri	57
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	61
6.1 Mikroyapı Sonuçları	61
6.2 Mekanik Deney Sonuçları	63
6.2.1 Çekme Deneyi Sonuçları	63
6.2.2 Sertlik Deneyi Sonuçları	64
6.3 İşlenebilirlik Deney Sonuçları	65
6.3.1 Kesme Kuvveti Sonuçları	65

6.3.2 Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	66
6.3.3 Talaş İnceleme Sonuçları.....	67
6.3.3 Kesici Uç İnceleme Sonuçları.....	69
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
7.1 Sonuçlar.....	71
7.2 Öneriler.....	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. 2000-2010 yılları birincil magnezyum üretimi (1.000 Ton).....	7
Çizelge 2.2. Saf magnezyumun (ağ.%99,9) fiziksel özellikleri.....	9
Çizelge 2.3. Saf magnezyumun (ağ.%99,9) mekanik özellikleri.....	9
Çizelge 2.4. Saf magnezyum ve alüminyumun fiziksel özellikleri	10
Çizelge 2.5. Hammaddeler ve özellikleri.....	11
Çizelge 2.6. Deniz suyu ve Ölü Deniz (Dead Sea) suyunun bileşenleri.....	12
Çizelge 2.7. Üretim yöntemlerinin endüstriyel bazda sınıflandırılması	13
Çizelge 2.8. Elektrokimyasal ve termal yöntemlerin karşılaştırılması	13
Çizelge 2.9. ASTM sisteminde magnezyum alaşımlarının, alaşım ve menevişleme gösterimlerinin standart dört bölümü	22
Çizelge 2.10. Alaşım elementleri gösterimi.....	23
Çizelge 2.11. Magnezyum alaşımları için menevişleme gösterimleri (4.kısım).....	23
Çizelge 2.12. Şekillendirmede kullanılan yöntemler ve özellikleri	24
Çizelge 2.13. Magnezyum alaşımları ile döküm yöntemlerinin mukayesesi.	26
Çizelge 2.14. Magnezyumun talaşlı işlem parametrelerinin diğer metallerle karşılaştırılması	27
Çizelge 3.1. <i>Rsm, Ra, Rq Rz, Rt ve Rp</i> için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları.....	49
Çizelge 5.1. AS serisi magnezyum alaşımları ve alaşım kompozisyonu (%).	52
Çizelge 5.2. İşleme parametreleri.	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Northrop XP-56	4
Şekil 2.2. B36 bombardıman uçağı.....	5
Şekil 2.3. Birim hücredeki ana düzlemler ve yönleri.....	8
Şekil 2.4. Otomobil üretiminde Mg alaşımından dökülmüş parçalar.	14
Şekil 2.5. AZ91 alaşımı döküm parçaları a) üst yağ kapağı b) aktarma parçası.....	15
Şekil 2.6. AM alaşımı döküm parçaları a) Hava yastığı kutusu b) direksiyon kilit kutusu c) Yolcu hava yastığı kiliti d) Direksiyon simidi	15
Şekil 2.7. WE43 alaşımından dökülmüş helikopter vites kutusu	16
Şekil 2.8. Li katkılı Mg alaşımı döküm parçaları a) kamera kutusu.....	16
Şekil 3.1. İki boyutlu ortogonal kesme geometrisi	29
Şekil 3.2. Dik kesme modeli	30
Şekil 3.3. Eğik kesme modeli	30
Şekil 3.4. Takım yüzeyleri	33
Şekil 3.5. Talaş geometrisi.....	34
Şekil 3.6. Sürekli talaş	35
Şekil 3.7. Kesikli talaş	36
Şekil 3.8. Sıvanmalı sürekli talaş.....	37
Şekil 3.9. Kesici takımda meydana gelen yan yüzey yanak aşınması	38
Şekil 3.10. Takımda meydana gelen krater aşınması.....	38
Şekil 3.11. Kesici takımda meydana gelen çentik oluşumu.....	39
Şekil 3.12. Kesici takımda meydana gelen kırılmalar	39
Şekil 3.13. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	44
Şekil 3.14. Örneklem uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu.....	46
Şekil 3.15. Ortalama yüzey pürüzlülüğü	46
Şekil 3.16. Profilin karelerinin ortalamasının karekökü	47
Şekil 3.17. R_v , R_p , R_t - R_{max} yüzey pürüzlülük parametreleri	48
Şekil 3.18. Profil ve genlik dağılım eğrisi	48
Şekil 3.19. Profil elemanlarının genişliğinin ortalaması.....	49
Şekil 5.1. Atmosfer kontrollü ergitme ünitesi kesit şekli.	52

Şekil 5.2. Dökümden çıkan deney numuneleri.	53
Şekil 5.3. Mikroyapı ve sertlik numunesi.	54
Şekil 5.4. Metkon marka zımparalama cihazı.	54
Şekil 5.5. NIKON Eclipse LV150 marka optik mikroskop.	54
Şekil 5.6. PANALYTICAL EMPYREAN marka Yüksek Sıcaklık X-Işını Difraktometresi (HT- XRD) cihazı.	55
Şekil 5.7. Çekme deney numunesi (ASTM E 8M-99).	55
Şekil 5.8. SHIMADZU Autograph AG-IC 100 kN marka çekme cihazı.	56
Şekil 5.9. HMV model SHIMADZU marka dijital sertlik cihazı.	56
Şekil 5.10. Dökümden çıkan ve temizlik talaşı alınmış deney numuneleri.	57
Şekil 5.11. CTX Alpha 300 GILDEMEISTER CNC torna işleme merkezi.	58
Şekil 5.12. Taegutec CCGT 120408 FL K10 kesici uç.	58
Şekil 5.13. Talaşlı İşleme Deney Düzeneği Şeması.	59
Şekil 5.14. Talaşlı işleme deney düzeneği.	59
Şekil 5.15. TIME TR-200 portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.	59
Şekil 5.16. ZEISS Supra 40 VP marka SEM cihazı.	60
Şekil 6.1. (a) AS11, (b) AS21, (c) AS41, (d) AS61 ve (e) AS91 Mg alaşımlarının 50X büyük büyültmedeki optik mikroskop görüntüleri.	61
Şekil 6.2. AS serisi magnezyum alaşımları XRD görüntüleri.	62
Şekil 6.3. Çekme ve akma mukavemeti değişim grafiği.	63
Şekil 6.4. % Uzama değişimi grafiği.	64
Şekil 6.5. Sertlik değişim grafiği.	64
Şekil 6.6. Kesme kuvveti grafiği.	66
Şekil 6.7. Yüzey pürüzlülüğü grafiği.	66
Şekil 6.8. Talaş optik mikroskop görüntüleri.	68
Şekil 6.9. (a) AS11, (b) AS21, (c) AS41, (d) AS61 ve (e) AS91 Mg alaşımlarının talaş optik mikroskop görüntüleri ($V_c = 358$ m/dak).	69
Şekil 6.10. a) AS11, (b) AS21, (c) AS41, (d) AS61 ve (e) AS91 Mg alaşımlarının kesici uç optik mikroskop görüntüleri ($V_c = 358$ m/dak).	70

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a :	Kesme derinliği (mm)
f :	Devir başına ilerleme (mm/dev)
F_c :	Esas kesme kuvveti (N)
l_n :	Örnekleme Uzunluğu
n :	Örnekleme Sayısı
R_a :	Yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (μm)
$R_{\max}$:	Maksimum profil yüksekliği (μm)
R_p :	Maksimum tepe yüksekliği (μm)
R_{pm} :	R_p 'nin ortalama değeri (μm)
R_{sm} :	Profil elemanlarının genişliğinin ortalaması (μm)
R_t :	Yüzey pürüzlülüğünün derinliği (μm)
R_q :	Profilin karelerinin ortalamasının karekökü (μm)
R_v :	Maksimum çukur derinliği (μm)
R_z :	Profilin maksimum yüksekliği (μm)
SF6 :	Sülfür hexaflorür
Sm :	Örnekleme uzunluğundaki profil elemanlarının genişliği
t_c :	Kesme işlemi sonucu oluşan talaş kalınlığı
t_0 :	İş parçasından ayrılacak olan talaş kalınlığı
V :	Hız vektörü
V_c :	Kesme hızı (m/dak)
Φ :	Kesme açısı
α :	Talaş açısı
α :	Serbest açısı
γ :	Talaş açısı
β :	Kama açısı

KISALTMALAR

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AISI :	Amerikan demir ve çelik enstitüsü
CNC :	Bilgisayarlı nümerik kontrol
DIN :	Alman standartlar enstitüsü
FBU :	Flank build up (YT) (Yığıntı talaş)
HSP :	Hegzagonal sıkı paket
ISO :	Uluslararası standartlar teşkilâtı
JIS :	Japon endüstri standartları
PCD :	Çok kristalli elmas (polycrystalline diamond)
SEM :	Taramalı elektron mikroskobu
TiN :	Titayum nitrit
TS :	Türk standartları
VW :	Volkswagen
XRD :	X-Işını difraktometresi
YT :	Yığıntı talaş (FBU) (flank build up)

1. GİRİŞ

Magnezyum (Mg), günümüzde uçak, uzay ve otomotiv endüstri başta olmak üzere konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler içinde en hafif olanıdır. Ağırlık olarak Mg, alüminyum (Al)'dan %36, demir (Fe) ve çelikten %78 daha hafiftir (Park vd., 2003). Mg ve Mg alaşımları, düşük yoğunluğa sahip olmalarının yanı sıra, iyi süneklilik, dayanım ve iyi korozyon direncine sahip demir dışı metaldir. Ayrıca, magnezyum mühendislik plastiklerine göre çok daha katı ve çok daha fazla geri dönüşümü mümkün bir malzemedir.

Magnezyum, özellikle Al ve çinko (Zn) başta olmak üzere, toprak alkali metaller ve de eser miktardaki silisyum (Si), itriyum (Y), kalsiyum (Ca), strontiyum (Sr), Ba, antimon (Sb), kalay (Sn), kurşun (Pb) ve bizmut (Bi) gibi elementlerle alaşımlandırma yapılarak, mekanik özellikleri artırılmakta ve ortaya koyduğu performansla kullanım sahası giderek artırılmaktadır.

Ancak, kristal yapısının hegzagonal sıkı paket (HSP) olmasından kaynaklanan şekillenebilirlik ve ergitme sırasında yanma gibi döküm problemleri nedeni ile üzerinde Al kadar çalışmalar yapılamamıştır. Bu olumsuzluklara rağmen ekolojik denge, geri dönüşüm, yakıt tasarrufu vb. konular gündemde olduğundan, son yıllarda Mg kullanımı üzerinde daha fazla yoğunlaşma göze çarpmaktadır. Bu nedenle farklı alaşım özelliklerine sahip magnezyum alaşımları üzerinde son yıllarda yapılan araştırmaların arttığı görülmektedir.

Yapılan literatür araştırmalarında magnezyum alaşımları üzerine yapılan çalışmaların genellikle mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, sertlik, aşınma ve sürünme özelliklerinin incelenmesi gibi konular üzerine yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Magnezyum alaşımlarının işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalar oldukça az ve yetersizdir. İşlenebilirlik üzerine yapılan çalışmalarda ise genellikle talaş oluşumu, kesici malzemesi ve özellikleri ile yığıntı talaş (FBU) (Flank Build Up) oluşumu ve yanma ilişkisi üzerinde durulmuştur.

AS serisi magnezyum alaşımlarında (AS11, AS21, AS41, AS61 ve AS91); farklı oranlarda %Al (%1'den başlayarak %9'a kadar Al) içeren magnezyum alaşımlarında alaşım bileşenlerinin mekanik özelliklere ve işlenebilirliğe etkisi sistematik olarak incelenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada, AS serisi magnezyum alaşımlarının mikroyapı

ve mekanik özellikleri araştırılarak farklı oranlarda Al eklentisinin mekanik özelliklere ve işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu tezin amacı doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmalar toplam yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü olup araştırmanın amacı, yöntemi ve kapsamı belirtilmiştir. İkinci bölümde, magnezyum ve magnezyum alaşımları tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde, talaş kaldırma esasları ve işlenebilirlik hakkında genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, magnezyum alaşımlarının işlenmesi ve işlenebilirlik ile ilgili yapılan deneysel ve teorik çalışmaların sunulduğu literatür araştırmaları sunulmuştur. Beşinci bölümde, çalışma kapsamında kullanılan cihaz ve ekipmanlar ile deney tasarımı ve analiz yönteminin anlatıldığı materyal ve metot kısmı yer almaktadır. Altıncı bölümde, deneysel verilerin tablo ve grafikler halinde sunulup yorumlandığı ve istatistiksel analiz sonuçlarının değerlendirildiği deneysel sonuçlar ve değerlendirme kısmıdır. Son bölüm olan yedinci bölümde ise tez çalışmasının sonuçları ve bundan sonra yapılabilecek araştırmalar için öneriler bulunmaktadır.

2. MAGNEZYUM ve MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

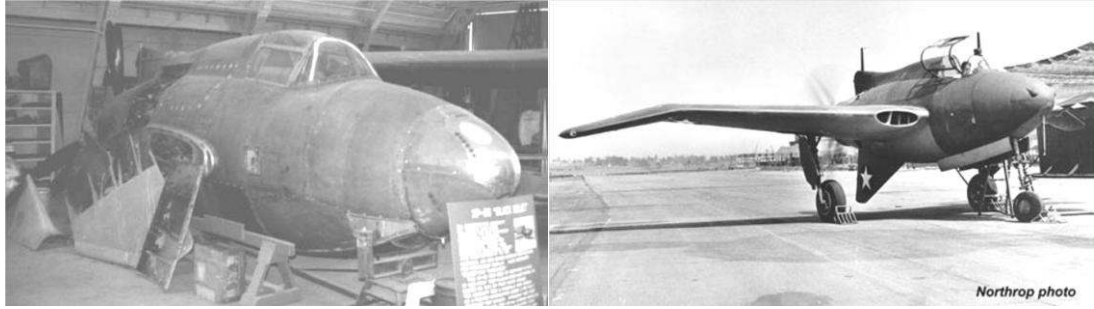
2.1 Magnezyumun Tarihçesi

Magnezyum elementinin tarihçesi 1755 yılında, Joseph Black isimli İskoç kimyagerin, magnezyanın (MgO) içinde, yeni bir element olan magnezyumu içerdiğini keşfetmesiyle başladı. Fakat Black, bu yeni elementi magnezyadan ayırmayı başaramamıştır. Magnezya daha önceden bulunmuş ve beyaz kaya (white stone) veya beyaz toprak (white earth) olarak adlandırılmıştır. Magnezya adı, ilk bulunduğu kuzey Yunanistan'daki Thesally bölgesinde Eski Romalılar tarafından verilmiştir. Magnezya bu bölgeden çıkarılarak Akdeniz ve çevresindeki ülkelere dağıtılmıştı. Gerçekte, İngiliz bilim adamı ve kimyager Sir Humphrey Davy, 1808 yılında metali ilk ayırtıran kişi olduğu için, magnezyumun kâşifi olarak kabul edilmiştir. Davy, galvanik bir pil ve bir cıva katot kullanarak magnezyum sülfatı elektroliz yöntemiyle bileşenlerine ayırmıştır (Friedrich ve Mordike, 2006).

Yirmi yıl sonra, Fransız Antoine Alexandre Brutun Bussy, dehidre edilmiş (kurutulmuş) magnezyum klorürü, yüksek sıcaklıklarda potasyumla eriterek metali ayırtırmayı başarmıştır. Daha sonra, ünlü İngiliz bilim adamı ve Sir Humphrey' in eski asistanı Michael Faraday, magnezyum klorürü elektroliz yöntemiyle indirgeyerek, 1833 yılında saf metalik magnezyumu elde etti. Bir Alman olan Robert Wilhelm Bunsen ise, 1841'de karbon-çinko elektrik pilini geliştirdikten sonra, 1852 'de erimiş ve kurutulmuş magnezyum klorürden metalik magnezyumu üretmeyi başardı.

Bazı Avrupa ülkelerinde küçük girişimler olmasına rağmen, magnezyum kalıcı ilgiyi sadece Almanya'da buldu. Almanya 1868 yılında, dünyadaki tek magnezyum üreticisi konumundaydı. Magnezyum; toz ve şerit halinde el fenerlerinde, piroteknik amaçlı ve de alüminyum üretiminde indirgeyici olarak kullanılıyordu. İkinci Dünya Savaşı sonlarına kadar magnezyum üretimi Avrupa, Amerika, Japonya ve Avustralya' da kurulan birçok fabrika tarafından istikrarlı bir şekilde gerçekleştiriliyordu. 1944 yılı itibariyle dünya genelinde 13 ülkedeki 41 fabrikanın üretim kapasitesi yaklaşık 410.000 ton civarındaydı. Aynı yıl bu fabrikalar toplam 210.000 ton magnezyum üretimi gerçekleştirmişti.

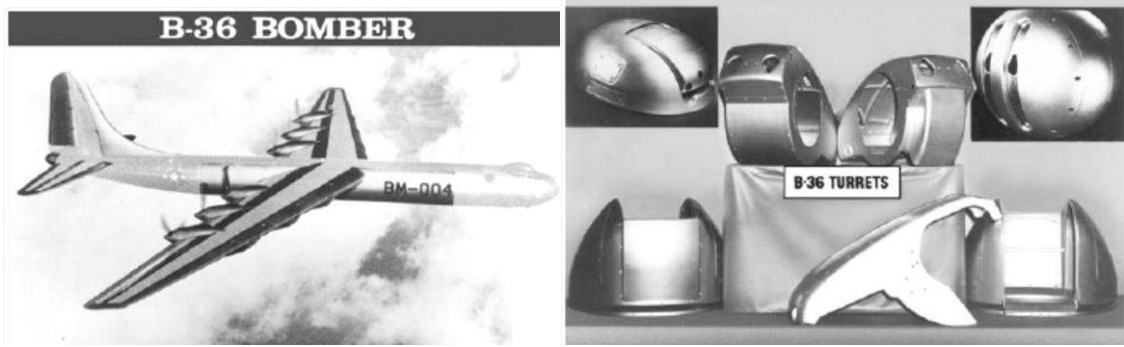
İlgi çekici şekilde 1940 yılında, tamamına yakını magnezyum alaşımından yapılmış ilk uçak olan Northrop XP-56 üretildi (Şekil 2.1.). Aynı yıllarda üretilen B36 bombardıman uçağı da yaklaşık 8,6 ton birçok magnezyum alaşımı parça ihtiva etmekteydi (Şekil 2.2.). Savaş yılları magnezyum endüstrisi için oldukça parlak geçmekteydi. Ama sona yaklaştıkça durum tersine dönecekti.



Şekil 2.1. Northrop XP-56 (Friedrich ve Mordike, 2006).

Savaş sonlarına doğru, Amerika'daki Dow Şirketi yıllık 18.000 ton üretim yapan Michigan'daki Midland ana tesisini ekonomik sebeplerden dolayı kapatarak Texxas Freeport fabrikasıyla üretime devam etme kararı aldı. Bununla beraber magnezyum talebindeki düşüş, 1944'de devlete ait beş fabrikanın ve Kasım 1945'de ise bütün kamu fabrikalarının kapanmasına neden oldu. 1945'de Kaiser Firması da Permanente'deki fabrikasını kapattıktan sonra, 1946'da Amerika'da magnezyum üretimi yapan tek fabrika Dow's Freeport tesisleriydi.

İkinci Dünya Savaşından sonra magnezyum üretimi hızlı bir şekilde düşüşe geçti. Almanya magnezyum üretimi konusunda yasaklanmıştı. Almanların magnezyum üretim fabrikalarının çoğu, Almanya (Aken) ve Avusturya'daki (Moosbierbaum) Sovyet işgal bölgesi sınırları içinde kalmıştı. Buralardaki magnezyum fabrikaları sökülerek Sovyet Rusya'ya götürüldü. Japonya'da da üretim benzer şekilde, 1946 sonlarında hammadde yokluğundan durma noktasına gelmişti (ASM International Handbook Committee, 1999).



Şekil 2.2. B36 bombardıman uçağı (Friedrich ve Mordike, 2006).

Magnezyum endüstrisi, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra birçok ürünü geliştirmek için denemelerde bulunmasına rağmen çoğunda başarısız oldu. Magnezyum için en parlak yıllar Ferdinand Porsche tarafından tasarlanan Volkswagen Beetle otomobillerinin üretimiyle başladı. VW Beetle'da magnezyum alaşımlarından basınçlı döküm yöntemiyle üretilmiş birçok parça bulunuyordu. Karter ve şanzıman muhafaza kutusu gibi parçalar, her arabada 20 kg'lık magnezyum alaşımı kullanılmasına olanak sağladı. Volkswagen, savaş sonrası yasaklı Almanya'da 1949'da magnezyum kullanım izni alan ilk firma oldu. Magnezyum alaşımlarını Norveç'deki Norsk Hydro ve Texas'daki Dow firmalarından karşılamaktaydı. Volkswagen 1974 yılında, 50.000 tonluk magnezyum dökümü gerçekleştirmişti.

Savaş sırasında geliştirilen ve kullanılan birçok ürünün sivil hayata adapte edilmesi çabuk olmadı. Uçak tekerlekleri, döküm motor parçaları, nakliye otobüsleri gibi bazı kullanımlar modifiye edilse de, birçok deneme başarısızlıkla sonuçlandı ve çok sayıda fabrika kapandı. Bunun üzerine sivil hayatta magnezyum endüstrisine yardımcı olmak için, çeşitli dernekler ve birlikler kuruldu.

İngiltere'de The Magnesium Industry Council (MIC) ve Amerika'da The Magnesium Association (MA) yeni kullanım alanları bulmak için girişimlerde bulundu. Aşırı üretim kapasiteleri olmasına karşılık, savaş yıllarında olduğu kadar kullanım alanı bulamayan magnezyum alaşımları, magnezyum üreticilerini sıkıntıya sokmaktaydı. Ama kurulan dernekler sayesinde magnezyum çeşitli alanlarda yaygınlaşmaya başlamıştı. En başarılılarından biri sıcak sulu ısıtma sistemlerinde kullanılan ve korozyondan koruma sağlayan, ekstrüzyon ürünü magnezyum alaşımlarıydı. Bunun dışında el arabası, elektrikli testere, raf sistemleri ve koruyucu kutular (dockboards) kazanç sağlanan işlerdi (Friedrich ve Mordike, 2006).

Dow firması sonunda Madison, Illionis’de dövme ürünler için bir tesis arsası satın aldı ve dünyanın en büyük ekstrüzyon presini (14.000 ton) kiraladı. Alman endüstrisi için üretilen bu pres savaş sebebiyle tamamlanamamıştı. Dow 1950’lerde, uçak ve roket endüstrisi için çok büyük miktarlarda magnezyum levha (sac) üretti. Magnezyum levhalar farklı sektörlerde de kullanım imkânı buldu. Örneğin Samsonite Bavul şirketi, imalatında derin çekilmiş saclardan faydalandı. Bavulların çerçeve kısımları ise ekstrüze edilmiş magnezyumdan imal ediliyordu. Günümüzde firma, çerçevelerde halen ekstrüzyon ürünü magnezyum alaşımları kullanmaktadır (ASM International Handbook Committee, 1999).

Magnezyum levhalar Vanguard, Jupiter, Titan 1, Polaris, Thorable Star ve Atlas Agena isimli birçok rokette kullanıldı. Uluslararası kamyon şasisi ve gövdesi üreten Metro-Lite firması, kamyonların taban ve tavan kısımlarında, 4 mm kalınlığında magnezyum profiller kullandı. Kore Savaşının başlamasıyla, magnezyum levhalara olan talep hızla arttı. Uçak ve roketlerden sonra konteyner sistemleri de Mg alaşımlarının hafifliğinden faydalanmaya başlamıştı. Bu konudaki öncü firma ise, 1952 yılında Detroit’ de kurulan Brooks and Perkins’di (B&P).

Magnezyumun, alüminyumu güçlendirici bir alaşım elemanı olarak kullanılması, içecek sektöründe alüminyum kullanımını çok hızlı bir şekilde artırdı. Meşrubat kutularının (teneke kutular) gövdelerinin yapıldığı 3004 alaşımı %1,2 ve kapak kısımlarının yapıldığı 5182 alaşımı %4 oranında Mg içermektedir. Ayrıca otomobil gövde sacları %1 oranında Mg içerir. Magnezyumun bu şekilde alaşım elemanı olarak kullanımı, kendisinden daha çok alüminyum endüstrisinin gelişimini sağlamıştır. Buna karşılık, çeliğin desülfirizasyonunda magnezyum toz ve granüllerin kullanılması, az da olsa magnezyum endüstrisine fayda sağladı.

Magnezyumun basınçlı dökümü, magnezyum endüstrisi içinde, en hızlı büyüyen ve global ölçekte en çok gelişen segment oldu. Bu gelişim, çevre dostu arabalara olan talebin artması sonucu ortaya çıkmıştır. Dünya genelindeki dökümcüler, otomobil endüstrisinin taleplerini karşılamakta sıkıntı yaşamadılar. Ayrıca basınçlı döküm makine imalatçıları da, daha büyük ve karmaşık makineler üreterek sektörün gelişiminde katkıda bulundular. Sıcak hazneli döküm makineleri ile üreticiler, magnezyum dökümü için yeni ve hızlı bir proses yarattılar.

Geçtiğimiz yıllarda, otomobil üretim prosesi komple bir değişime uğradı. Otomobil üreticileri, daha az parçayla ve dışarıdan daha çok tedarikle yapılan üretimi tercih ettiler. Bu düşünce, onları komponentleri satın almaya yöneltti. Bu durum, parçanın dökümünü birinci elden yapmadan, dizaynının yapılması gibi bir sıkıntı doğurdu. Bunu aşmak için, döküm firmaları ve otomobil üreticileri halen entegrasyon çalışmaları yapmaktadırlar.

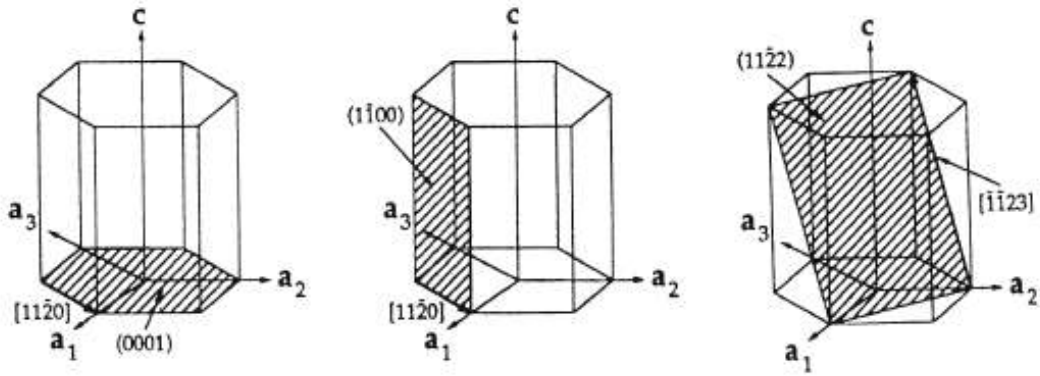
Çizelge 2.1. 2000-2010 yılları birincil magnezyum üretimi (1.000 Ton) (International Magnesium Association, 2013).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ABD	74	43	35	43	43	43	43	43	50	45	45
Brezilya	9	9	7	6	11	6	6	18	15	16	16
Kanada	55	65	86	50	55	54	50	16	0	0	0
Çin	218	195	232	354	450	470	490	627	559	501	654
Fransa	17	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
İsrail	2	30	34	30	33	28	28	25	35	29	30
Kazakistan	10	10	10	14	14	20	20	21	21	21	20
Norveç	50	35	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Rusya	40	50	52	45	45	45	50	37	37	37	40
Ukrayna	2	2	0	0	0	2	2	3	3	2	2
Sırbistan	2	2	2	2	4	2	1	2	2	2	2
Toplam	479	448	468	544	655	670	693	792	722	653	809
Yıllık Değişim		-6%	4%	16%	20%	2%	11%	14%	-9%	-10%	24%

Özet olarak, magnezyum alaşımları İkinci Dünya Savaşı sırasında askeri alanda kazandığı popülariteyi, savaştan sonraki on yıl içerisinde pek çok sivil alanda da yakalamayı başardı. Amerika, Kanada, Brezilya, İngiltere, Fransa, İtalya, Norveç, Yugoslavya (Sırbistan), Ukrayna, İsrail, Kazakistan, Hindistan ve Çin Halk Cumhuriyeti gibi ülkeler, magnezyum üretimine ve kullanımına hız kazandırdılar. Günümüzde Çin, yıllık 654.000 ton kapasiteyle, dünyanın en büyük birincil magnezyum üreticisi durumundadır (Çizelge 2.1.).

2.2 Magnezyumun Saf Haldeki Özellikleri

Magnezyum, doğada metal formunda bulunmayan, toprak alkali metalleri (2A) grubuna dâhil olan ve 3. periyotta bulunan bir elementtir. Atom numarası 12, atom ağırlığı 24,3050 g/mol olup; Mg sembolü ile gösterilir. Elektron dizilimi $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ şeklindedir. En dış enerji seviyesindeki 2 elektrondan dolayı, daima 2 değerlik alır. Atom çapı 0,32 nm ve atomik hacmi $14 \text{ cm}^3/\text{mol}$ 'dür. Kristal yapısı sıkı düzen hekzagonaldir (SDH). Şekil 2.3, birim hücredeki temel düzlemleri göstermektedir. Saf magnezyumun oda sıcaklığında hesaplanan kafes parametreleri; $a = 0,32092 \text{ nm}$ ve $c = 0,52105 \text{ nm}$ dir. 1,6236 olan c/a oranı, ideal değere (1,633) oldukça yakındır. Bu nedenle magnezyumun, mükemmel sıkı paket yapıya sahip bir metal olarak düşünülebilir (ASM International Handbook Committee, 1999).



Şekil 2.3. Birim hücredeki ana düzlemler ve yönleri (Friedrich ve Mordike, 2006).

Günümüzde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler içinde magnezyum en hafif olanıdır. Hafiflik bakımından en büyük rakibi de alüminyumdur. Magnezyum, hafifliği ve buharlaşma özellikleri bakımından plastiklere benzetilirken, bu malzeme bir metalin mekanik özelliklerine sahiptir. Saf magnezyumun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.2. ve Çizelge 2.3.'de verilmiştir. En önemli rakibi alüminyum ile fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması ise Çizelge 2.4.'de yapılmıştır.

Çizelge 2.2. Saf magnezyumun (ağ.%99,9) fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer
Ergime Noktası	650°C ± 2
Kaynama Noktası	1107°C ± 10
Ergime Gizli Isısı	0,37 MJ/kg
Buharlaştırma Gizli Isısı	5,25 MJ/kg
Yanma Isısı	25,1 MJ/kg
Özgül Isısı 20°C'de 600°C'de	1030 J/(kg K) 1178 J/(kg K)
Elektriksel Direnci 20°C'de	4,45 µΩ cm
Isıl İletkenliği 25°C'de	155 W/(kg K)
Isıl Genleşme Katsayısı (Lineer) 20°C'de	25,2 * 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Yoğunluk 20°C'de 600°C'de 650°C'de (katı) 650°C'de (sıvı)	1,738 g/cm ³ 1,622 g/cm ³ 1,65 g/cm ³ 1,58 g/cm ³
Katılaşma Sırasında Hacimsel Değişim	4,20%
Soğuma Sırasında Hacimsel Değişim (650–20°C)	5%

Çizelge 2.3. Saf magnezyumun (ağ.%99,9) mekanik özellikleri (ASM International Handbook Committee, 1996).

	Çekme Dayanımı	Çekmede Akma Dayanımı	Basmada Akma Dayanımı	Uzama % 50 mm	Brinell Sertliği
	MPa	MPa	MPa	–	500 kp/10 mm
Kum döküm, Kalınlık 13 mm	90	21	21	2–6	30
Ekstrüzyon, Kalınlık 13 mm	165–205	69–105	34–55	5–8	35
Haddelenmiş Levha	180–220	115–140	105–115	2–10	45–47
Tavllanmış Levha	160–195	90–105	69–83	3–15	40–41

Çizelge 2.4. Saf magnezyum ve alüminyumun fiziksel özellikleri (Zeytin, 1999).

Özellik (20°C)	Magnezyum	Alüminyum
Atom numarası	12	13
Atom ağırlığı	24,3	26,98
Kafes tipi	SDH	YMK
Ergime noktası	650 °C	659 °C
Kaynama noktası	1103 ± 8 °C	2447 °C
Yoğunluk (gr/cm^3)	1,738	2,699
Elektrik iletkenliği ($\text{m}/\Omega\text{K}$)	22,2	37,6
Termal iletkenlik (W/m.K)	154	222
Özgül Isı Kapasitesi (J/kg.K)	1047	930
Hacimsel Isı Kapasitesi ($\text{J/m}^3.\text{K}$)	1783	2430
Ort. Isıl Gen. Kat (10^{-6} m/m.K)	26 (0-100°C)	23,86 (0-100°C)
Elastisite modülü (10^3 N/mm^2)	44,5	69,6

2.3 Magnezyum Üretim Teknolojileri

Magnezyum endüstrisinin özelliklerinden biri de, çok değişik üretim proseslerinin olmasıdır. Ticari olarak yüz yıla yakın bir süredir kullanılmasına karşılık, magnezyum eldesi için on farklı üretim metodunun bulunması biraz şaşırtıcıdır. Diğer sanayilerden farklı olarak, dünya genelinde kabul görmüş belirli bir üretim yöntemi yoktur. Genel olarak termal ve elektrokimyasal olarak iki yöntem olsa da, bunlar da kendi içlerinde büyük farklılıklar göstermektedir. Çok sayıdaki üretim teknolojisi arasındaki farklar, imalat aşamasındaki temel parametrelerden kaynaklanmaktadır. Aşağıda bu farkları oluşturan başlıca parametreler verilmiştir (Friedrich ve Mordike, 2006).

2.3.1 Ham maddeler

Magnezyum üretimi için esas olarak kullanılan altı adet hammadde kaynağı vardır: magnezit, dolomit, bisofit, karnelit, serpantin ve deniz suyu. Bu kaynaklar; magnezyum içerikleri, üretim metotları ve çıkarıldıkları yerler sebebiyle farklılık gösterirler. Bir kısmı derindeki yataklardan çıkarılırken, bir kısmı yerüstündeki yataklardan elde edilir. Ayrıca bazıları deniz ve tuzlu göl sularından sağlanmaktadır.

Bunların dışında asbest üretiminden sağlanan artıklar da, magnezyum üretiminde ham madde kaynağı olarak kullanılmaktadır (Çizelge 2.5. ve 2.6.).

2.3.2 İndirgeme metotları

Magnezyum doğada her zaman iyon formunda bulunur. Bu durum, en dıştaki iki elektronun düşük iyonlaşma enerjisiyle açıklanabilir ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$). Bu aynı zamanda, magnezyumun doğada neden sadece iki değerlikli olarak bulunduğunun da cevabıdır. Bu sebeple bütün üretim teknikleri, magnezyuma iki elektron transfer edecek, indirgeyen bir elemana ihtiyaç duyar. İndirgeme elemanları; uygun voltajda verilen elektrik akımı, değişik formlarda kömür, silikon esaslı malzemeler (FeSi), CaC_2 ve alüminyumdur.

Literatürde kabul görmüş iki ana üretim teknolojisi, termal ve elektrokimyasal yöntemler arasındaki farklılık temelde indirgeme elemanlarından kaynaklanmaktadır. Elektrokimyasal yöntemler doğru akımlı elektrik kaynağını kullanırlar. Akım elektroliz hücresinden geçerek, klor ve magnezyum iyonlarını deşarj eder ve gaz fazına geçirir. Termal metotlar ise indirgeme elemanlarının bulunduğu bir ortamda magnezyanın (MgO) ısıtılmasına dayanmaktadır. Belirli bir sıcaklıkta indirgeme reaksiyonu meydana gelir ve genellikle gaz formunda magnezyum metali oluşur.

Çizelge 2.5. Hammaddeler ve özellikleri (Friedrich ve Mordike, 2006).

Hammadde	Kimyasal Formülü	Ağırlık Oranı	En Çok Bulunduğu Kaynak
Magnezit	$MgCO_3$	28,80%	Brezilya, Avusturya, Kore, Çin, ABD
Dolomit	$MgCO_3 * CaCO_3$	28,80%	İngiltere, Almanya, Brezilya, Norveç, Meksika
Bisofit	$MgCl_2 * 6H_2O$	11,96%	Deniz Suyu, Tuzlu Göl Suyu, Potasyum Üretiminde Yan Ürün
Karnelit	$MgCl_2 * KCl * 6H_2O$	8,75%	Meksika, ABD, Almanya, Rusya, Çin, İran, İsrail (Ölü Deniz Suyu)
Serpantin	$3MgO * 2SiO_2 * 2H_2O$	26,33%	İtalya, Rusya, Kanada, Asbest Üretiminde Yan Ürün
Deniz Suyu	Mg^{2+}	0,13%	Deniz Suyu, Tuzlu Göl Suyu

Çizelge 2.6. Deniz suyu ve Ölü Deniz (Dead Sea) suyunun bileşenleri (ASM International Handbook Committee, 1999).

Mineral	Deniz Suyu Bileşimi	Ölü Deniz Suyu Bileşimi
Magnezyum	0,129	4,2
Klor	1,95	20,8
Potasyum	0,038	0,75
Brom	0,067	0,6
Sodyum	1,077	3,5
Kalsiyum	0,0412	1,6

2.3.3 Üretim sıcaklıkları

Farklı üretim yöntemlerindeki maksimum sıcaklıklar $655^{\circ} - 1.900^{\circ} \text{ C}$ aralığında değişmektedir. Görüldüğü gibi belirli bir malzemenin üretimi için çok geniş bir sıcaklık aralığı mevcuttur. Genelde, elektrokimyasal üretim yöntemleri, termal proseslere göre daha düşük bir sıcaklık aralığı olan, $655^{\circ} - 720^{\circ} \text{ C}$ sıcaklıklarında uygulanır. Termal yöntemler de ise üretim, genellikle $900^{\circ} - 1.900^{\circ} \text{ C}$ gibi daha yüksek sıcaklıklarda meydana gelir.

2.3.4 Yan ürünler

Farklı yöntemlerde oluşan yan ürünler, aslında ham maddenin bileşimine bağlıdır. Eğer ham madde bisofit veya karnelit ise, magnezyuma ilave olarak klor ve hammaddeye bağlı bazı ürünler elde ederiz. Örneğin karnelit kullandığımız takdirde, klora ilave olarak, suni gübre üretiminde kullanılan KCl tuzu elde edilir.

Hammadde olarak klor içermeyen bir yöntem kullanılırsa, yan ürün olarak klor eldesi mümkün değildir. Ama çoğu proses dışarıdan eklenen, magnezyum klorür veya HCl gibi bir klor kaynağına ihtiyaç duyduğundan; üretim sonunda bu katışkıların geri dönüşümünü yapmak mümkün olabilmektedir.

2.3.5 Başlıca üretim yöntemleri

Magnezyum üretim teknolojilerini iki ana yönteme ayırmamız mümkündür: elektrokimyasal metotlar ve termal indirgeme metotları. Bu iki yöntem arasındaki farklılık, magnezyum iyonlarını metal magnezyuma dönüştüren indirgeme prosesinden kaynaklanmaktadır. Elektrokimyasal metotta indirgeme, elektrolit hücreleri besleyen

elektrik akımı tarafından sağlanmaktadır. Buna karşılık termal yöntemde indirgeme, birbirine benzeyen farklı redükleyicilerle yüksek sıcaklıklarda sağlanır.

Bu yöntemler de kendi içlerinde farklılıklar göstermektedir. Elektrokimyasal yöntemde kullanılan elektrot tipi, sayısı; elektrolitik hücrenin yapısı, kullanılan hammaddeler farkları belirlerken; termal proseste ise kullanılan enerji kaynağı, redükleyicilerin karışımı ve eldesi belirleyici unsurları oluşturmaktadır. Çizelge 2.7.'de, her iki yöntemle ilgili endüstriyel bazda yapılmış bir sınıflandırma verilmiştir. Çizelge 2.8.'de ise Elektrokimyasal ve termal yöntemlerin karşılaştırılması verilmiştir (Friedrich ve Mordike, 2006).

Çizelge 2.7. Üretim yöntemlerinin endüstriyel bazda sınıflandırılması (Friedrich ve Mordike, 2006).

Elektrokimyasal Üretim Yöntemleri	Termal Üretim Yöntemleri
DSM (Dead Sea Mg) ve Rusya Prosesi	Silikotermik Proses 1. Pidgeon Prosesi 2. Magnetherm Prosesi 3. Bolzano Prosesi
Dow Prosesi	
MagCorp (şimdi US Mag) Prosesi	
Hydro Magnesium Prosesi	Alüminotermik Proses
Magnola Prosesi	Karbotermik Proses
AMC (Australian Mg Corporation) Prosesi	

Çizelge 2.8. Elektrokimyasal ve termal yöntemlerin karşılaştırılması (Friedrich ve Mordike, 2006).

Karşılaştırma Parametreleri	Elektrolitik Teknoloji	Termal Teknoloji
Hammadde	Magnezit, Dolomit Bishofit, Karnelit Serpantin, Deniz Suyu	Dolomit Magnezit
Enerji Kaynakları	Hidro-güc, Gaz, Fuel-oil	Kömür, Gaz
Enerji Tüketimi	18 – 28 [MWh/ton]	45 – 80 [MWh/ton]
Proses Sıcaklıkları	655° – 720° C	900° – 1.900° C
İşletimsel Durum	Sürekli (Continuous) Proses	Parti (Batch) Prosesi
İlk Yatırım Miktarı	10.000 – 18.000 [US\$/ton]	2000 den fazla [US\$/ton]
İnsan Gücü İhtiyacı	X	5X den fazla

2.4 Magnezyumun Kullanım Alanları

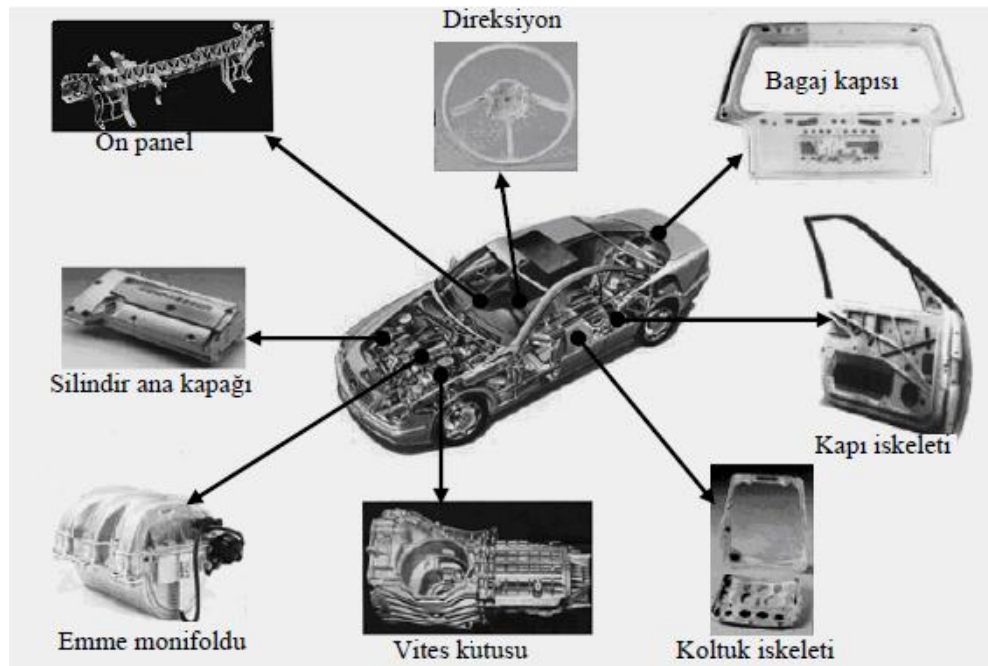
Otomotiv ve uzay-uçak sanayilerindeki ağırlık tasarrufuna yönelik arayışlarda Mg metali düşük yoğunluğu ile mühendislik uygulamaları açısından en hafif yapısal metal olarak ön plana çıkar. Günümüzde Mg alaşımlarına olan en büyük ilgi otomotiv sektöründen gelmektedir. Bunun başlıca nedeni, hafif Mg alaşımlarının kullanımı ile araç ağırlığında yapılan azalmanın yakıt ekonomisi sağlaması ve bunun sonucu olarak gaz emisyonlarının da azaltılabilecek olmasıdır.

Mg'un Al ve çelikle karşılaştırıldığında yüksek fiyatlı olmasına rağmen, net şekle yakın döküm parçalar üretildiğinden otomobillerde kullanımı fazladır (Eliezer, 1998).

Mg-Al-Zn (AZ91) alaşımları, çoğunlukla otomobil parçalarının dökümü için kullanılır. Diğer Mg alaşımlarıyla karşılaştırıldığında; AZ91 Mg alaşımı daha iyi döküm, daha iyi dayanım özellikleri göstermektedir.

Son yıllarda, Mg'un otomobil parçalarında kullanılması hızla artmıştır. Otomobillerde kullanılan birçok parça, basınçlı döküm ile Mg'den imal edilmiştir.

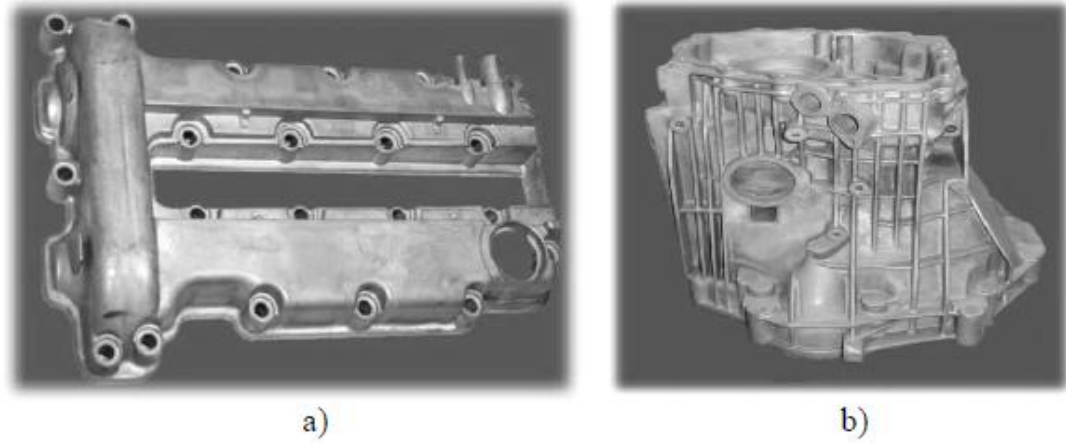
1930'lardan 1965'lere kadar, yalnızca ticari olarak kullanılan alaşımlar Mg-Al-Zn-Mn esaslıdır. Parçaların çoğunluğu AZ91 alaşımından üretilmiştir. Bu alaşım, gerilme kuvvetini biraz düşmesine rağmen, yüksek yumuşaklık ve darbe etki direncini sağlamıştır (Mordike ve Kainer 1998).



Şekil 2.4. Otomobil üretiminde Mg alaşımından dökülmüş parçalar (Watarai, 2006).

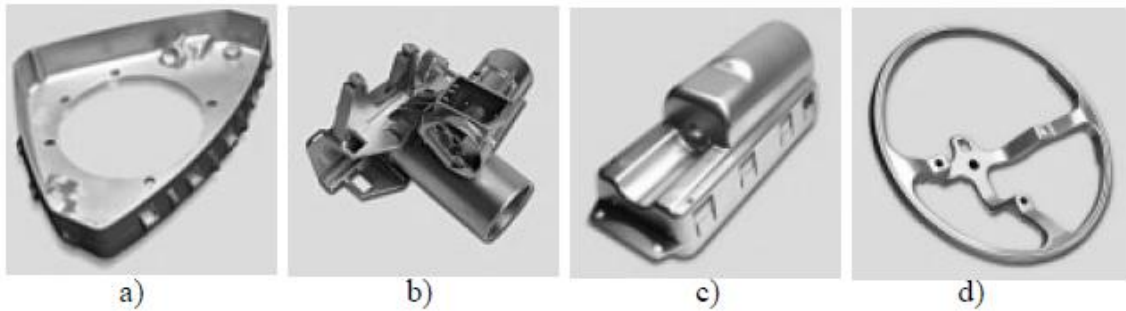
Mg-Al-Mn esaslı alaşımlar (AM50, AM60 iyi uzama ve darbe dayanımlarına sahiptirler (Vogel, 2002). AS41, AS21 (Mg-Al-Si-Mn) ve AE42 (Mg-Al-Re) alaşımları artan sıklıkla, Mg-Al-Mn ve Mg-Al-Zn-Mn alaşımlarından daha yüksek sürünme dayanımıyla karakterize edilen aktarma parçaları imalı için kullanılır (Zhang, 2000).

AZ serisi alaşımlar otomobil, havacılık, bilgisayar ve mobil telefonlarda kullanılır (Kazdal, 1999). Şekil 2.5.'de AZ91 alaşımından üretilmiş döküm parçalar görülmektedir.



Şekil 2.5. AZ91 alaşımı döküm parçaları a) üst yağ kapağı b) aktarma parçası (Li, 2004).

Mg alaşımlarından AM serisi alaşımlar yüksek toklukları ve enerji absorblama özellikleri bakımından özellikle direksiyon, tekerlek, otomobil koltuk iskeleti yapımında kullanılır (Kazdal, 1999). Şekil 2.6'da AM alaşımından dökülmüş parçalar görülmektedir.



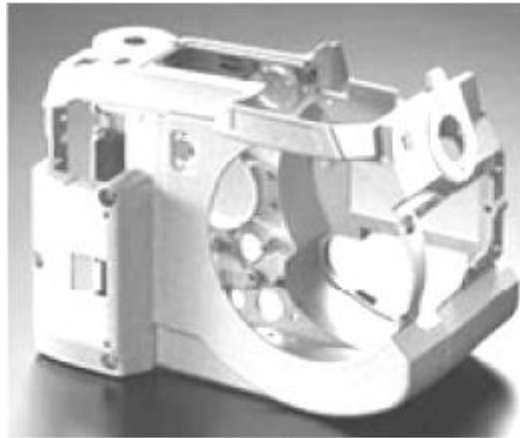
Şekil 2.6. AM alaşımı döküm parçaları a) Hava yastığı kutusu b) direksiyon kilit kutusu c) Yolcu hava yastığı kiliti d) Direksiyon simidi (Landkof, 2005).

AE42 alaşımları 200 °C'nin üzerindeki servis koşullarında, transmisyon elemanı ve motorlarda kullanılır (Kazdal, 1999). Şekil 2.7.'de WE43 alaşımından dökülmüş helikopter vites kutusu görülmektedir.



Şekil 2.7. WE43 alaşımından dökülmüş helikopter vites kutusu (Žaludová, 2005).

Süper hafif Mg-Li esaslı alaşımlar bilgisayar elemanı olarak plastik ve diğer benzer malzemelerin yerine kullanılabilir (Dobrzanski, 2007). Şekil 2.8.'de Li esaslı Mg alaşımından dökülmüş kamera ve cep telefon kutusu görülmektedir.



a)



b)

Şekil 2.8. Li katkılı Mg alaşımı döküm parçaları a) kamera kutusu b) cep telefonu kutusu (Dobrzanski, 2007).

2.5. Magnezyum Alaşımları

Magnezyum alaşımları, $160-300 \text{ N/mm}^2$ çekme dayanımı, $80-190 \text{ N/mm}^2$ (%0,2) akma dayanımı ve %2-15 kopma uzamasına sahip alaşımlardır. Geleneksel magnezyum alaşımları, bu asrın ilk on yılında geliştirilmeye başlanmış ve 1930'lu yılların sonunda bir zirveye ulaşmıştır. İkinci zirve ise 1950'lerde görülmektedir. Son 40 yılda daha

ziyade alüminyum ve çelik üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Ancak günümüzde, plastiklerin yerine magnezyum alaşımlarının kullanılması, bu malzemeyi yeniden gündeme getirmiştir.

Magnezyum alaşımları yapısal (structural) ve yapısal olmayan (nonstructural) çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Yapısal uygulamalar; otomotiv sektörünü, endüstriyel makine sektörünü (tekstil ve matbaa), el aletlerini, ticari sektörü (bavul, bilgisayar kasası, merdiven) ve uçak-uzay (aerospace) sanayi ekipmanlarını kapsamaktadır. Magnezyum aynı zamanda yapısal olmayan uygulamalarda da hizmet vermektedir. Alaşımlama elementi olarak alüminyum, çinko, kurşun ve diğer demir-dışı metallerde kullanılır. Nikel ve bakır alaşımlarının üretiminde oksijen tutucu ve desülfirazör olarak; demir-çelik sanayinde desülfirazör olarak ve ayrıca berilyum, titanyum, zirkonyum, hafniyum ve uranyum üretiminde indirgeyici eleman olarak kullanılır (ASM International Handbook Committee, 1996).

Magnezyumun yapısal olmayan diğer bir uygulaması da organik kimyadaki Grignard Reaksiyonudur (Halojenoalkanların metal hidrürlerle indirgenmeleri). Saf magnezyum ve %30'a kadar alüminyum içeren alaşımları, ince taneli toz formunda piroteknik uygulamalarında da kullanılmaktadır. Magnezyumun elektromotor serideki relatif pozisyonu, diğer metallerin korozyondan korunmasında, magnezyumun katodik koruyucu olarak kullanılmasına olanak sağlar. Bununla beraber kuru ve şarjlı pillerin yapımında da elektromotor seri özelliğinden faydalanılır.

Gri dökme demir dökümhaneleri, magnezyum ve magnezyum içeren alaşımları dökümden hemen önce potaya katarlar. Magnezyum, grafit parçacıklarını küreselleştirerek; dökme demirin tokluğunu ve sünekliğini arttırır. Ayrıca magnezyum, dağlamaya hızlı fakat kontrollü tepki vermesinden dolayı, fotoğraf banyolama sektöründe de kullanılmaktadır.

Alüminyum ve çinko katı magnezyum içinde oldukça iyi çözünürler ama çözünürlükleri düşük sıcaklıklarda azalır. Alüminyumun ağırlıkça çözünürlüğü 437°C'de %12,7 ve 93°C'de %3'tür. Çinkonun ağırlıkça çözünürlüğü ise 340°C'de %6,2 ve 204°C'de %2,8'dir. Mangan, zirkonyum ve seryum ise 482°C'de ağırlıkça %1'den daha az çözünürler. Ötektik noktada ise %4,5 toryum magnezyum içinde çözünebilir (ASM International Handbook Committee, 1996).

Alüminyum ve çinko içeren magnezyum alaşımlarının korozyon dayanımını arttırmada, mangan oldukça etkilidir. Mangan içeren bu alaşımlar, demirin alaşımdaki içeriği ve aktivitesi kontrol altında tutulduğundan, oldukça kullanışlı ve korozyona dirençlidirler. Ayrıca alüminyum ve çinko içermeyen magnezyum-itriyum alaşımları da korozyona karşı oldukça iyi direnç gösterirler (Friedrich ve Mordike, 2006).

2.5.1 Başlıca alaşım elementleri

2.5.1.1 Alüminyum

Alüminyum genellikle en çok kullanılan alaşım elementidir ve basınçlı döküm alaşımlarının temel yapısını oluşturur. Maksimum çözünürlüğü ağırlıkça %12,7 olup, %6'dan fazla alüminyum içeren alaşımlara ısıtılma işlemi uygulanabilmektedir. Alüminyum dayanım özelliklerini iyileştirir, optimum dayanım ve süneklik kombinasyonu %6'luk alaşımda gözlenmiştir. Alüminyum içeren alaşımlar kolayca dökülebilmektedir. Sürünme dirençleri, $Mg_{17}Al_{12}$ fazının zayıf termal stabilitesinden dolayı oldukça sınırlıdır.

2.5.1.2 Çinko

Çinko, en yaygın kullanılan alaşım elementlerinden biridir. Genellikle alüminyumla birlikte alaşımlara katılır (örneğin AZ91). Bunun dışında zirkonyum, toryum ve nadir toprak elementleriyle beraber oluşturduğu alaşımlarda mevcuttur.

2.5.1.3 Silisyum

Silisyum, ergimiş alaşımların akıcılığını artırır. Demirle birlikte bulunduğu zaman ise korozyon direncini azaltır. Çok az alaşımda kullanılır (AS21 ve AS41).

1.5.1.4 Mangan

Mangan genellikle tek başına kullanılmaz fakat alüminyum gibi diğer elementlerle birlikte katılır. Bu durum $MnAl$, $MnAl_6$, $MnAl_4$ bileşiklerinin oluşmasına sebep olur. Mangan demirin çözünürlüğünü azaltarak, oldukça zararsız bileşikler oluşturur. Mg-Al ve Mg-Al-Zn alaşımlarının akma dayanımını artırır ve tuzlu su korozyon direncini iyileştirir. M1A ikili alaşımları (Mg-Mn), dövme ve ekstrüzyon yöntemlerinde kullanılır. Manganın alaşım içindeki maksimum yüzdesi ağırlıkça %1,5-2 civarındadır.

2.5.1.5 Kalsiyum

Kalsiyumla alaşımlandırma, sürünme direnci yüksek fakat ucuz alaşımların geliştirilmesiyle ortaya çıktı. Böylece $Mg_{17}Al_{12}$ fazı ile $Al_{12}Ca$ fazının yer değiştirmesi sağlandı. Diğer taraftan kalsiyum ergitmede veya sonraki işlem uygulamalarında, deoksidan olarak görev yapmaktadır. Kalsiyum, saçların haddelenme kabiliyetini iyileştirirken; ağırlıkça %0,3'ü geçmesi kaynak kabiliyetini olumsuz etkilemektedir.

2.5.1.6 Lityum

Magnezyum alaşımlarının yoğunluğunu düşüren tek alaşım elementidir. Ayrıca, oda sıcaklığında ağırlıkça %5,5 (hacimsel %17) gibi oldukça yüksek bir oranda magnezyum içinde çözünabilmektedir. Lityum ilavesi ile dayanım azalır fakat süneklik artar. Elastisite modülünde ise biraz iyileşme görülür.

2.5.1.7 Nadir Topraklar

Nadir topraklar, magnezyum alaşımlarının yüksek sıcaklık dayanımını ve sürünme direncini arttırmak için kullanılırlar. Genellikle Mischmetal (Mişmetal; seryum ağırlıklı olmak üzere, lantan ve neodyum içeren, toprak alkalilerden oluşan metalsel bileşik) veya Didymium (%85 neodyum ve %15 proseodyum) olarak ilave edilirler.

2.5.1.8 Gümüş

Gümüş, yaşlandırma setleştirmesi uygulamasını iyileştirir. Ayrıca toryum ve nadir toprakları içeren alaşımların (örneğin QE22 ve QH21), yüksek sıcaklık özelliklerini artırır.

2.5.1.9 Toryum

Toryum ilavesi, alaşımların sürünme direncini 350°C'ye kadar artırır. Düküm kabiliyetini iyileştirir. Alaşımları, kaynak edilebilir özelliktedir. Toryumun radyoaktifliğinden dolayı kullanımı yavaş yavaş terk edilmektedir.

2.5.1.10 İtriyum

İtriyum, nadir toprak elementleriyle birlikte yüksek sıcaklık dayanımını ve sürünme direncini, 300°C sıcaklığa kadar çıkarmak için kullanılır.

2.5.1.11 Zirkonyum

Zirkonyum tane inceltici elementtir. Çinko, nadir toprak elementleri, toryum, itriyum veya bunların karışımını içeren alaşımlarda kullanılır. Fakat alüminyum veya mangan içeren alaşımlarda, bu elementlerle kararlı bileşikler oluşturduğu için kullanılmaz. Aynı zamanda demir, silisyum, karbon, azot, oksijen ve hidrojenle de ergimiş halde kararlı bileşikler oluşturmaktadır. Sadece çözünmüş haldeki zirkonyum tane inceltici olarak etkilidir.

2.5.2 Üretim amaçlı kullanılan elementler ve katışıkları

2.5.2.1 Berilyum

Berilyum, magnezyum alaşımları içinde çok az çözünürlüğe sahiptir. Ergimiş metal yüzeyinde oksidasyonu azaltmak için çok düşük miktarlarda (<30ppm) kullanılır. Berilyum miktarının artması, tane kabalaşmasına neden olur.

2.5.2.2 Bakır

Bakır, alaşım içinde ağırlıkça %0,05'den fazla bulunursa, korozyon özelliklerini kötü etkilemektedir. Bunun yanında yüksek sıcaklık özelliklerini iyileştirdiğinden, sınırlı miktarda kullanılmalıdır.

2.5.2.3 Demir

Korozyon direncini azalttığı için çok zararlı bir katışıktır. İyi bir korozyon direnci için, maksimum demir miktarı ağırlıkça %0,005 olarak belirlenmiştir.

1.5.2.4 Nikel

Nikel de çok zararlı bir katışıktır. Çok küçük miktarları bile korozyon direncini oldukça düşürür. İyi bir korozyon direnci sağlamak için, ağırlıkça %0,005'lik değer, demirde olduğu gibi, üst sınır olarak belirlenmiştir.

2.5.2.5 Kalay

Küçük miktardaki kalay, alüminyumla bileşik oluşturarak sünekliği iyileştirir ve dövme sırasında oluşan çatlak eğilimini düşürür. Görüldüğü gibi, üretim sırasında istenen özellikleri sağlayan çok az sayıda element vardır. Yeni ve daha iyi alaşımlar için araştırmalar sürmektedir (skandiyum, stronsiyum, terbiyum ve gadolinyum son günlerde incelenen elementler).

2.5.3 Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları

Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının avantajları şunlardır (Kaçar ve Öztürk, 2006):

- Bütün metalik yapı elemanları içerisinde en düşük yoğunluğa sahip olma,
- Yüksek özgül mukavemet,
- Dökülebilirliği iyi olup, yüksek basınçlı kalıp dökümlerine uygunluk,.
- Yüksek hızlarda tornalanabilir ve frezelenebilirlik,
- Kontrollü atmosfer şartlarında iyi kaynak edilebilirlik,
- Yüksek saflıkta magnezyum kullanıldığında daha yüksek korozyon direnci,
- Kolay bulunabilirlik,
- Polimerik malzemelerle kıyaslandığında daha iyi mekanik özellikler, yaşlanmaya direnç, daha iyi elektrik ve ısısal iletim,
- Geri dönüşüm,
- Çeliğe göre fabrikasyon kolaylığı (Çelikteki çok kademeli üretim Mg'da tek bir kademede yapılabilmektedir. Kristal yapısından dolayı Mg şekillendirilmesi yüksek sıcaklıklarda yapılmalıdır. Çelik parçalar için kullanılan büyük ve pahalı makineler gerekmez. Büyük parçaların Mg alaşımlarından yapılabilmesi için büyük yatırımlar gerekmez. Sıcak şekillendirmedeki olası gelişmeler sayesinde Mg parçalar için maliyetler çelik parçalara kıyasla daha düşük olabilmektedir.).

Magnezyum ve alaşımlarının avantajları olduğu gibi birtakım dezavantajları da bulunmaktadır.

Bu dezavantajlar şunlardır (Kaçar ve Öztürk, 2006):

- Düşük elastite modülü
- Sınırlı soğuk şekillendirilebilme ve tokluk
- Sınırlı yüksek mukavemet ve yükselen sıcaklıklarda sınırlı sürünme direnci
- Katılaşmada yüksek derecede kendini çekme
- Yüksek kimyasal reaktivite
- Bazı uygulamalarda sınırlı korozyon direnci

2.5.3 Magnezyum alaşımlarının sınıflandırılması

Genel olarak magnezyum alaşımları döküm ve yoğruk (dövük) alaşımlar olmak üzere ikiye ayrılır. Döküm alaşımlar kendi aralarında basınçlı, kum ve kalıcı kalıba döküm alaşımları olarak ayrılırken; yoğruk alaşımlarda sac, levha, ekstrüzyon ve dövme alaşımlar olarak alt bölümlere ayrılmaktadır. Alaşımların ve ısıt işlemlerin gösterim standartları 1948 yılında belirlenmiş olup, Çizelge 2.9.'da açıklanmıştır. Sistemin çalışması ile ilgili bir örnek vermek için AZ91E-T6 alaşımını ele alabiliriz. Gösterimdeki ilk kısım, AZ, alüminyum ve çinkonun iki ana alaşım elementi olduğu anlamına gelir. Gösterimdeki ikinci kısım, 91, alüminyum ve çinkonun alaşım içindeki yuvarlatılmış yüzdelerini verir (sırasıyla %9 ve %1). Üçüncü kısım, E, %9 Al ve %1 Zn içeren standartlaştırılmış alaşımlar içinde, beşinci alaşım olduğunu ve yüksek korozyon direnci gösterdiğini belirtir. Dördüncü bölüm, T6 ise, alaşımın çözelti ısıt işlemi gördüğünü ve yapay yaşlandırıldığını ifade eder (Çizelge 2.10. ve Çizelge 2.11.).

Çizelge 2.9. ASTM sisteminde magnezyum alaşımlarının, alaşım ve menevişleme gösterimlerinin standart dört bölümü (ASM International Handbook Committee, 1999).

Birinci Kısım	İkinci Kısım	Üçüncü Kısım	Dördüncü Kısım
İki temel alaşım elementini belirtir	İki ana alaşım elementinin miktarını belirtir	Temel alaşım elementi miktarları aynı olan alaşımlar arasındaki farkı belirtir	Menevişleme koşullarını belirtir
Azalan yüzde miktarlarına göre düzenlenmiş iki ana alaşım elementini ifade eden, iki harften meydana gelir (eğer miktarlar eşitse alfabetik olarak sıralanır)	İki ana alaşım elementinin yuvarlatılmış yüzdelerini gösteren iki rakamdan meydana gelir ve birinci kısımdaki gösterim sırasına göre düzenlenir	ASTM standardına göre belirlenmiş bir alfabetik harften oluşur (I ve O hariç) A: Birinci Bileşim B: İkinci Bileşim C: Üçüncü Bileşim D: Yüksek Safılıkta (HP) E: Yüksek Korozyon Direnci	Bir harfi izleyen bir numaradan meydana gelir (üçüncü kısımdan tire işaretiyle ayrılmıştır)

Çizelge 2.10. Alaşım elementleri gösterimi (ASM International Handbook Committee, 1996).

Harf	Alaşım Elementi	Harf	Alaşım Elementi
A	Alüminyum (Al)	M	Mangan (Mn)
C	Bakır (Cu)	N	Nikel (Ni)
E	Nadir Topraklar (RE)	Q	Gümüş (Ag)
F	Demir (Fe)	S	Silisyum (Si)
H	Toryum (Th)	T	Kalay (Sn)
K	Zirkonyum (Zr)	W	İtiryum (Y)
L	Lityum (Li)	Z	Çinko (Zn)

Çizelge 2.11. Magnezyum alaşımları için menevişleme gösterimleri (4.kısım) (Friedrich ve Mordike, 2006).

Genel Bölümler	
F	Üretildiği gibi
O	Tavlanmış ve yeniden kristallenmiş (sadece yoğruk ürünler için)
H	Gerinme sertleştirilmesi yapılmış
T	F, O veya H den başka kararlı menevişler için ısıtıl işlem görmüş
W	Çözelti ısıtıl işlemi uygulanmış (kararsız menevişleme)
Gerinme Sertleştirilmesi (H) Alt bölümleri	
H1	Sadece gerinme sertleştirilmesi uygulanmış
H2	Gerinme sertleştirilmesi uygulanmış ve kısmi tavlanmış
H3	Gerinme sertleştirilmesi uygulanmış ve kararlaştırılmış
Isıtıl İşlem (T) Alt bölümleri	
T1	Soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış
T2	Tavlanmış (sadece döküm ürünler için)
T3	Çözelti ısıtıl işlemi uygulanmış ve soğuk işlenmiş
T4	Çözelti ısıtıl işlemi uygulanmış
T5	Soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış
T6	Çözelti ısıtıl işlemi görmüş ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözelti ısıtıl işlemi görmüş ve kararlaştırılmış
T8	Çözelti ısıtıl işlemi görmüş, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözelti ısıtıl işlemi görmüş, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
T10	Soğutulmuş, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş

2.5.4 Magnezyum alaşımları ile imalat yöntemleri

Magnezyum, genellikle diğer metallerin üretildiği yöntemlerle şekillendirilebilir. İmalat yönteminin seçiminde malzemeden beklenen optimum özellikler dikkate alınmalıdır. Bazı özel parçaların şekillendirilmesinde spesifik imalat yöntemleri tercih edilebilir. Magnezyum alaşımları için en uygun şekillendirme metotları; basınçlı döküm ve ekstrüzyon yöntemleridir. Çizelge 2.12.'de, magnezyum için kullanılan imalat yöntemleri ve özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.12. Şekillendirmede kullanılan yöntemler ve özellikleri (Zeytin, 1999).

Ana grup	Alt grup	Özellikler
Döküm Ürünler	Kum Kalıp	Karmaşık şekiller, düşük hacme uygun, iyi kalite, yüksek maliyet, büyük parça üretimi mümkün
	Kabuk Kalıp	Karmaşık şekiller, yüksek hacme uygun, iyi kalite, yüksek maliyet, büyük parça üretimi mümkün
	Düşük-Basınçlı Döküm	Karmaşık şekiller, yüksek kalite, orta boy parça dökümü, düşük maliyet
	Yüksek-Basınçlı Döküm	Nihai boyutlar, gerektiği kadar yüksek hacim, ortalama büyüklükte parçalar, orta kalite, düşük maliyet
	Hassas Döküm	En hassas nihai boyut, yüksek kalite, çok karmaşık şekilli parça üretimi, yüksek maliyet
Dövme Ürünler	Levha	Düşük özellikler, yüksek maliyet
	Plaka	Düşük özellikler, düşük maliyet, iyi boyut kararlılığı
	Ekstrüzyon	Ortalama özellikler, düşük maliyet, karmaşık şekilli parçalar
	Dövme	Yüksek kalite, ortalama özellik, ortalama maliyet
	Darbe Ekstrüzyon	İyi kalite, basit şekiller, düşük maliyet, iyi özellikler

2.6 Magnezyum Alaşımlarının Döküm Yöntemleri

Magnezyum alaşımları için çok değişik döküm yöntemleri uygulanabilmektedir. Bu yöntemler soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı döküm, kum kalıba döküm, hassas döküm, sürekli kalıba (kokil) döküm, düşük basınçlı döküm (low pressure die casting), vakumlu döküm, yarı-katı metal döküm (semisolid metal casting) ve sıkıştırma döküm (squeeze casting) yöntemleridir. Son yıllarda basınçlı döküm alaşımlarının kullanımı oldukça artmıştır. Özel bir parça için döküm yöntemi seçiminde; tasarım şekli, arzu edilen mekanik ve yüzeysel özellikler, üretilecek toplam parça sayısı ve alaşımların dökülebilirliği belirleyicidir. Dökümde kullanılabilecek çok fazla alaşım çeşidi bulunmasına rağmen, her alaşım her döküm yönteminde kullanıma uygun değildir (ASM International Handbook Committee, 1999).

Magnezyum alaşımlarının kum kalıba döküm yöntemiyle üretimi çok sayıda alaşıma uygulanabilmekte ve farklı boyutlarda parçalar elde edilebilmektedir. Ancak yöntem, kalıp kumu ile ergiyik magnezyum arasındaki reaksiyonlardan dolayı inhibitör kullanımını gerekli kılar. Yüksek adetlerde parça üretimi için uygunken, yüzey bitirme ve tolerans değerleri açısından çok iyi özellikler sağlanamaz.

Kum kalıba döküm yöntemiyle sağlanamayan bazı özellikler, hassas dökümle sağlanabilir. Ancak hassas döküm yöntemi için parça başına maliyet ve ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Magnezyum alaşımlarının sürekli kalıba döküm yöntemiyle üretiminde ise, kalıbın tekrar kullanılabilmesi maliyetler açısından bir avantaj gibi gözükse de, kalıpların yüksek ilk yatırım maliyetlerinin amortismanı, bir kalıptan alınabilecek parça adediyle karşılanamayabilir. Yüzey bitirme özellikleri ve boyutsal toleranslar açısından iyi sonuçlar alınmasının yanında, çok sayıda alaşım türüne uygulanabilir bir yöntemdir (ASM International Handbook Committee, 1999).

Magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle üretimi diğer yöntemlerin sunamayacağı ekonomik avantajlar sunar. Magnezyum basınçlı döküm yöntemiyle üretildiğinde, alüminyum ve çinkoya kıyasla, aynı ağırlıktaki hammadde ile daha fazla ürün elde edilir. Otomasyona uygunluğu yönüyle, magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümü, yüksek hacimli üretimler için ideal bir yöntemdir. Alüminyum ve çinkoya kıyasla magnezyum alaşımlarının hacimsel özgül ısısı daha düşüktür. Bu da dökümün daha hızlı soğuması, daha yüksek çalışma hızı ve daha az kalıp aşınması demektir.

Magnezyum alaşımlarına uygulanan farklı döküm yöntemleri, elde edilen özellikler, üretilebilen parça boyutları, yüksek üretim hacmine uygunluk gibi yönlerden karşılaştırıldığında; yöntemlerin üstün ve zayıf yönleri Çizelge 2.13.'teki gibidir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle üretimi, diğer döküm yöntemlerine kıyasla, oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Çizelge 2.13. Magnezyum alaşımları ile döküm yöntemlerinin mukayesesi.

Karşılaştırılan Özellikler	Basınçlı Döküm	Kum Kalıba Döküm	Hassas Döküm	Sürekli Kalıba Döküm
Uygun alaşım çeşitliliği	+	+	+	+
Değişken boyutlu parça üretilebilirliği	+	+	-	-
Yüzey bitirme özellikleri	+	-	+	+
Yüksek üretim hacmine uygunluk	+	+	-	-
Parça başına birim maliyetler	+	+	-	-
Hassas toleransların elde edilmesi	+	-	+	+
İyi mekanik özelliklerin elde edilmesi	+	+	+	+
Karmaşık şekilli parça üretimi	+	-	+	-

2.7 Magnezyum Alaşımlarının Talaşlı İmalatı

Magnezyum işlenmesi en kolay metallerden biridir. Ayrıca alaşımları da işlenebilirlik açısından çok fark göstermemektedir. Magnezyum tasarımlarda, öncelikle hafifliği nedeniyle tercih edilmesine rağmen, iyi işlenebilirliği yüksek hacimli üretimler için büyük bir avantaj teşkil eder. İşlenmesindeki güç ihtiyacı; alüminyum, nikel ya da dökme demire göre oldukça azdır (Çizelge 2.14.). İşlemede, düşük kapasiteli manuel tezgâhlardan yararlanılabileceği gibi, yüksek kapasiteli otomasyon tezgâhları da kullanılabilir. Magnezyumun mükemmel işlenebilirliği, alüminyum ve titanyum gibi zor işlenen metallerle göre büyük avantajlar sağlar. Magnezyum alüminyuma göre %50 oranında daha hızlı işlenebilmektedir. Bu da %50 daha az güç demektir. İyi işlenebilirliklerinden dolayı, takım ömrü uzar ve takım değiştirme zamanları artar.

Magnezyumun tornalama ve matkapla delme işlemleri için ihtiyaç duyduğu bağlı kuvvet ve kesme hızları ile ilgili karşılaştırmalı bir tablo, Çizelge 2.14.'de verilmiştir.

Çizelge 2.14. Magnezyumun talaşlı işlem parametrelerinin diğer metallerle karşılaştırılması (ASM International Handbook Committee, 1999).

Metal	Bağlı Güç	Kaba Tornalamada Kesme hızı	Matkapla Delmede Kesme Hızı
		(m/dak)	(m/dak) (5-10 mm arası delikler için)
Magnezyum	1,0	max 1200	150–500
Alüminyum Alaşımları	1,8	75–750	60–400
Dökme Demir	3,5	30–90	10–40
Düşük Karbonlu Çelik	6,3	40–200	15–30
Nikel Alaşımları	10	20–90	5–20

İşlemede kullanılacak takım seçiminde, üretim hacmi, belirleyici etkindir. Karbon çeliği takımlar çoğu uygulamada yeterli olmasına rağmen, yüksek hacimli uygulamalarda karbür uçlu takımlar tercih edilir. Magnezyum genellikle bir kesme sıvısı kullanılmadan işlenebilir. Kesme sıvılarına; derin sondaj işlemlerinde yağlama amacıyla ya da çok yüksek kesme hızlarında soğumayı sağlamak için ihtiyaç duyulabilir. Kuru işleme daha temiz ve düşük maliyetli ürünler vermektedir. Ancak kesme sıvısı kullanılırsa talaşların tutuşma ihtimali önlenmiş olur. Özellikle çok ince talaşların olduğu hassas işlemlerde, talaşların tutuşma ihtimalleri vardır. Derin delme gibi operasyonlarda kullanılan kesme sıvıları ise, soğutmanın yanı sıra, talaşın uzaklaştırılmasına da yardımcı olmaktadır (ASM International Handbook Committee, 1999).

2.8 Magnezyum Alaşımları ile Plastik Şekillendirme

Magnezyumun hegzagonal sıkı paket (HSP) yapısından dolayı, magnezyum alaşımlarına uygulanabilir soğuk deformasyon miktarı sınırlıdır. Bu nedenle çoğu magnezyum alaşımı sıcak şekillendirme ile plastik olarak deforme edilir. Yoğruk magnezyum alaşımları; haddelenmiş levha veya sac, ekstrüzyon ürünü (çubuk, boru ve şekilli) parçalar ve yapısal uygulamalar için dövme mamuller olarak üretilir.

Magnezyum alaşımları ile genelde tek işlemle nihai ürün elde edilebilir. Yüksek sıcaklıklarda tek operasyonla elde edilen parçalar sayesinde, ek tavlama işlemlerinden, ilave kalıp maliyetlerinden ve de zamandan kazanç elde edilmiş olunur. Dikkat edilmesi gereken bir nokta ise magnezyum alaşımlarının sahip olduğu yüksek ısı genleşme katsayısıdır. Soğuk şekillendirme esnasında magnezyum parçaların alüminyum ve çelikten farklı olarak, bükme operasyonu sonrası boylarının kısaldığı görülmektedir. Bu durum, parça ekseninin gergin büküm yerine doğru hafifçe kaymasından kaynaklanır. Çok ince sac kalınlıklarında bu durum fark edilmezken, kalınlıklar arttıkça, bu durumun mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Atalay, 2006).

Döverek şekillendirme katılaşma (solidüs) sıcaklığının yaklaşık 55°C altında yapılır. Genellikle hidrolik veya düşük hızlı mekanik presler kullanılır. Magnezyum ve alaşımlarının ekstrüzyonu ılık olarak ya da yüksek sıcaklıklarda yapılabilir. Ekstrüzyon sıcaklığı 300-450°C arasında değişmektedir. Alaşımlar hidrolik preslerde çubuk, tüp ve çeşitli profiller oluşturulmak üzere şekillendirilir. Ekstrüzyon ürünleri dökümün ekonomik olmadığı ya da sac ve plakalarla ekstrüzyon ürünlerinin birleştirilebildiği durumlarda tercih edilir (Friedrich ve Mordike, 2006).

Sac ve levhalar genellikle Mg-Al-Zn alaşımlarından haddelenir. AZ31B alaşımı en çok kullanılan alaşımdır ve 100°C sıcaklıktaki servis ortamlarında kullanılabilir. HK31A ve HM21A alaşımları ise 315-345°C sıcaklıklarda kullanım için uygundur. Sac ve levha ürünlerde kesit kalınlıkları konstrüksiyonun toplam ağırlığını fazla etkilemeden arttırılabilir. Böylece parçaya rijidlik kazandırılmış olur. Bu da tasarımcıya, ağırlık sorunu yaşamadan, parça üzerinde değişiklik yapma olanağı sağlamaktadır (ASM International Handbook Committee, 1999).

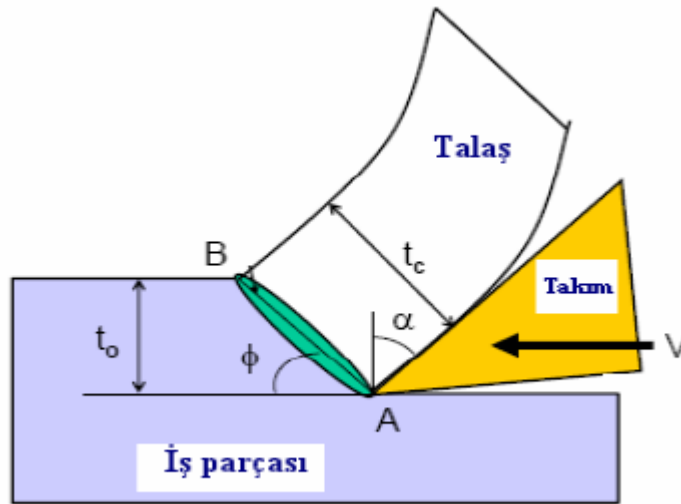
3. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

3.1 Talaş Kaldırma Mekanizması

Talaş kaldırma, belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için, ucu keskin bir takım ile ve güç kullanarak, iş parçası üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Kaldırılan malzeme tabakasına talaş denir.

Talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olaylardan meydana gelen karmaşık bir işlemdir (Akkurt, 1996).

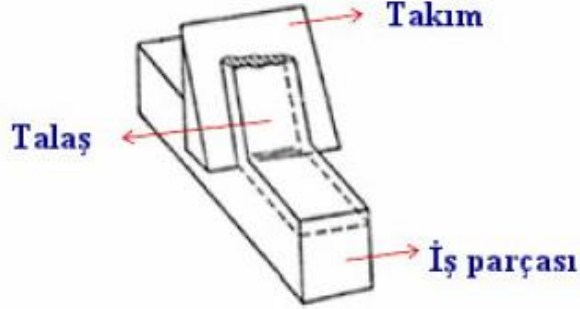
Talaş kaldırma işlemleri, genel olarak, tornalama, delme ve delik büyütme, frezeleme, vargelleme/planyalama, testere ile kesme, taşlama ve tığ çekme olarak 7 ana gruba ayrılabilir (Şahin, 2000). Bu çalışmada kullanılan işlem olan tornalama, iş parçasının tezgâhın ana miline sabitlenerek kendi ekseninde döndürülmesi ve takım tutucuya sabitlenmiş olan kesici takımın, elde edilmek istenen yüzeyin şekline bağlı olarak, iş parçası üzerinde ilerlemesi prensibine dayanmaktadır. Şekil 3.1.' de iki boyutlu ortogonal kesme geometrisi gösterilmektedir.



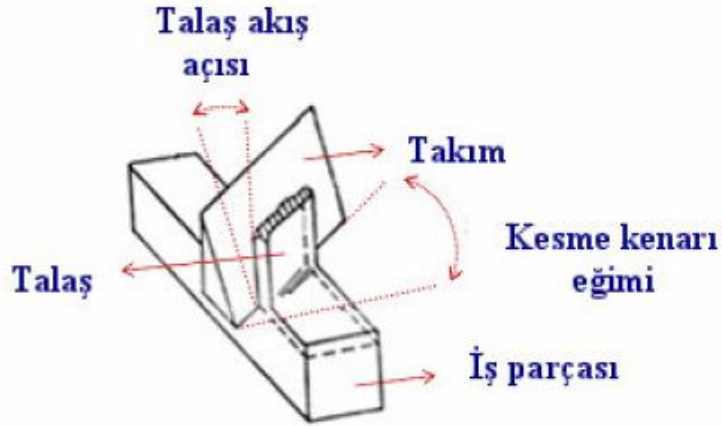
Şekil 3.1. İki boyutlu ortogonal kesme geometrisi (Akkurt, 1996).

Şekil 3.1.'de kesme birinci kayma bölgesi, hız vektörü, talaş açısı (α), kesme açısı (ϕ), kesme yüzeyi boyunca iş parçasından ayrılacak olan talaşın kalınlığı (t_0), kesme işlemi sonucu oluşan talaşın kalınlığı (t_c) şematik olarak gösterilmektedir.

Ortogonal kesmede takımın kesme kenarı, takım ile parça arasındaki kesme hızına dik veya eğik olabilir. Şekil 3.2.'de dik kesme modeli, Şekil 3.3'de eğik kesme modeli şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Dik kesme modeli (Akkurt, 1996).



Şekil 3.3. Eğik kesme modeli (Akkurt, 1996).

Talaş kaldırma esnasında kesici malzeme, devamlı ve darbeli tarzda kesme kuvvetleri, yüksek sıcaklıklar ve sıcaklık değişimleri, sürtünme ve aşınma gibi sebeplerden dolayı yüksek zorlanmalara maruz kalır. Kesici malzemeler zorlanmalara dayanabilmek için;

- İyi kesme kabiliyeti
- Yüksek aşınma mukavemeti
- Eğilme kırılmasına karşı yüksek mukavemet ve sıklık
- Sıcaklık değişimlerine dayanabilme gibi özelliklere sahip olmalıdır (Fischer, 1995).

3.2 Talaş Kaldırma İşlemini Etkileyen Faktörler

3.2.1 Takım ömrü

Takım ömrü, genellikle, belirli bir kritere ulaşmak için gerekli olan etkili kesme zamanı veya pratik olarak, takımın iki bileme arasında geçen bir fiil çalışma zamanı olarak tanımlanır.

Kesme işlemleri sırasında önemli olan takım ömrünün aşınma nedeniyle tamamlandığının belirlenmesidir. Kesme kuvvetleri ile takım ömrü arasında direkt bir ilişki bulunmaktadır. Kesme kuvveti talaş kaldırma işlemleri sırasında takımın aşınma miktarı ile orantılı olacak şekilde lineer olarak artmakta, takımın ömrünü tamamlaması anında kesme kuvvetinde büyük bir artış görülmektedir. Genelde talaş kaldırma olayı; iş parçası, takım, tezgâh ve süreç olmak üzere dört faktöre bağlıdır.

Kesme işlemine etki eden ve uygun değer talaş kaldırma işlemi içinde değiştirilebilen faktörler kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarıdır. Yapılan deneyler sonucu bu faktörlerin takım ömrüne etkileri farklı oranlarda olmaktadır;

1. Talaş derinliğinin % 50 oranında artırılması takım ömrünün % 5 oranından azalmasına neden olmaktadır.
2. İlerleme miktarının % 50 oranında artırılması takım ömrünün % 60 oranında azalmasına neden olmaktadır.
3. Kesme hızının % 50 oranında artması takım ömrünün % 90 oranında azalmasına neden olmaktadır.

Uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ile takım ömrünün artırılması mümkün olmaktadır. Kesme hızının düşük seçilmesi takım ucunda kopmalara ve bunun sonucu takımın değiştirilmesine, kesme hızının yüksek seçilmesi ise takımın kısa sürede kırılmasına neden olmaktadır. Optimum kesme hızının belirlenmesinde takım ömrü ile talaş oluşum oranı ve üretim hızı arasında denge kurulmalıdır. Maksimum üretim hızı için kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme arasında minimum takım değiştirmeyi sağlayacak bir denge kurulmalıdır.

3.2.2 Kesme hızı

Talaş kaldırma sırasında takım, kesme yönü doğrultusunda kesme hızı denilen bir hızla ilerler. Birim bakımından m/dak olarak ifade edilir. Yani kesme hızı, kesme ucunun dakikada gitmesi gereken mesafedir. Talaş kaldırma işleminde önemli rol

oyunayan kesme hızı, kesme zamanını ve dolayısıyla işlemin maliyetini belirler (Akkurt, 1996).

Tornalama ile talaş kaldırma işleminde kesme hızı $V=(\pi.D.n)/1000$ (m/dak) olarak ifade edilir. Burada; V: kesme hızı (m/dak), D: işlenecek iş parçası çapı (mm), n: iş parçasını işlemek için kullanılan tezgaha verilmesi gereken devir sayısı (dev/dak)' nı göstermektedir (Şahin, 2000).

Talaş kaldırma sırasında uygulanması gereken kesme hızı; işlenecek malzeme, kesici takım malzemesi, talaş derinliği, ilerleme miktarı, soğutma sıvısı, tezgah rijitliği ve tipi gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. İdeal kesme şartlarının belirlenmesinde düşünülmesi gereken en önemli faktör, uygun kesme hızı seçiminin yapılmasıdır. Kesme hızı düşük seçilirse, az parça üretilir ve takım ucunda talaş sıvanması meydana gelebilir. Bu durum takım değişikliğini gerekli kılar. Ancak kesme hızı yüksekse, takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliği gerekecektir. Bu nedenle herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir (Şahin, 2000).

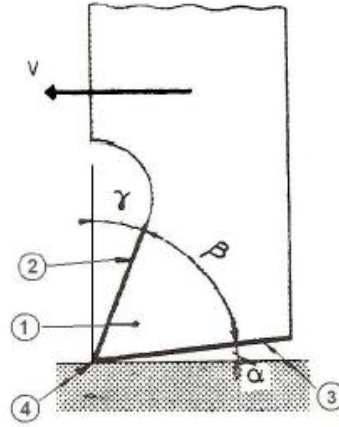
3.2.3 Talaş derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızı

Talaş kaldırma miktarı, bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarı olup, mm^3/dak veya cm^3/dak cinsinden ölçülür. Kesme hızı veya talaş derinliği %25 arttırılırsa talaş kaldırma miktarı da %25 artar, fakat kesici takımın ömrü azalır. Ancak, her bir değişkendeki bir değişiklik, kesici takım ömrüne farklı olarak etki edecektir.

Talaş derinliğindeki değişimler, takım ömrü üzerinde en az etkiye sahiptir. İlerleme miktarındaki değişmelerin takım ömrü üzerinde, talaş derinliğindeki değişikliklerden daha büyük etkisi vardır. Kesme hızındaki değişiklikler ise takım ömrü üzerinde, hem talaş derinliği hem de ilerleme miktarından daha büyük etkiye sahiptir (Şahin, 2000).

3.2.4 Takım geometrisi

Talaş kaldırma olayının en önemli elemanı takımdır. Görünürde birbirlerinden çok farklı olmalarına rağmen, tüm takımlar kesici ve tutturma olmak üzere iki kısımdan oluşurlar. Keskin uç, ağız veya diş olarak adlandırılan, takımların kesici kısmı tüm takımlar için geçerli olmak üzere Şekil 3.4.' te gösterildiği gibi ortogonal bir tarzda temsil edilebilir.



Şekil 3.4. Takım yüzeyleri (Akkurt, 1996).

Kama şeklinde olan takımın kesici kısmı (1), talaşın temas ettiği talaş yüzeyi (2) ve parçanın işlenmiş yüzeyine dönük serbest yüzey (3) ile sınırlıdır. Bu iki yüzeyin kesişmesi takım ucunu (4) meydana getirir.

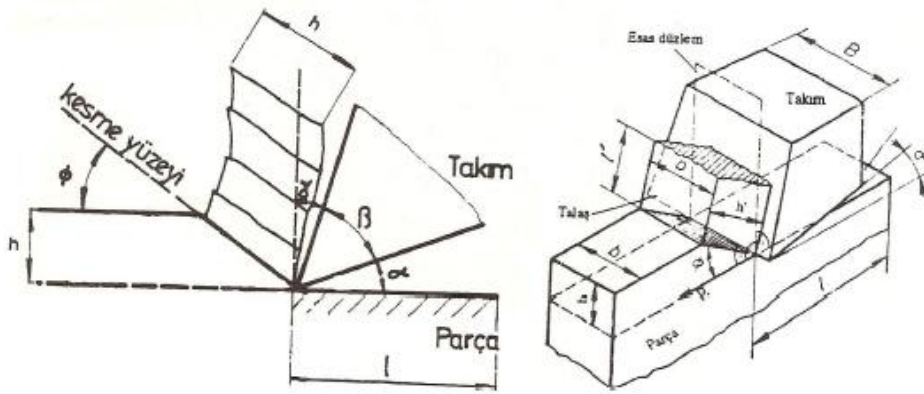
Parçanın işlenmiş yüzeyi ve ona dik bir doğru koordinat sistemi olarak seçilirse; bu koordinat sistemine göre takımın kesme özelliğini tayin eden açılar olan; dikey doğru ile talaş yüzeyi arasında talaş açısı (γ), kesici kısmının kama açısı (β) ve serbest yüzey ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasında serbest açı (α) meydana gelir. Bu açılar arasında $\gamma + \beta + \alpha = 90^\circ$ bağıntısı vardır.

Eğik kesmede takım ağzının kesme hızı doğrultusu ile yaptığı, eğim açısı (λ) denilen bir açı daha vardır. Bu açı dik ortogonal kesmede 0° dir. Takımın ucunda yapılan yuvarlatma yarıçapının (r) değeri, takım geometrisini tamamlayan bir faktördür (Akkurt, 1996).

3.2.5 Talaş geometrisi

İş parçası üzerinden kaldırılan malzemem tabakasının talaşa dönüşmesi, kesme bölgesi denilen bir bölgede meydana gelmektedir. Basitleştirmek amacı ile bu bölge yerine kesme düzlemi denilen bir düzlem alınmaktadır.

Takım, parça üzerinden kesme yönü denilen belirli bir doğrultuda talaş kaldırır. Talaşın parça üzerinden ayrıldığı yüzeye kesme yüzeyi denir. Kesme yüzeyi, kesme yönü ile kesme açısı (ϕ) adı verilen bir açı meydana getirir. Şekil 3.5.'te kesme yüzeyi boyunca parçadan ayrılacak olan talaşın boyutları; genişliği (b) ve kalınlığı (h) ile ifade edilmektedir (Akkurt, 1996).



Şekil 3.5. Talaş geometrisi (Akkurt, 1996).

3.2.6 Kesme kuvveti ve kesme gücü

Talaş kaldırma olayını gerçekleştirmek için takıma, kesme düzleminde meydana gelen dirençlere karşı, talaş kaldırma kuvveti adını taşıyan bir kuvvet uygulanır. Kesme düzlemindeki kuvvetler; kesme kuvveti, takım ile talaş ve takım ile parça arasındaki sürtünme kuvvetlerinden oluşmaktadır. Kesme düzleminde, kesme direnç kuvvetinin yanı sıra takımı parçadan ayırmaya çalışan bir radyal direnç meydana gelmektedir. Dolayısıyla takımı, parça üzerinde tutmak için takıma radyal bir kuvvetin uygulanması gerekir, bu da takımın takım tutturma tertibatına bağlanması ile gerçekleştirilir.

Kesme kuvveti; malzemenin kesme kopma mukavemetine, talaşın boyutlarına, talaş açısı, kesme açısı ve sürtünme açısına bağlıdır. Kesme açısı optimum olduğu durumda, belirli bir malzeme ve talaş boyutları için en düşük kesme kuvveti ve dolayısıyla en düşük talaş kaldırma gücü elde edilir. Kesme kuvveti ve kesme hızı, tezgah motorunun verdiği enerji ile sağlanır (Akkurt, 1996).

3.2.7 Soğutma sıvısı

Takım-talaş ara yüzeyinde oluşan ısı üç yolla, yani ya iş parçası ya takım veya talaşla dışarı çıkmalıdır. İş parçası fazla ısı alırsa, genleşeceğinden dolayı konik bir yüzey elde edilebilir. Kesici takım fazla ısı alırsa, aniden bozulabilir veya takım ömrünü azaltabilir. İdeal olan, çoğu ısının talaş tarafından dışarı taşınmasıdır. Eğer çok az ilerleme ve talaş derinliğinde malzeme kesiliyorsa, oldukça küçük talaş oluşacağından, ısı bu oluşan küçük talaş parçası tarafından emilemez. Bu durumda depolanamayan ısı, takıma ve iş parçasına nüfuz etmeye zorlanır. Soğutma sıvısı kullanılması durumunda ise, talaş ve takım ara yüzeyinde oluşan ısının taşınması daha kolay gerçekleşir. Uygun

soğutma sıvısı kullanıldığında, takım-talaş ara yüzeyinde oluşan ısıнын en az %50' si kesme sırasında talaşla birlikte dışarı tahliye edilir (Şahin, 2000).

3.3 Talaş Biçimleri

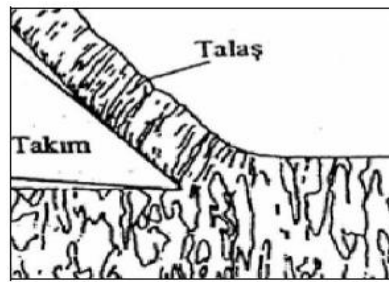
Talaşlı üretim işleminde talaşlar, işlenen malzemenin cinsi, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesici takım geometrisi ve uygulanan talaşlı üretim yöntemine göre çok değişik tiplerde oluşur.

Talaş tipi, kesme şartları ve yüzey kalitesi hakkında bilgi veren bir faktördür. Ayrıca talaş tipi, talaşlı imalatın zor ve kolay gerçekleşmesinde de etkili olmaktadır. Zira uzun ve sürekli talaşın çıkması, takıma ve tezgâha dolaşmasına, malzeme yüzey kalitesinin bozulmasına ve kesici ucun zarar görmesine neden olur (Aydın, 2002).

Oluşum mekanizmasına göre genel olarak sürekli, kesikli ve sıvanmalı sürekli talaş olmak üzere üç farklı talaş tipi mevcuttur.

3.3.1 Sürekli talaş

Bu talaş tipi genellikle sünek malzemelerin yüksek hızlarda işlenmesi sonucunda oluşur. Sürekli talaş, kesici takımın önünde talaş kaldırılan malzemenin sürekli deformasyonu ile makro düzeyde çatlaksız olarak meydana gelir. Talaş, yüksek deformasyondan dolayı sertleşir ve sertliğin artması ile kesici takım aşınmasını artırır. Sürekli talaşlar bant, spiral veya değişik helisel şekillerde olabilirler. Sürekli talaş tipi Şekil 3.6.'da görülmektedir (Aydın, 2002).



Şekil 3.6. Sürekli talaş (Aydın, 2002).

Sürekli talaş şu şartlar altında ortaya çıkmaktadır:

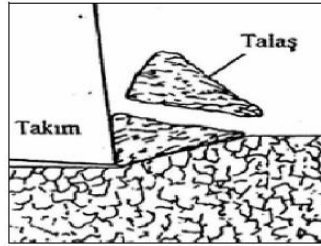
- Sünek iş parçası,
- Talaş derinliği az olan parça ve nispeten düşük ilerleme miktarı,
- Keskin kesici uçlu takım,
- Büyük talaş açılı kesici uç,

- Yüksek kesme hızları,
- Kesme sıvısı kullanılarak kesici uç ve iş parçasının soğuk tutulması,
- Talaş akma direncinin minimum olması (Şahin, 2000).

Sünek malzemelerde sürekli talaş tipinin oluşması, kesme koşullarının iyi, işlenen yüzeyin kalitesinin de çok iyi olduğunu gösterir. Ancak bilhassa bant şeklinde sürekli talaş, tezgâhın çeşitli tertibatlarına ve iş parçasına sarılarak işlenen yüzeyi bozabilir; gerek tezgâh, gerekse işçi için bir tehlike unsuru oluşturulabilir. Bu nedenle, bu gibi hallerde talaşın kırılması için çeşitli yöntemler uygulanabilir (Akkurt, 2004).

3.3.2 Kesikli talaş

Kesikli talaşlar, dökme demir ve sert bronz gibi gevrek malzemeler ile bazı sünek malzemelerin uygun olmayan (düşük kesme hızı ve fazla paso derinliğinin olması) kesme şartlarında işlenmesi durumunda oluşur (Şekil 3.7.). Talaş işleme esnasında aşırı plastik deformasyona uğrar. Malzeme gevrek ise kısmen şekillenen talaş birincil deformasyon bölgesinde kırılır (Aydın, 2002).



Şekil 3.7. Kesikli talaş (Aydın, 2002).

Sünek malzemeler işlendiğinde tezgâh titreşimi veya takım otlaması mevcutsa yine kesikli talaşlar oluşur. Bunlara ilaveten kesikli talaşlar;

- Gevrek iş malzemelerinde,
- Küçük talaş açılı kesici takım ile kesme yapıldığında,
- Fazla talaş derinliklerinde ve kaba ilerleme miktarlarında,
- Düşük kesme hızlarında,
- Aşırı tezgâh titreşimi ve takım otlaması mevcut olduğunda oluşur.

Düşük hızlarda veya otomat çeliklerinde manganez sülfat atıkları veya grafit lamelli dökme demirler gibi gerilim konsantrasyonu ihtiva eden malzemeler işlenirken, kesikli talaşlar (kopuk) oluşmaktadır (Şahin, 2000).

3.3.3 Sıvanmalı sürekli talaş

İşlenen yüzey boyunca devamlı olarak çıkan talaşın kesici takım yüzeyine yapışmasıyla oluşan talaş tipidir (Şekil 3.8.). Sıcaklığın düşük olduğu kesme hızlarında, soğutma sıvısı kullanılmadığı durumlarda, kesici takım önündeki metale uygulanan basma kuvveti ve aşırı sürtünmeden dolayı talaşın sürekli deformasyona uğramasıyla, kesme düzlemine dik açıdaki bir düzlem boyunca talaştan kopmalar olur. Talaştan ayrılan küçük parçacıklar takıma yapışır. Kesici takıma sinterlenerek yığılan bu parçacıklar yığıntı talaş (YT) olarak isimlendirilir (Aydın, 2002).



Şekil 3.8. Sıvanmalı sürekli talaş (Aydın, 2002).

Kesme işlemi devam ettiği sürece kesici takıma daha fazla parçacık yapışır ve daha büyük talaş sıvanmasının oluşması da kesme işlemini etkiler (Şekil 3.8.). Daha sonra bu yığılmış parçalar belirli bir noktaya ulaştığında kopar. Bu kopan ufak parçaların bir kısmı hem talaş hem de iş parçasına yapışır. Kesme işlemi esnasında, talaşın yığılması veya yığılan kısmın kopması hızlı şekilde gerçekleşir ve çok sayıda sıvanan talaş parçacıkları işlenmiş yüzeyi kaplar. Bu ufacık parçacıkların yapışması ve işlenmiş yüzeye çentik etkisi yapması sonucunda kötü yüzey kalitesi elde edilmiş olur. Kötü yüzey kalitesine ilaveten, sıvanmalı-sürekli talaş kesici takım ömrünü de azaltır.

Yapışık sıvanmış talaş oluşumu;

- Kesme hızı artırılarak,
- Pozitif talaş açısı kullanılarak,
- Talaş derinliği azaltılarak,
- Soğutma sıvısı kullanılarak vb.

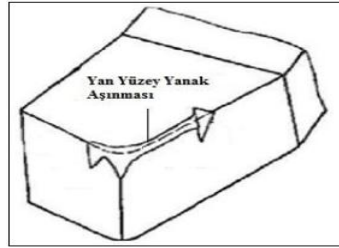
uygulamalarla kontrol altına alınabilir (Şahin, 2000).

3.4 Takım Aşınması

Aşınma, sürtünen yüzeylerden malzeme kaybı olarak tanımlanır. Kesici takımda kesme esnasında aşınma mekanizmalarına bağlı olarak bir takım aşınmalar meydana gelmektedir. Bu aşınma türleri aşağıda açıklanmıştır (Ucun, 2007).

3.4.1 Yan yüzey yanak aşınması

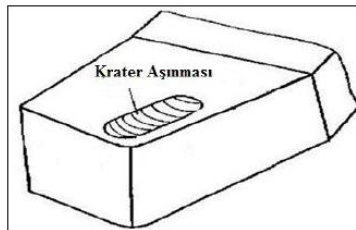
Takımın yan kenar yüzeyi ile işlenmiş iş parçası yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı meydana gelen aşınma türüdür (Şekil 3.9.). Abrasif bir aşınma mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Aşınma bölgesinin alanı aşınma miktarının bir ölçümü olarak alınır. Optik mikroskoplar kullanılarak aşınma sınırları tayin edilebilir. Aşınma miktarı ISO3685 standardına göre genellikle 0.3 mm olduğunda takım ömrünü tamamladığı kabul edilir.



Şekil 3.9. Kesici takımda meydana gelen yan yüzey yanak aşınması (Ucun, 2007).

3.4.2 Krater aşınması

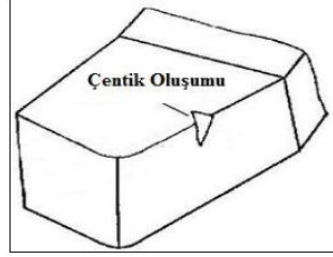
Talaş kaldırma esnasında takım-talaş temas boyunca aşırı sürtünme ve sıcaklığın etkisiyle meydana gelen aşınma türüdür. Talaş yüzeyinde abrasif ve difüzyon aşınma mekanizmaları nedeniyle oluşur. Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım talaş malzemesi arasında talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar. Aşınma talaşın takım yüzeyinden akmasıyla ya sert partiküllerin kazıma etkileri sonucunda ya da talaş sıcaklığının yoğun olduğu kesimlerin difüzyon etkisi neticesinde meydana gelmektedir (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Takımda meydana gelen krater aşınması.

3.4.3 Çentik oluşumu

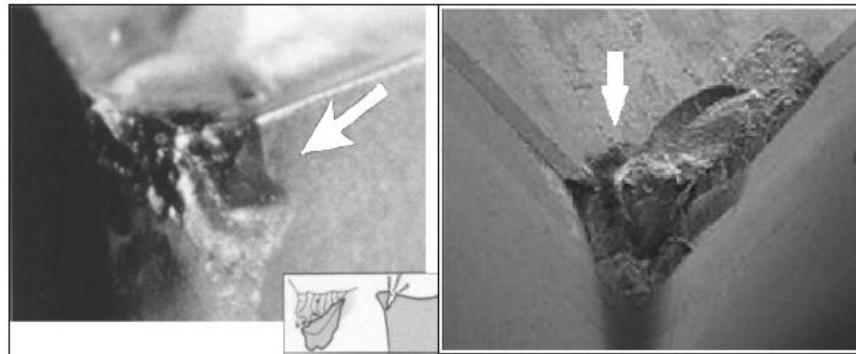
Esas kesici kenarın kestiği yerlerde önem kazanan özel bir aşınma tipidir ve bazen takımın değiştirilmesini gerektirebilir. Çentiğin profili ve uzunluğu VBN, büyük ölçüde takımın yerleştirilmesindeki hassasiyete bağlıdır (Özçatalbaş, 1996). Çentik aşınmasının belirli bir değerin üstüne çıkması ince işlemlerde yüzey kalitesini etkiler ve kesici kenar zayıflar (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Kesici takımda meydana gelen çentik oluşumu.

3.4.4 Kesici takımın kırılması

Kesici takımların kırılmasında en önemli unsur tokluktur. Sertlik değeri olan kesici takımlar daha yüksek tokluğa sahipken, seramik kesicilerin tokluk değeri oldukça düşüktür. Bu nedenle darbeli talaş kaldırma işlemlerinde seramik takımlar kullanılmaz. Takım uç dayanımını arttırmak için önemli bir parametre de burun uç yarıçapıdır. Kesiciye ait burun uç yarıçapının artırılması kesme esnasında titreşimlerin azalmasına ve daha iyi bir yüzey kalitesinin elde edilmesine yardımcı olur. Kesici takımlarda görülen en sık kırılma tipleri Şekil 3.12’de görüldüğü gibi kabuk halinde kırılma, çatlama, kırıntı oluşma ve kesici kenardan parça ayrılması şeklinde meydana gelmektedir. Seramik kesici takımlar gibi tokluğu düşük olan takımlarla yapılan aralıklı kesme işlemlerinde ve kesme esnasında tekrarlı yüklerin olduğu kesme koşullarında bu tip kırılma olayları görülmektedir.



Şekil 3.12. Kesici takımda meydana gelen kırılmalar (Ucun, 2007).

3.4.5 Kesici takımda yığma ağız faktörü (Built-up Edge Factor)

Talaşlı üretim işlemi esnasında işlenen malzemenin kesici takım üzerinde katmanlar şeklinde tedrici (kademeli) olarak birikmesi ile oluşan yığıntı talaş (YT), talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takım ucunda oluşabilir (Çiftçi, 2005).

YT kesici kenar geometrisinde olumsuz bir değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi YT biçimindeki kaynaklanmış malzemeyle birlikte kopup uzaklaşabilir. Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de YT oluşumunda önemli rol oynar. Düşük sıcaklık ve yüksek basınçlar, iş malzemesinin talaştan takımın talaş yüzeyine basınç kaynağı yapmasına sebep olur.

YT büyüdükçe kararsız hale gelir ve sonunda devam eden talaşlı üretim işlemi sonucu maruz kaldığı gerilmelere dayanamaz ve kırılarak kesici takımdan ayrılır. Çoğunlukla YT' nın bir kısmı, kesici takıma temas eden talaş yüzeyi ile uzaklaştırılır kalan kısım da iş parçası yüzeyinde kalır (Çiftçi, 2005). Yüzey pürüzlülüğü YT oluşumunda genellikle ilk zarar gören unsurdur, ancak; bu tip aşınmanın devam etmesine izin verilirse çok çabuk kesici kenar kırılması hatta takım kırılması riski vardır. Ancak bazı durumlarda kesici takım aşınmasının yerini kesici uçta hızlı kırılmalar alabilir. Deformasyon sertleşmesi ve katmanların sıra ile birikmesi sonucu oluşan YT' ın sertliği iş parçası malzemesine göre önemli derecede yüksektir. YT çoğunlukla istenmemesine rağmen, kararlı ve ince bir YT takımın talaş yüzeyini koruyarak aşınmayı azalttığı için çoğunlukla faydalı kabul edilir.

Kesme hızı arttıkça YT küçülür ve oluşumu elimine edilir. YT oluşma eğilimi aşağıdakilerle de azaltılabilir:

1. Kesme derinliği azaltılarak,
2. Talaş açısı arttırılarak,
3. Keskin bir takım kullanılarak,
4. Etkin bir soğutma sıvısı kullanılarak.

Genelde, iş parçası ve kesici takımın birleşme eğilimi yüksek olursa YT oluşumu için eğilim de artar (Çiftçi, 2005).

3.5 İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, talaşlı üretimle şekillendirilmek üzere seçilen hammaddenin özelliklerinin (alaşım elementleri ve mikroyapı özellikleri ile sertlik, akma ve çekme

dayanımı, ısı iletkenlik, taneler arası bağ özellikleri, elastik modülü gibi parametreleri), seçilen talaşlı üretim yöntemindeki parametrelere (işleme şekli, tezgah gücü ve özellikleri, takım tutucu ve formu, kesici uç malzemesi ve formu, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, soğutma tipi ve yöntemi, vb.) bağlı olarak, hammaddenin ve talaşlı üretim yönteminin değişkenlerinin ayrı ayrı ve bütün olarak sergiledikleri davranışlardır.

İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır (Shaw, 2005).

Malzemeler için işlenebilirlik değerleri, en ideal durumlarda bile, daha ileri düzeyde en uygun şekle sokma için başlangıç değerlerine kılavuzluk eder. Sınırlı bir malzeme dizisindeki belli sayıda operasyonun gerçekleştirilmesinde bir atölye veya işletme, işleme sırasındaki zorluklar veya kolaylıklara göre kendi önceliklerini benimser. İşlenebilirliği geliştirmek için; döküm kalitesini iyileştirmek, malzemeyi kolay işlenebilir hale getirmek veya değiştirmek, takım malzemesini, takım geometrisini, bağlama şartlarını veya kesme sıvısı vb. değiştirmek gerekebilir. En geniş anlamda işlenebilirlik kesici takım–iş parçası çiftine ait aşağıda verilen kriterlerce tanımlanan bir özellik olarak aşağıdaki olduğu gibi gruplandırılabilir (Çakır M.C., 2000).

1. Takım ömrü
2. Talaş oluşumu
3. Yüzey kalitesi
4. Talaş Debisi
5. Kesme Kuvveti / Güç
6. Yığılma Kenar Eğimi

İş parçası malzemesinin kullanılabilir verileri ve gerçekleştirilen işlenebilirlik deneylerinin sonucunda, özel işlemlerde olduğu kadar geniş üretim alanlarında da uygun olarak kullanılabilecek işlenebilirlik verilerinin belirlenmesi mümkündür. Ancak bir grup işlem için iyi olarak kabul edilen işleme koşulları bir başka grup işlem için uygun olmayabilir.

3.6 İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

3.6.1 Mikroyapının etkisi

Metalin işlenebilirliği, mikroyapısı ile ilgili olup, yapıda sert parçacıkların bulunması kesici takım ömrünü düşürürken, yapıdaki kristaller irileştikçe takım ömrü artar (Şahin, 2001).

3.6.2 Isıl işlemin etkisi

Metal veya alaşım tavlınırsa mikroyapı değişecektir. Çelikte belirli kimyasal ve fiziksel değişiklikler, çeliğin işlenebilirliğini iyileştirir (Şahin, 2001).

3.6.3 Alaşım elementlerinin etkisi

Alaşım elementlerinin, takım ömrüne etkisi farklıdır. Karbon miktarı azaldıkça, işlenebilme özelliği düşer. Çünkü süneklik arttığından malzeme, takım ucuna yapışarak körlenmeyi hızlandırmaktadır. Diğer taraftan karbon oranı arttırıldıkça malzemenin sertliği arttığından, takım aşınması hızlanır (Şahin, 2001).

3.6.4 Mekanik özelliklerin etkisi

Malzemelerde genelde, sertlik ve kopma dayanımı arasında ilişki bulunmaktadır. Bir malzemenin sertliği ve kopma dayanımı arttıkça, işlenebilme özelliği o derece azalmaktadır (Şahin, 2001).

3.7 Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü

3.7.1 Yüzey kalitesi

Talaşlı üretimde istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesi her zaman önemli çıkış parametrelerinden birisidir. Yüzey hassasiyeti; yüzey pürüzlülüğü, yüzey çatlakları, kimyasal değişme, yanma, temperlenme gibi termal hasarlar ve kalıcı gerilme gibi birçok parametreyi içine alan terimdir. Bunlardan yüzey pürüzlülüğü talaş kaldırma işleminde önemli bir çıkış parametresi olmakta iken; diğerleri ise genelde taşlama işleminin birer çıkış parametresidir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) gereksinimi yaklaşık olarak $1,6 \mu\text{m}$ 'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 no' lu yayımla yüzey

kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir (Özses, 2002).

3.7.2 Yüzey kalitesi elemanları

Gerek ANSI gerekse ISO standardına göre yüzey kalitesi, kabalık, dalgalık, izler ve hatalar olmak üzere 4 elemandan oluşmaktadır. Yüzey yapısı ile ilgili olan bu dört bileşenin tanımları şöyle özetlenebilir:

3.7.2.1 Pürüzlülük veya kabalık

İmalat işlemlerinden kaynaklanan genellikle daha ince düzensizliklerden oluşur, ilerleme izleri dâhil diğer belirsizlikler örnekleme uzunluğunu sınırlar.

3.7.2.2 Dalgalık

Pürüzlülük örnekleme uzunluğundan daha büyük olan geniş aralıklı düzensizlikleri kapsar ve dalgalık, tezgâh, iş parçası defleksiyonu, ortalama, titreşim, ısı davranış veya kesici takım aşınmasından ileri gelebilir.

3.7.2.3 Hatalar

Bir yerde olan veya yüzey üzerinde geniş aralıklı olarak oluşan amaçsız düzensizliklerdir. Yüzey üzerinde bulunan bu kusurlar; çatlaklar, delikler, artıklar, menteşeler ve çizgiler şeklinde olup bütün bunları kapsar.

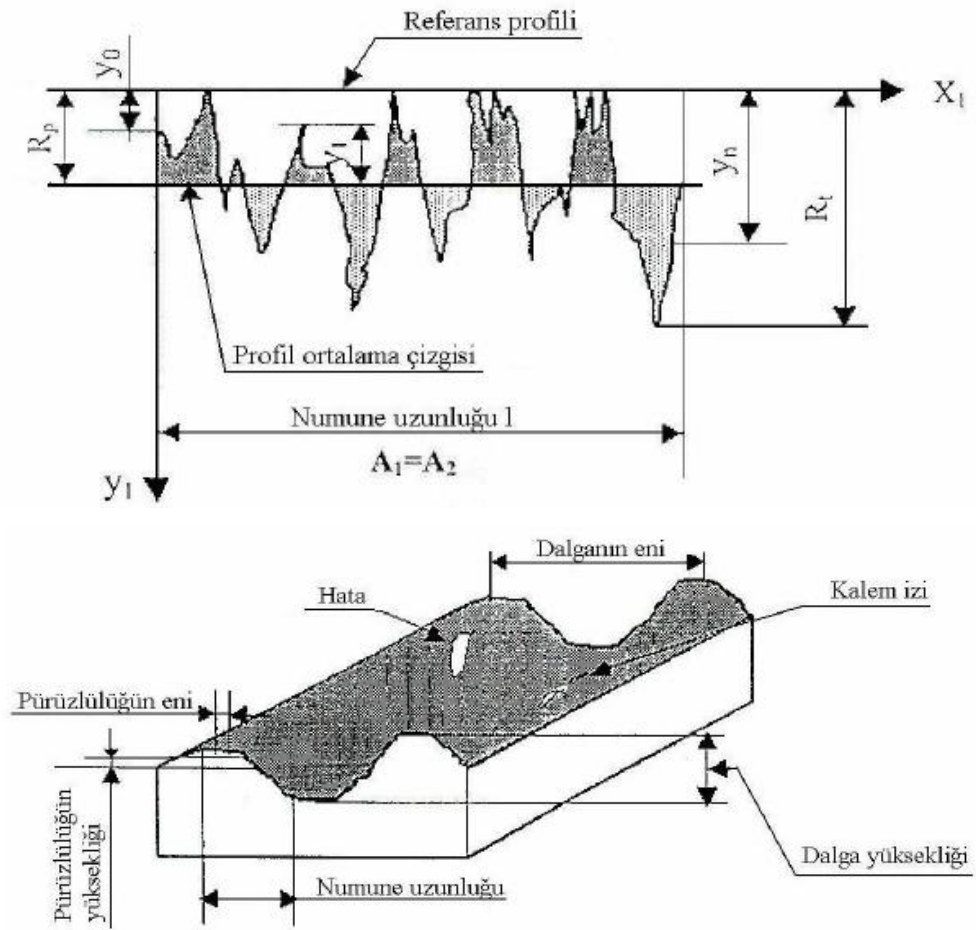
3.7.2.4 Bitirme yüzeyi

Bir yüzeyin genel kalitesini göstermek için kullanılan geniş bir terimdir. Ancak “İyi bir bitirme yüzeyi” düşük pürüzlülük değerlerini ve tersi de her zaman “yüksek pürüzlülük” değerlerini gösterir.

3.7.3 Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi

İşleme metodu, kesici takımın cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısı faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerinde etkisiyle işlenmiş yüzeylerde genellikle istenmediği halde bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir. İşlenmiş yüzeylerde, işleme metodu ne olursa olsun yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır (Güllü, 1998).

Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlerle yapılır. Bu kriterlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Şekil 3.13.'te yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi gösterilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü; yüzey pürüzlülüğünün derinliği (R_t), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_p) ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_a) gibi kriterlere göre değerlendirilir. (R_t), referans profiline göre en derin pürüzün değeri (R_p), referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe (R_a)'da ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliğinin veya derinliklerin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Akkurt, 1996).



Şekil 3.13. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi (Akkurt, 1996).

3.7.4 Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler (Özses, 2002) (Şahin, 2001):

- 1- Takım tezgâhının rijitlik durumu
- 2- Tezgâhın kinematik mekanizması
- 3- Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar
- 4- Takım tutucu ve katerin rijitlik durumu
- 5- Takım konumlama ve bağlama hataları
- 6- Takım aşınmasının etkileri
- 7- Takım geometrisi
- 8- Kesme parametreleri
- 9- Malzemenin mekanik özellikleri
- 10- Soğutma sıvısının etkileri
- 11- Çevre Etkisi

3.7.5 Yüzey pürüzlülüğü ölçme teknikleri

Çeşitli şekillendirme işlemleri sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için farklı metotlar mevcuttur. Talaşlı imalat metotlarıyla elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde izleyici uca sahip cihazlar kullanılır.

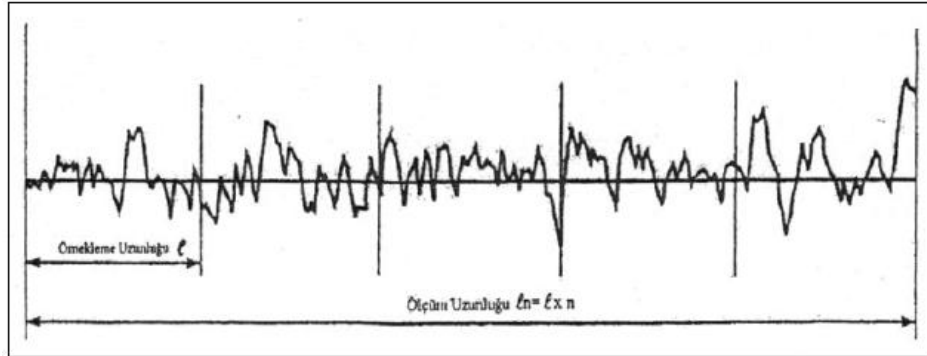
İzleyici uçlu cihazlar: Çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. İzleyici ucun inceliği ölçüm esnasında doğruluk açısından önem arz ettiğinden genelde iğne olarak 90° uç açılı ve $4-12\ \mu\text{m}$ yarıçapa sahip iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir (Bayrak, 2002).

3.7.6 Yüzey pürüzlülük parametreleri

3.7.6.1. Örneklem uzunluğu (l_n) ve örneklem sayısı (n)

Şekil 3.14.'te (l) ile ifade edilen örneklem uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen bütün örneklem uzunluklarının bir araya gelmesi ile (l_n) ile ifade edilen ölçüm uzunluğu oluşur. (l_n)

uzunluğu $n \geq 5$ olmak üzere, örnekleme uzunluğu (l) ile (n) çarpılarak elde edilir ($ln=lxn$) (Gadelmavla ve Koura, 2002).

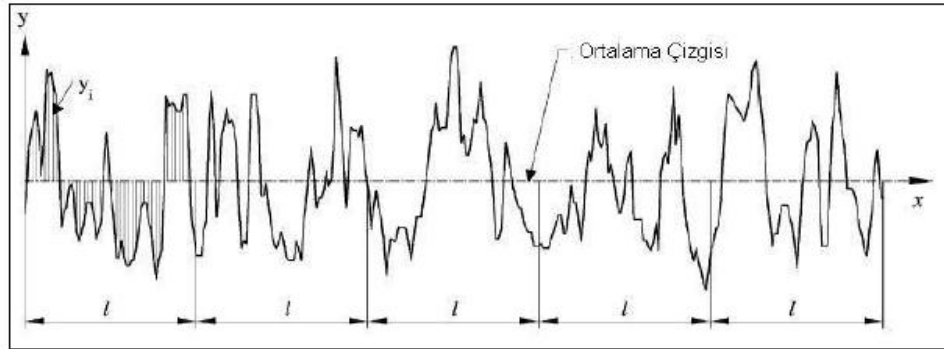


Şekil 3.14. Örneklem uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu (Gadelmavla ve Koura, 2002).

3.7.6.2. Ortalama çizgisi

Ölçme uzunluğu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur (Özs, 2002).

Şekil 3.15.'de tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Gadelmavla ve Koura, 2002).

3.7.6.3 Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a)

Şekil 3.15.'te gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlaması ve ölçmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez. Matematiksel tanımlaması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Gadelmavla ve Koura, 2002).

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (E.3.1)$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (E.3.2)$$

3.7.6.4 Profilin maksimum yüksekliği (R_z) ve maksimum tepe yüksekliği (R_p)

(R_z), on nokta yüksekliği olup örnekleme uzunluğu içinde 5 derin çukur ve 5 en yüksek tepe noktaları arasında ortalama mesafeyi gösterir, fakat buna dik olarak ölçülür. (R_p), ise örnekleme uzunluğu içinde ortalama doğrudan maksimum profil yüksekliğidir. (R_{pm}) ise 5 örnekleme uzunluğu üzerinde belirlenen (R_p)'nin ortalama değeridir. (R_z) ve (R_{pm})'nin matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki şekildedir (Şahin, 2001).

$$R_z = \frac{(R_1 + R_2 + R_4 + R_6 + R_9) - R_3 + R_5 + R_7 + R_8 + R_{10}}{L} \quad (E.3.3)$$

$$R_{pm} = \frac{(Rp_1 + Rp_2 + Rp_3 + Rp_4 + Rp_5)}{5} = 1/5 \sum_{i=1}^5 Rp_i \quad (E.3.4)$$

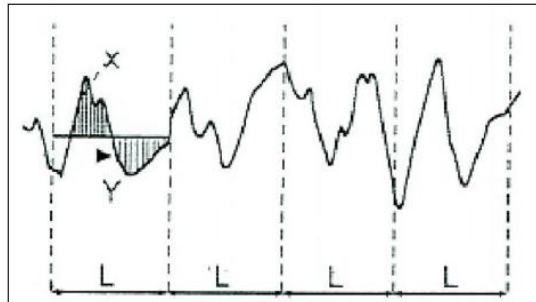
3.7.6.5 Profilin karelerinin ortalamasının karekökü (R_q)

(R_q), profil ortalama çizgisi ile oluşturduğu yükseklik değişimlerinin karelerinin ortalamasının karekökü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.16.). Bu parametre ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a)'dan daha hassas bilgi vermektedir. (R_q) yüzey pürüzlülüğünün matematiksel ifadesi;

$$R_q = \left(\frac{1}{N} \sum Y_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (E.3.5)$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L x^2 |x| dx} \quad (E.3.6)$$

eşitlikleri ile ifade edilebilir (Gezgin, 2007).



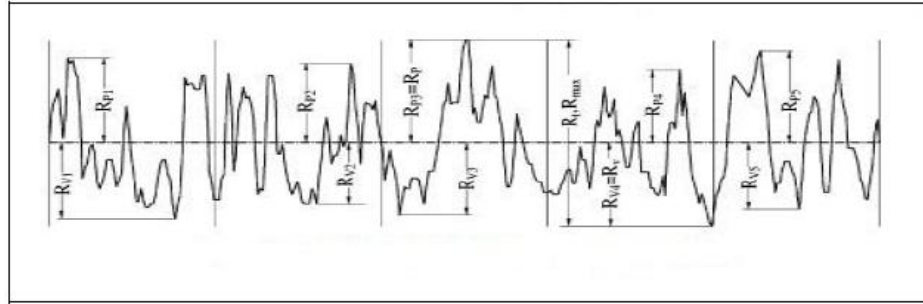
Şekil 3.16. Profilin karelerinin ortalamasının karekökü (Gezgin, 2007).

3.7.6.6 Maksimum profil yüksekliği (R_{max})

Maksimum tepe yüksekliği (R_p); ortalama çizgi üstünde oluşan en uzun tepe yüksekliğidir. Maksimum çukur derinliği (R_v); ortalama çizgisi altında oluşan en derin çukurdur. Maksimum profil yüksekliği (R_t) - (R_{max}); en büyük tepe yüksekliği ile en derin girintinin mutlak olarak toplamıdır (Şekil 3.17.). Matematiksel olarak

$$R_{max} = R_p + R_v \quad (E.3.7)$$

şeklinde ifade edilir.



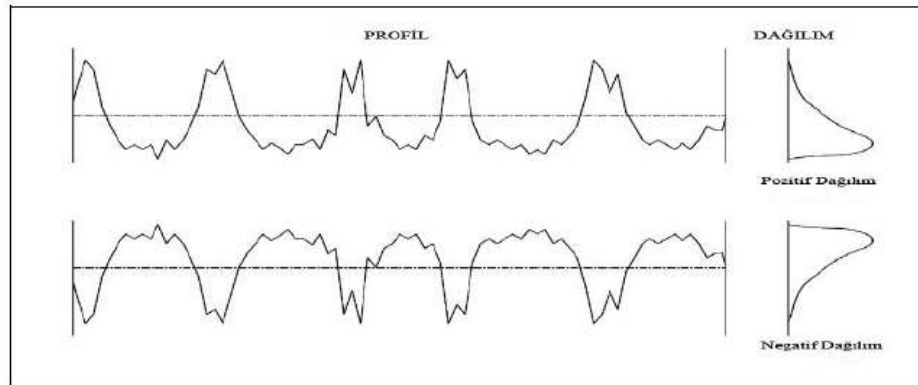
Şekil 3.17. R_v , R_p , R_t - R_{max} yüzey pürüzlülük parametreleri (Gadelmavla ve Koura, 2002).

3.7.6.7 Genlik dağılım eğrisi (R_{sk})

Şekil 3.18.'de gösterildiği gibi bu parametre profil genlik yoğunluğun ortalama çizgiye göre simetrisini belirten dağılım eğrisidir. Aynı (R_a) ve (R_q) değerine sahip profilleri ayırt etmeye yarayan bir değişkendir. Matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir (Gadelmavla ve Koura, 2002).

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_{-\infty}^{\infty} y^3 p(y) dy \quad (E.3.8)$$

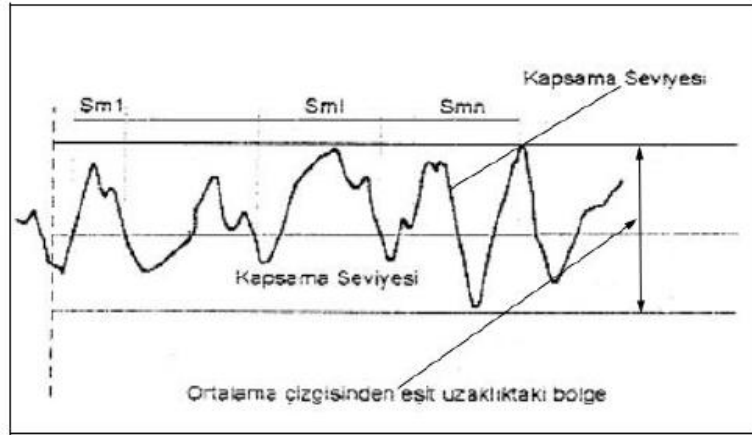
$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} (\sum_{i=1}^N Y_i^3) \quad (E.3.9)$$



Şekil 3.18. Profil ve genlik dağılım eğrisi (Gadelmavla ve Koura, 2002).

3.7.6.8 Profil elemanlarının genişliğinin ortalaması (R_{sm})

Tepe profili ve buna komşu olan vadi profiline profil elemanları denir. Örnekleme uzunluğunda yer alan profil elemanlarının genişliği S_m ile ifade edilmektedir (Şekil 3.19.) (Bayrak, 2002).



Şekil 3.19. Profil elemanlarının genişliğinin ortalaması (Bayrak, 2002).

3.7.7 Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan standartlar

JIS B0601–1982, JIS B0601–1994, AISI, DIN ve ISO gibi oldukça yaygın ulusal ve uluslararası standartlarda, örnekleme sayısı, ölçüm boyu ve toplam kurs boyu aralıkları tarif edilmiştir. ISO standardına göre değerlendirmeler, Çizelge 3.1.'de belirtilmiştir (Can, 2003).

Çizelge 3.1. R_{sm} , R_a , R_q , R_z , R_t ve R_p için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları (Can, 2003).

Örnekleme Uzunluğu, l (mm)	Ölçme Uzunluğu, l_n (mm)	$R_{sm}(\mu m)$	$R_a - R_q (\mu m)$	$R_z - R_t - R_p (\mu m)$
0,08	0,4	$0,013 < R_{sm} < 0,04$	$0,006 < R_a < 0,02$	$0,025 < R_z < 0,1$
0,25	1,25	$0,004 < R_{sm} < 0,13$	$0,02 < R_a < 0,1$	$0,1 < R_z < 0,5$
0,8	4	$0,13 < R_{sm} < 0,4$	$0,1 < R_a < 2$	$0,5 < R_z < 10$
2,5	12,5	$0,4 < R_{sm} < 1,3$	$2 < R_a < 10$	$10 < R_z < 50$
8	40	$1,3 < R_{sm} < 4$	$10 < R_a < 80$	$50 < R_z < 200$

4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Akyüz (2013) tarafından yapılan çalışmada; AZ serisi magnezyum alaşımlarında (AZ01, AZ21, AZ41, AZ61 ve AZ91) (%1' den başlayarak %9' a kadar farklı oranlarda alüminyum içeren), çinko (%1 Zn) miktarı sabit tutularak alaşım içerisinde bulunan Alüminyum (%Al) miktarının sertlik, aşınma direnci ve işlenebilirliğe etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, AZ serisi magnezyum alaşımlarında Al miktarındaki artış miktarına bağlı olarak mikroyapıda bulunan (β - $Mg_{17}Al_{12}$) intermetalik fazın alaşımın sertliğini, aşınma direncini ve işlenebilirliği etkilediği görülmüştür. AZ91 alaşımının mikroyapısında bulunan $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazın alaşımın işlenebilirliğini artırdığı görülmüştür. AZ serisi magnezyum alaşımlarında alaşım içindeki % Al miktarındaki artışa bağlı olarak alaşımların aşınma dirençlerinde artış görülmüştür. AZ serisi magnezyum alaşımlarında aşınma direnci en yüksek alaşım AZ91 alaşımıdır. Bu alaşım işlenebilirliği ise en kolay alaşımdır. En yüksek sertlik değerleri ve kesme kuvvetleri AZ21 de elde edilmiştir. Seri içindeki işlenebilirliği en düşük alaşımdır. Talaşların oluşmasında ve kırılmasında intermetalik fazların etkili olduğu görülmüştür. Talaşlar, AZ91 alaşımında intermetalik fazının etkisiyle, gevrek kırılma ile ve daha kısa boylarda olduğu görülmüştür. İntermetalik fazların kesici takım ucunda FBU (Flank Build Up) oluşumunu artırdığı görülmüştür (Akyüz, 2013).

Akyüz (2011) magnezyum ve magnezyum alaşımlarının işlenebilirliği ile ilgili literatür taraması çalışması yapmıştır. Yapılan çalışma sonucunda işlemede karşılaşılan problemler tespit edilmiştir. Bu problemler talaşlarının tutuşma ve yanma ihtimali ile FBU yani kesici yüzeyindeki talaş yığılmasıdır.

Hou ve arkadaşları AM50A ve AZ91D magnezyum alaşımlarında frezeleme operasyonunda kesme parametrelerinin talaş tutuşması üzerine etkisini araştırmıştır. Kritik kesme derinliği AZ91D için 40 μm ve AM50A 15 μm bulunmuştur. Kesme hızı AZ91D de yaklaşık 754 m/dak (6000 rpm) olduğunda frezeleme sırasında kıvılcım halkası görülmüştür. Yangın tehlikesinin uygun kesme parametrelerinin seçilmesiyle önlenilebileceği belirtilmiştir (Hou, 2010).

Tomac ve arkadaşları (2008), çalışmalarında: AM20, AZ31, AS41, AM60 ve AZ91 magnezyum alaşımlarının 600 m/dk' nın üzerindeki kesme hızlarında kesme açıları üzerinde talaş yığılması olduğunu, Magnezyum matrisinde intermetalik $Mg_{17}Al_{12}$ (β) fazının varlığının magnezyum alaşımlarının işlenebilirliğinde önemli

farklara neden olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, gözenek ve çatlak gibi yüzey kusurlarının da talaş yığılmasını artırdığını yaptıkları çalışmalarda rapor etmişlerdir (Tomac, 2008).

Cao ve Kou (2006), yaptıkları çalışmada; Mg-Al alaşımlarında sıcak yırtılma ve çatlamanın % 8 Al oranında en az olduğunu, Al miktarının % 8'i geçtikten sonra sıcak yırtılmanın daha fazla olacağını tespit etmişlerdir. Ayrıca Al miktarı çok fazla artınca malzemede kırılmalar başladığını da gözlemlemişlerdir (Cao ve Kou, 2006).

Dobrzański ve arkadaşları (2006) MCMgAl₉Zn₁ magnezyum alaşımı ile ilgili yaptıkları çalışmada Al eklentisinin döküm alaşımlarının mikroyapısına etkisini araştırmıştır. Yapılan çalışmada yaşlandırmadan sonra alaşım mikroyapısının eşit olarak katı çözültü α -Mg matrisi ile ikincil faz β -Mg₁₇Al₁₂ içerdiği belirtilmiştir (Dobrzański vd., 2006).

Tönsoff ve arkadaşları (2006), Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının talaşlı işleme operasyonlarında, 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 meydana geldiğini ve bunun sonucunda magnezyum talaşlarının tutuşma ve yanma ihtimalinin yükseldiğini ifade etmişlerdir (Tonshoff vd., 2006).

Friemuth ve Winkler yaptıkları çalışmada AZ91 alaşımı üzerinde kaplamasız, titanyum nitrit (TiN) kaplamalı ve çok kristalli elmas (PCD) (Polycrystalline Diamond) kesici takımların AZ91 magnezyum alaşımının kuru işlemedeki etkilerini araştırmıştır. Kaplanmamış ve TiN kaplama kesici takımlar ile karşılaştırıldığında PCD kesici takımların magnezyum alaşımlarının kuru işlenmesinde üstün bir davranış gösterdiği rapor edilmiştir (Friemuth ve Jens Winkler, 1999).

Tönsoff ve Winkler (1997) de AZ91HP alaşımı ile PCD ve TiN kaplama kesici takım arasındaki etkileşimi araştırmıştır. Magnezyum alaşımlarının yüksek kesme hızlarında (> 900 m/dak) kuru işlemede PCD kesme takımı üstün bir davranış göstermiştir. PCD kesme takımı kullanıldığında iş parçası ile kesici takım arasındaki talaş yığılmasının önlenebileceği belirtilmiştir. PCD kesici takımın aşınmaya karşı iyi direnç gösterdiği için tercih edilebileceği ifade edilmiştir (Tönsoff ve Winkler, 1997).

5. MATERYAL VE METOT

5.1 Malzeme

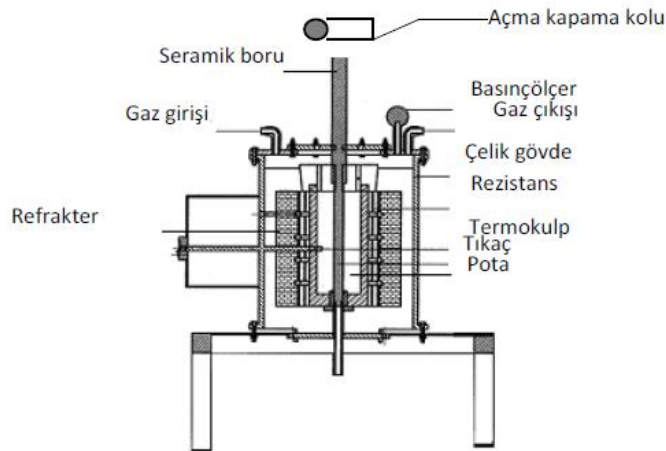
Tez çalışmasında AS serisi magnezyum alaşımları (AS11, AS21, AS41, AS61 ve AS91) kullanılmıştır. AS serisi magnezyum alaşımlarının hazırlanmasında % 99,8 saflıkta Mg külçeleri, %50 Al-Si master alaşımı kullanılmıştır. Deney numuneleri standartlara uygun alaşım hesapları yapılarak hazırlanmıştır. Deneyde kullanılan AS serisi alaşımların alaşım kompozisyonu % değer olarak aşağıda Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. AS serisi magnezyum alaşımları ve alaşım kompozisyonu (%).

Alaşım	Al	Si	Mn	Zn	Mg
AS11	1,20	1,20	0,25	0,10	Kalan
AS21	2,10	1,20	0,20	0,20	Kalan
AS41	4,30	1,20	0,50	0,14	Kalan
AS61	6,30	1,20	0,50	0,14	Kalan
AS91	9,30	1,20	0,50	0,15	Kalan

5.2. Deney Malzemelerinin Elde Edilmesi

Döküm malzemeleri, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nde belirtilen standartlar çerçevesinde çinko, magnezyum, silisyum ve alüminyum elementleri Şekil 5.1.'de gösterilen atmosfer kontrollü ergitme fırınında ergitilerek kokil kalıba döküm yöntemi ile elde edilmiştir. Dökümde kullanılan Atmosfer kontrollü ergitme fırını tez danışmanı tarafından yürütülen BAP(2011–01 BİL.01–003) projesinden temin edilmiştir.



Şekil 5.1. Atmosfer kontrollü ergitme ünitesi kesit şekli.

Ergitme işlemi esnasında ortamın atmosferle temasını kesmek için ergitme suresince ocağa koruyucu gaz verilmiştir. Ocak ortamında % 99.9 saflıkta Argon gazı, kalıp ortamında ise $\text{CO}_2 + \% 0,8 \text{ SF}_6$ gazı kullanılmıştır. Ocağa ve kalıba verilen gaz miktarı yaklaşık 0,5 l/dak olarak seçilmiştir. Ergitme tamamlandıktan sonra açma-kapama kolu ile ocağın içindeki potanın altından kalıba döküm yapılmıştır.

Ocak ve metal sıcaklığı 750 °C olarak seçilmiştir. Ocak istenilen sıcaklığa çıktıktan sonra yaklaşık 10 dakika bekletilerek alaşımın döküm sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Alaşım döküm sıcaklığına ulaştıktan sonra, ergitme ocağı açma kapama kolu vasıtası ile kontrollü olarak ergitme potasının tabanı açılarak kalıba sıvı metalin akması sağlanmıştır. Döküm işlemi, kalıplara koruyucu gaz verilerek; oda sıcaklığında ve 250 °C 'deki kalıp sıcaklıklarında yapılmıştır. Deney kalıplarını istenilen sıcaklığa çıkarmak için, sıcaklığı 1200 °C'ye çıkabilen kalıp ısıtma fırını kullanılmıştır. Yapılan kalıp ısıtma fırını, tekerlikli kriko sisteminin üzerine yerleştirilip, ergitme ocağının altına sürülerek fırın içindeki kalıplara dökümler yapılmıştır.

Kalıptan çap 26 mm ve boyu 220 mm olan AS11, AS21, AS41, AS61 ve AS91 numuneleri elde edilmiştir. AS magnezyum alaşım numunelerinden kaynaklanabilecek döküm hatalarına karşı (çatlak, gaz boşlukları, çukurlar vb.) her seriden en az 20 adet üretim yapılmıştır. Dökümden çıkan deney numuneleri Şekil 5.2. 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Dökümden çıkan deney numuneleri.

5.3 Deneysel Çalışmalar

5.3.1 Mikroyapı

Dökümü yapılan AS serisi magnezyum alaşımlarından 10x10x10 mm boyutlarında numuneler çıkartılmıştır (Şekil 5.3.). Mikroyapı ve mekanik test yapılacak numunelerin yüzeyleri sırası ile 320, 400, 600, 800,1000 ve 1200 mesh'lik zımparalar ile saf su kullanılarak Metkon marka zımparalama cihazında zımparalanıp ve alumina pasta (6µm, 3µm ve 1µm) kullanılarak polisaj keçesinde parlatılmıştır (Şekil 5.4.). Daha

sonra numuneler solüsyon (100 ml etil alkol, 5ml asitik asit, 6 gr pikrik asit ve 10 ml saf su) ile dağlanmıştır.



şekil 5.3. Mikroyapı ve sertlik numunesi.



şekil 5.4. Metkon marka zımparalama cihazı.

Bilecik şeyh Edebalı Üniversitesi'nde Makine ve İmalat Mühendisliği Laboratuvarındaki NİKON Eclipse LV150 marka optik mikroskobunda mikroyapı görüntüleri alınmıştır (şekil 5.5.).



şekil 5.5. NİKON Eclipse LV150 marka optik mikroskop.

Numunelerin faz analizleri, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında PANALYTICAL EMPYREAN marka Yüksek Sıcaklık X-Işını Difraktometresi (HT- XRD) cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.6.).

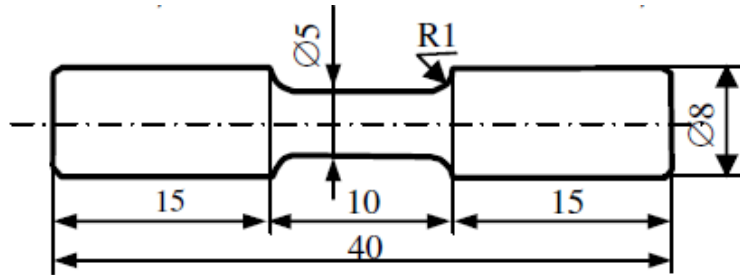


Şekil 5.6. PANALYTICAL EMPYREAN marka Yüksek Sıcaklık X-Işını Difraktometresi (HT- XRD) cihazı.

5.3.2 Mekanik deneyler

5.3.2.1 Çekme deneyi

Numunelerinin akma ve kopma noktalarını belirlemek amacıyla bu numunelerin çekme testleri yapılmıştır. Çekme deneyi için ASTM E 8M-99 standardına uygun çekme numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 5.7. de çekme numunesinin şekli ve ölçüsü görülmektedir.



Şekil 5.7. Çekme deney numunesi (ASTM E 8M-99).

ASTM E 8M-99 standardına göre hazırlanan numunelerin çekme deneyi, Mühendislik laboratuvarındaki SHIMADZU Autograph AG-IC 100 kN marka çekme cihazında 0,5 mm/dakika çekme hızında yapılmıştır (Şekil 5.8.). Her seriden 3 adet çekme testi yapılarak elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 5.8. SHIMADZU Autograph AG-IC 100 kN marka çekme cihazı.

5.3.2.2 Sertlik Denevi

Mikroyapı incelemesinde kullanılan numunelerin yüzeyleri tekrar sırası ile 1000 ve 1200 mesh'lik zımparalar ile saf su kullanılarak Metkon marka zımparalama cihazında zımparalanıp ve alumina pasta ($6\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ ve $1\mu\text{m}$) kullanılarak polisaj keçesinde parlatılmıştır. Numunelerin sertlik deneyleri Makine ve İmalat Mühendisliği Laboratuvarındaki HMV model SHIMADZU marka dijital sertlik cihazında yapılmıştır (Şekil 5.9.). Bu cihazda her numuneye 10 N yük 20 saniye süre boyunca uygulanarak vickers sertlik değerleri elde edilmiştir. Numunelerin bir ucundan diğer ucuna 6 farklı noktasından sertlik ölçümleri alınarak bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 5.9. HMV model SHIMADZU marka dijital sertlik cihazı.

5.3.3 İşlenebilirlik Deneyleri

Dökümden çıkan deney numunelerinden torna tezgâhında 1 mm ön temizlik talaşı alınarak numunelerin üzerindeki döküm işlemi ile oluşmuş ve düzensiz forma sahip tabaka kaldırılmıştır (Şekil 5.9.). Temizlik talaşında numunelerin her biri, eşit ölçülerde olacak şekilde alın ve silindirik tornalama işlemleri yapılmıştır. İşlenen bu numunelerin kumpas ve mikrometre ile ölçüleri kontrol edilmiştir.



Şekil 5.10. Dökümden çıkan ve temizlik talaşı alınmış deney numuneleri.

Deneyde kullanılan işleme parametreleri Çizelge 5.2. 'de verilmiştir. İlerleme oranı 0,100 mm/devir ve talaş derinliği 1 mm olarak sabit alınmıştır.

Çizelge 5.2. İşleme parametreleri.

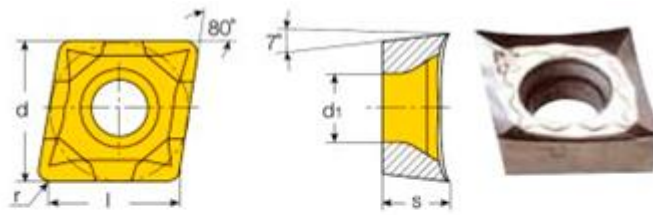
İşleme parametreleri	
İşlem	Tornalama
İlerleme (f , mm/dev)	0.100 mm/dev
Talaş derinliği (a , mm)	1.00 mm
Kesme hızı (V_c , mm/dak)	239, 299 ve 358 mm/dak (4000, 5000 ve 6000 rpm)
İşlenen malzemeler	AS11, AS21, AS41, AS61 ve AS91
Kesme ve Soğutma	Ortogonal, Kuru İşleme
Kullanılan kesici uç	Taegutec CCGT 120408 FL K10

Kesme deneyleri, DMG / MORI SEIKI Marka CTX serisi CTX Alpha 300 GILDEMEISTER CNC Torna Tezgahında ile kuru şartlarda dik kesme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan takım tezgahı Şekil 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.11. CTX Alpha 300 GILDEMEISTER CNC torna işleme merkezi.

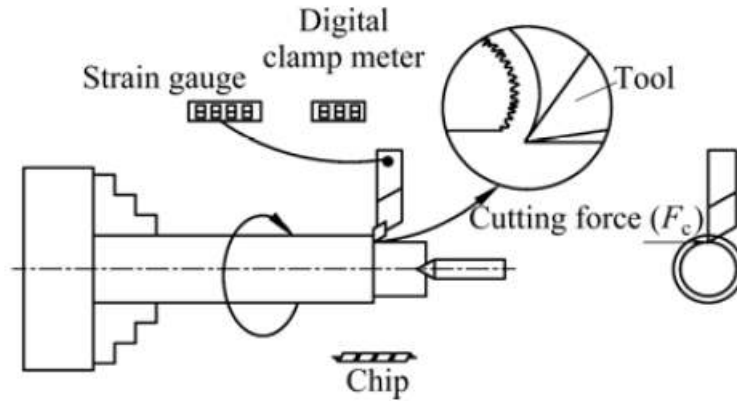
Deneylerde Taegutec marka Taegutec CCGT 120408 FL K10 kesici uçları kullanılmıştır. Şekil 5.12.'de kesici uçların geometrisi ve ölçüleri verilmiştir.



Tanım	Ölçüler (mm)					Kalite
	l	d	s	r	d ₁	K10
CCGT 120408 FL	12.0	12.7	4.76	0.8	5.5	●

Şekil 5.12. Taegutec CCGT 120408 FL K10 kesici uç.

Talaşlı işleme operasyonunda kesme kuvvetlerini okumak için özel olarak tasarlanan straingage kullanılmıştır. Kesici uç ve kater'in tezgâhta kalemlik ve straingage üzerine uygun biçimde bağlanması sağlanmıştır. Montaj işlemi tamamlandıktan sonra deneme talaşları verilerek sistemin düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. Talaşlı işleme sırasında yapılan işlemler incelemek üzere video kaydına alınmıştır. Sorun olmadığı sonucuna varıldığında bir sonraki aşamaya geçilmiştir. Şekil 5.13.'de deneyde kullanılan kuvvet okuma düzenek şeması ve Şekil 5.14. de de düzenek görülmektedir.



Şekil 5.13. Talaşlı İşleme Deney Düzeneği Şeması.



Şekil 5.14. Talaşlı işleme deney düzeneği.

Her bir deney sonunda işlenen yüzeylerin R_a pürüzlülük değerleri TESKON marka TIME TR-200 Portatif Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı ile ölçülmüştür. Her yüzeyde 20 adet ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. Şekil 5.15.'de yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 5.15. TIME TR-200 portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

Talaşlı işlemler sonucunda çıkan talaşlar ve kesici uçlar incelenmek üzere toplanmıştır. Toplanan talaşların optik mikroskop ve fotoğraf makinesinde görüntüleri alınmıştır. Kesici uçların SEM görüntüleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında ZEISS Supra 40 VP marka SEM cihazında 75 μm ve 100 μm büyüklükte alınmıştır (Şekil 5.16.).



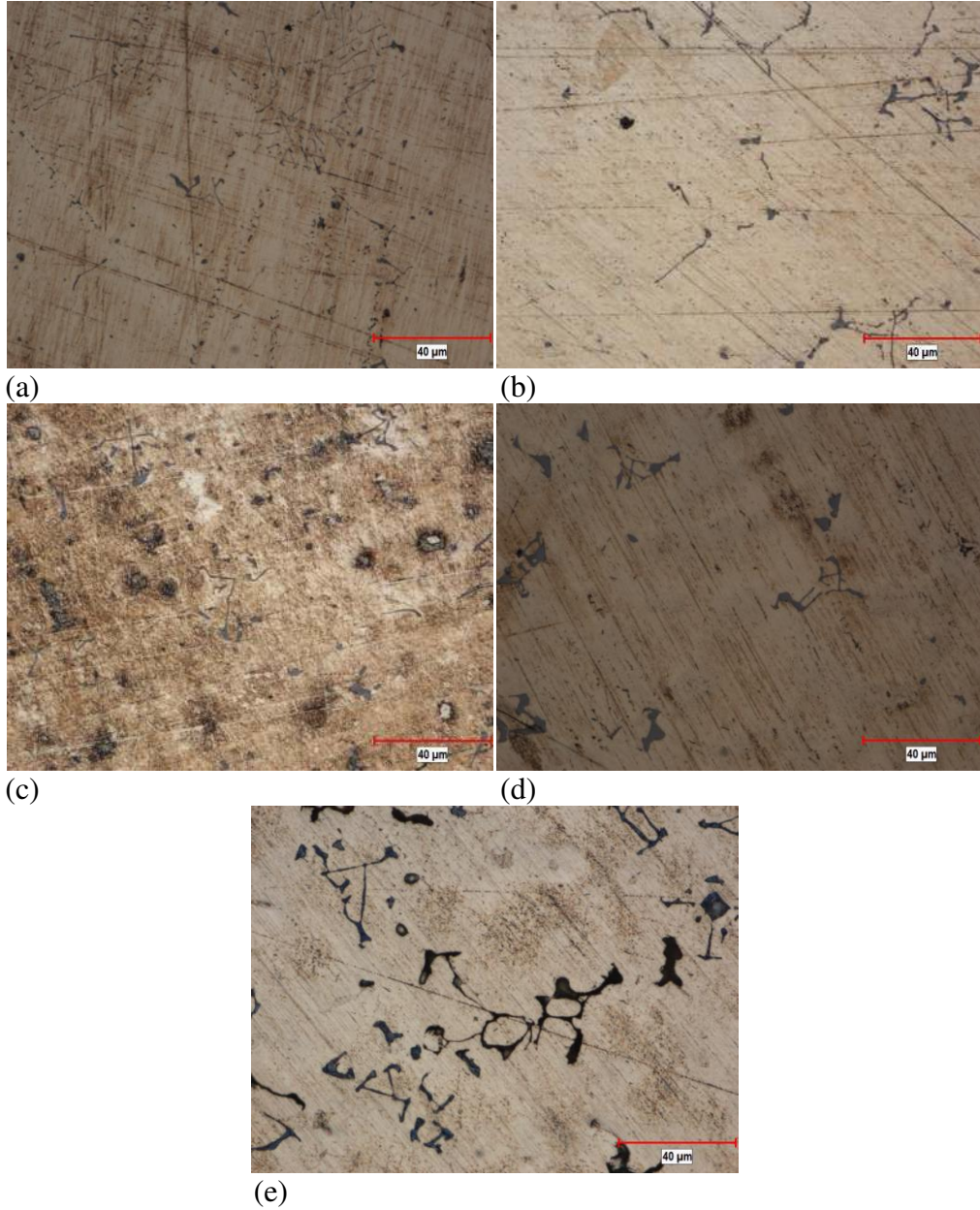
Şekil 5.16. ZEISS Supra 40 VP marka SEM cihazı.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

AS serisi magnezyum alaşımlarının mikroyapı, mekanik ve işlenebilirlik deneylerinde ölçülen değerler ve bu değerlere ait değerlendirmeler bu bölümde verilmiştir.

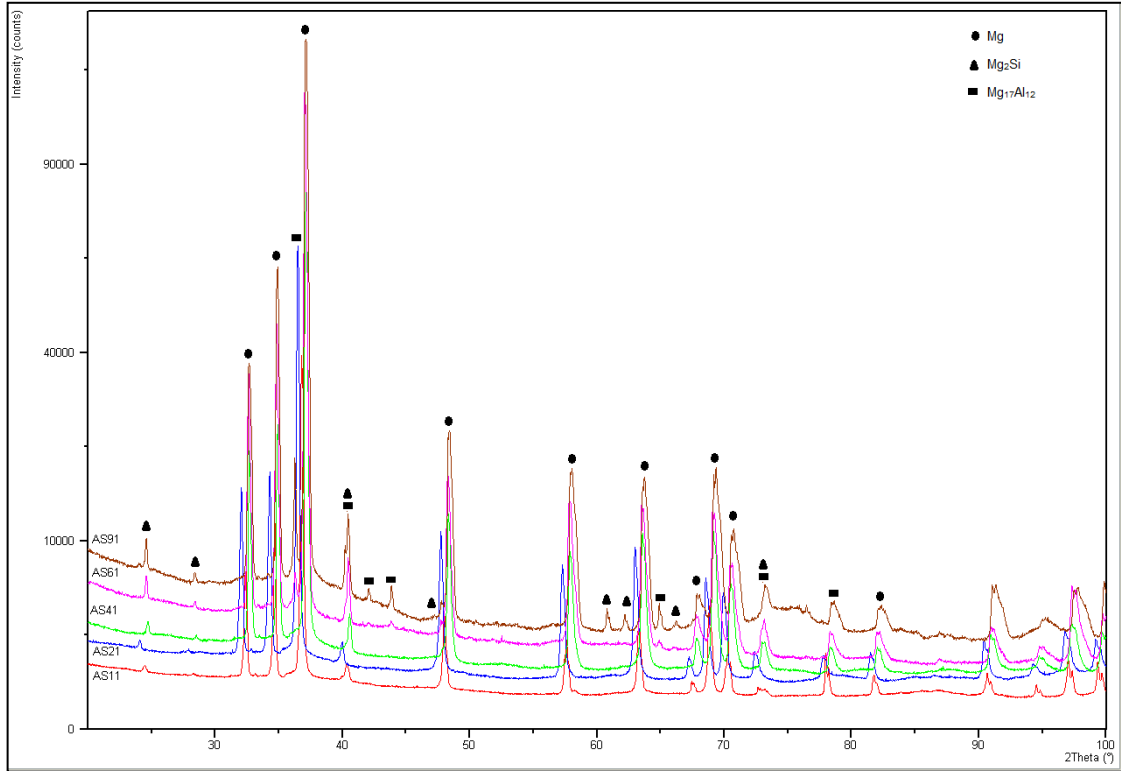
6.1 Mikroyapı Sonuçları

AS serisi magnezyum alaşımlarının optik mikroskopta 50X büyütmelerde elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 6.1. de verilmiştir.



Şekil 6.1. (a) AS11, (b) AS21, (c) AS41, (d) AS61 ve (e) AS91 Mg alaşımlarının 50X büyük büyültmedeki optik mikroskop görüntüleri.

Faz analizi için alınan XRD görüntüleri Şekil 6.2. de verilmiştir.



Şekil 6.2. AS serisi magnezyum alaşımları XRD görüntüleri.

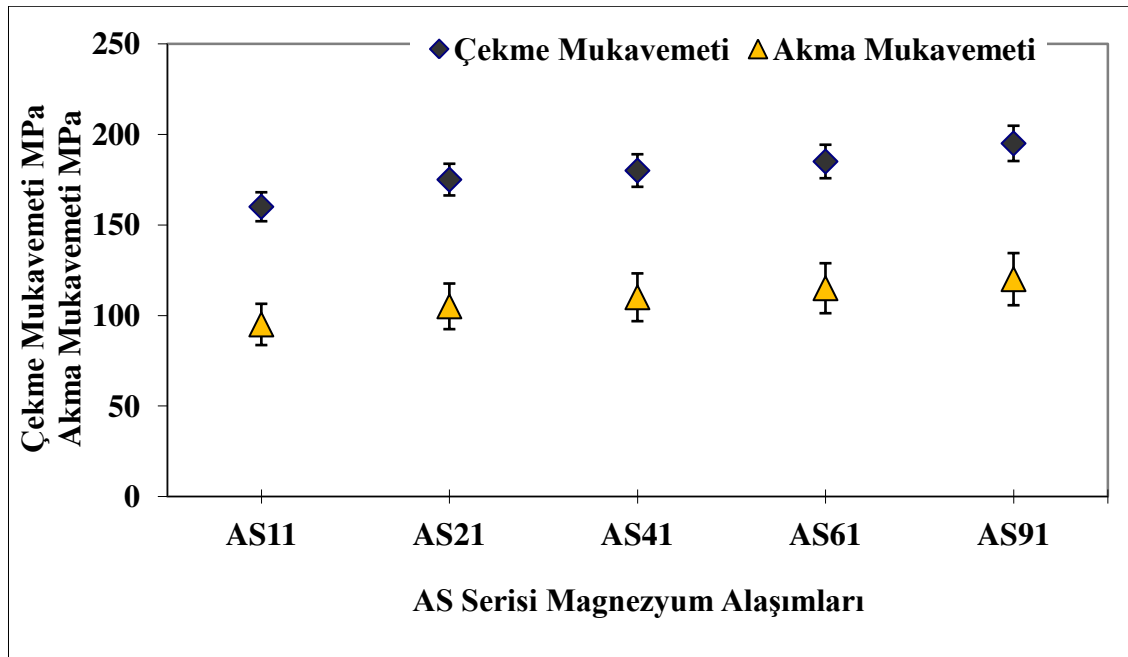
Şekil 6.1. deki AS serisi magnezyum alaşımlarının mikroyapısının α -Mg matrisi ve intermetalik fazlardan (Mg_2Si ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazları) oluştuğu görülmektedir. XRD sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.2.). AS serisinde Al miktarı arttıkça (diğer bir deyişle AS11'den AS91'e doğru) $Mg_{17}Al_{12}$ ve Mg_2Si fazları da artmaktadır. Bunun nedeni, α Mg matris içerisinde Al miktarındaki artış ile birlikte katılaşma sırasında sıvı-katı arayüzeyindeki dentrit kolları önünde Al'un tane sınırlarına doğru ötelenmesiyle Al'ca zengin bölgelerin oluşması sonucu son katılaşan sıvının $Mg_{17}Al_{12}$ fazı olarak katılaşmasına dayandırılabilir. Diğer taraftan matriste artan Al miktarına bağlı olarak Si'un de katılaşma sırasında sıvı-katı arayüzeyinden tane sınırlarına doğru süpürülerek tane sınırlarında Mg_2Si fazının artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada elde edilen mikroyapı görüntüleri literatür ile uyumludur.

6.2 Mekanik Deney Sonuçları

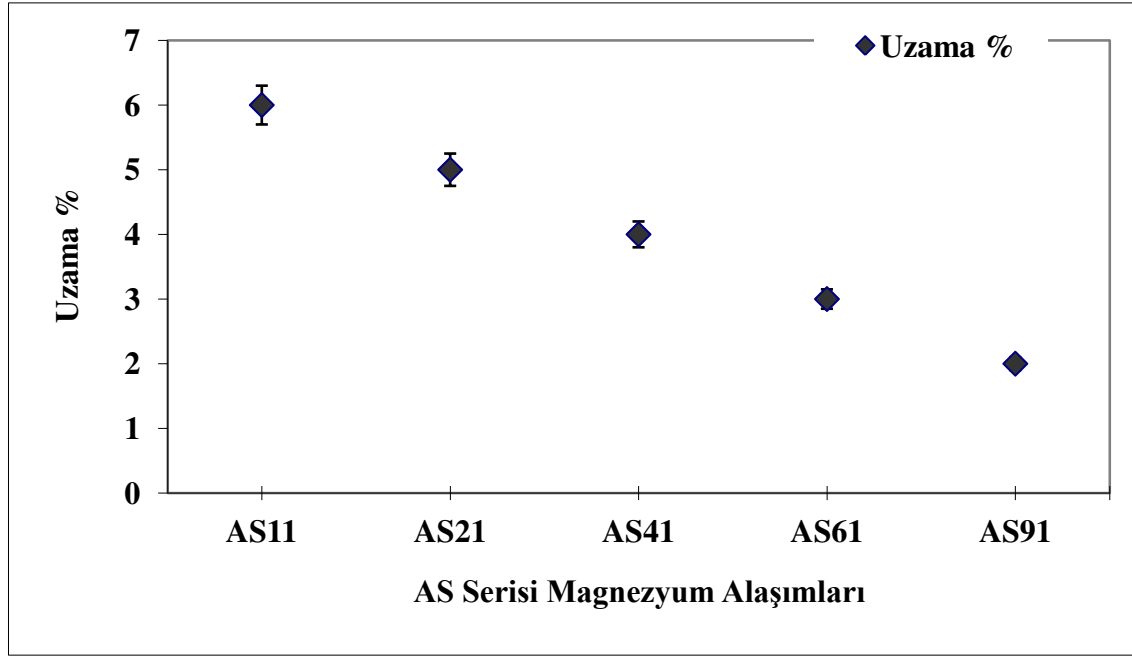
6.2.1 Çekme deneyi sonuçları

Standartlara uygun şekilde çekme deneyi yapılmış ve çıkan sonuçlar grafik haline getirilmiştir. Çekme ve akma mukavemeti grafiği Şekil 6.3. de ve % uzama grafiği Şekil 6.4. de gösterilmiştir.

Şekil 6.3. ve Şekil 6.4. de görüldüğü gibi AS serisi magnezyum alaşımlarında Al eklentisi ile çekme ve akma mukavemeti ile % uzama değişmektedir. AS11 den AS91 e gidildikçe çekme ve akma mukavemeti artmakta ve % uzama ise azalmaktadır. Bu artışın nedeni % Al ile birlikte yapıdaki ikincil fazların oluşumundan kaynaklandığına dayandırılmıştır ki Şekil 6.1.'e bakıldığında tane sınırlarında β ($Mg_{17}Al_{12}$) fazı ağı ve çin yazısı şeklindeki Mg_2Si fazları rahatlıkla görülebilmektedir. Mukavemetteki bu artış ikincil fazların dislokasyonları engelleme etkisine dayandırılabilir.



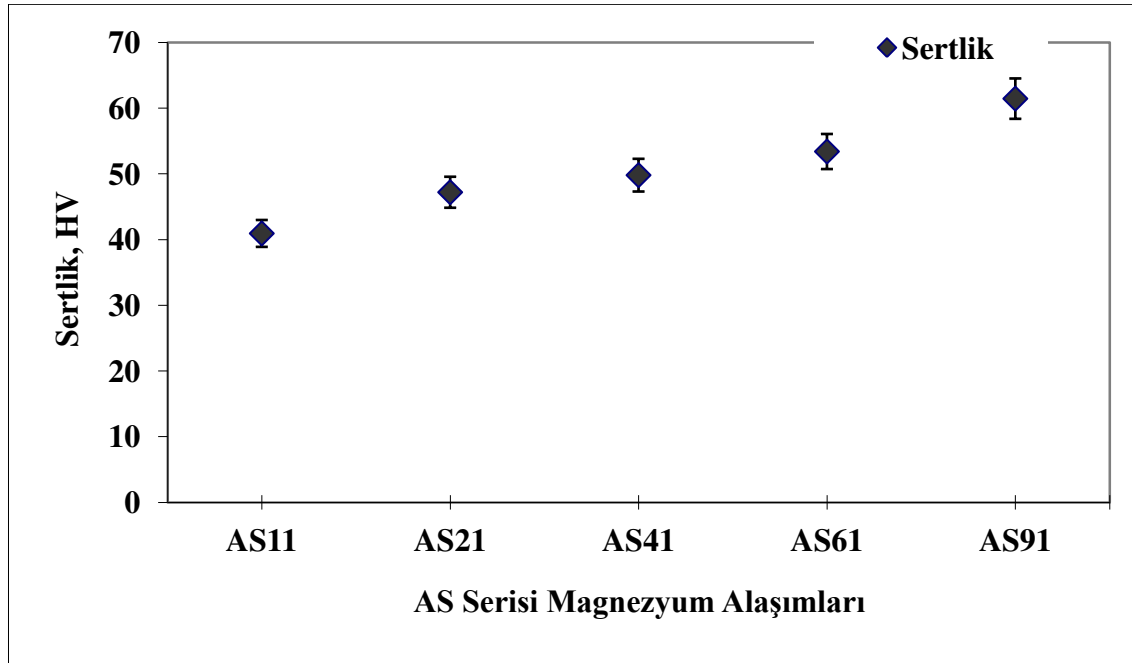
Şekil 6.3. Çekme ve akma mukavemeti değişim grafiği.



Şekil 6.4. % Uzama değişimi grafiği.

6.2.2 Sertlik deneyi sonuçları

Şekil 6.5. 'de Al miktarına bağlı AS Mg alaşımlarının sertliklerinde meydana gelen değişimler verilmiştir.



Şekil 6.5. Sertlik değişim grafiği.

AS serisi magnezyum alaşımlarında Al eklentisi ile sertlik değerleri değişmektedir. AS11 alaşımından başlayarak AS91'e doğru artış göstererek sıralandığı

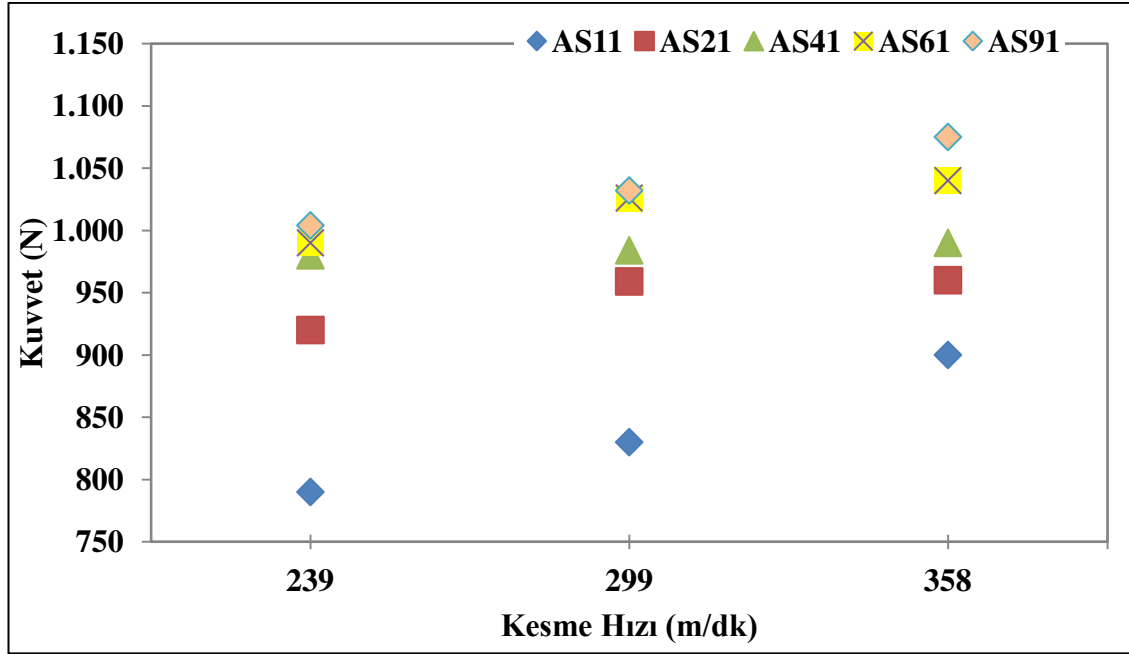
görülmüştür (Şekil 6.5.). Sertlik değerleri AS11’de 40.9 HV₁₀ elde edilirken en yüksek sertlik değeri 61.5 HV₁₀ olarak AS91 alaşımında elde edilmiştir. Mikroyapı incelemelerinden de görüldüğü gibi (Şekil 6.1.) Al miktarının artması ile ikincil fazların (Mg₂Si ve Mg₁₇Al₁₂ fazları) oranında artış gözlemlenmiştir. Dolayısıyla sertlik değerlerindeki artış bu fazların artışına dayandırılabilir.

6.3 İşlenebilirlik Deney Sonuçları

6.3.1 Kesme kuvveti sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvveti (F_c) değerleri grafiği Şekil 6.6. da verilmiştir.

Grafiklerden de anlaşılabacağı gibi kesme hızı arttıkça kesme kuvveti de artmaktadır. Ayrıca Al eklentisi de kesme kuvvetini değiştirmektedir. AS11 den AS91 e gidildikçe kesme kuvveti artmaktadır. Bütün kesme hızlarında en düşük kesme kuvveti değeri AS11 alaşımında elde edilirken en yüksek kesme kuvveti değeri AS91 alaşımında elde edilmiştir. AS11 den başlayarak AS91’e doğru kesme kuvvetlerinde artış AS11 ile AS91 alaşımı arasında sadece %Al miktarındaki artış olduğu dikkate alındığında intermetalik fazların etkisi görülmektedir. Bu bölümde elde edilen veriler ile önceki bölümlerde yapılan mikroyapı incelemeleri (Şekil 6.1.) ve sertlik sonuçları (Şekil 6.5.) birbirini desteklenmektedir. Özellikle AS91 alaşımında, en yüksek kesme hızında en büyük kesme kuvvetinin meydana gelmesi yapıdaki intermetalik fazların (Mg₂Si ve Mg₁₇Al₁₂ fazları) işlenebilirlik üzerinde olumsuz etkisi olduğunu göstermektedir.

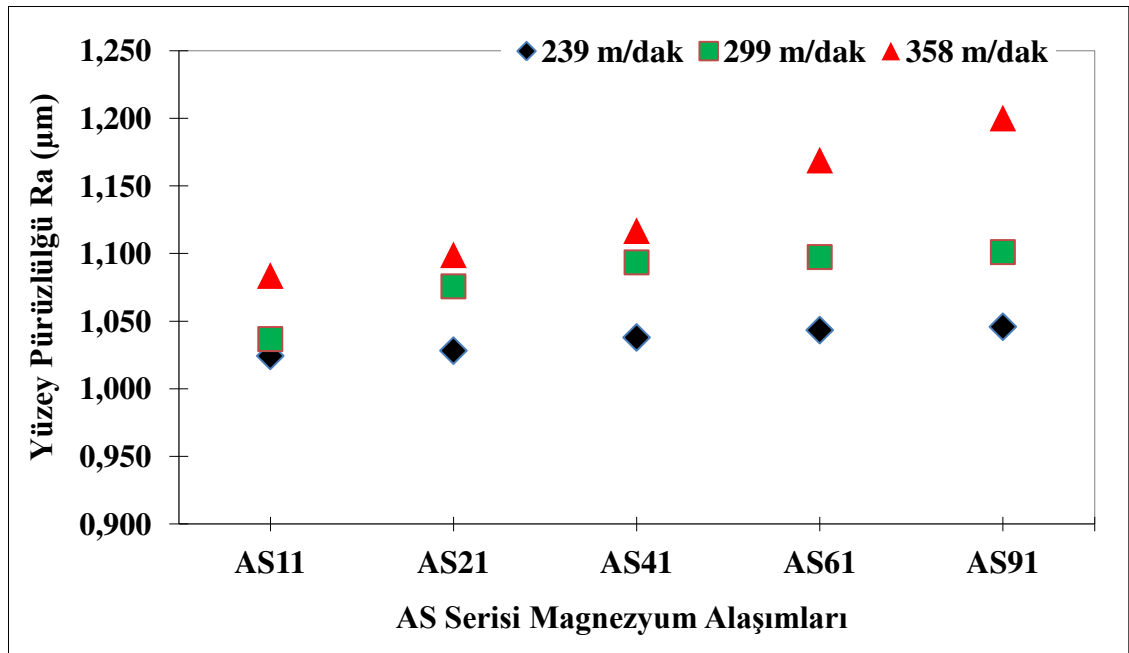


Şekil 6.6. Kesme kuvveti grafiği.

6.3.2 Yüzey pürüzlülüğü sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda talaş derinliği $a=1$ mm için elde edilen R_a yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 6.7. de verilmiştir.

Tüm alaşımlarda kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. Al eklentisi R_a yüzey pürüzlülük değerlerini etkilemektedir. Al eklentisi ile yüzey pürüzlülük değeri artmaktadır.

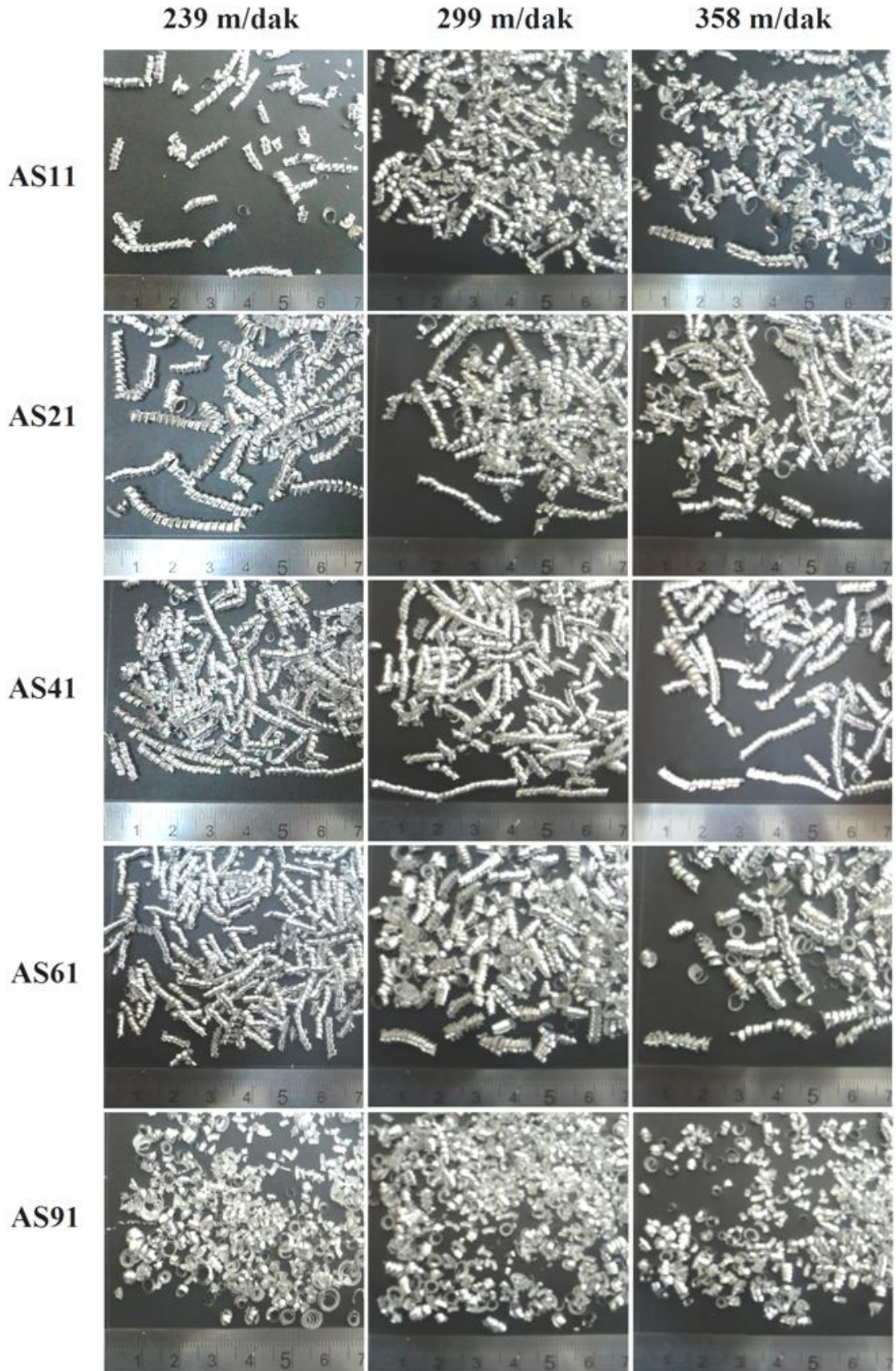


Şekil 6.7. Yüzey pürüzlülüğü grafiği.

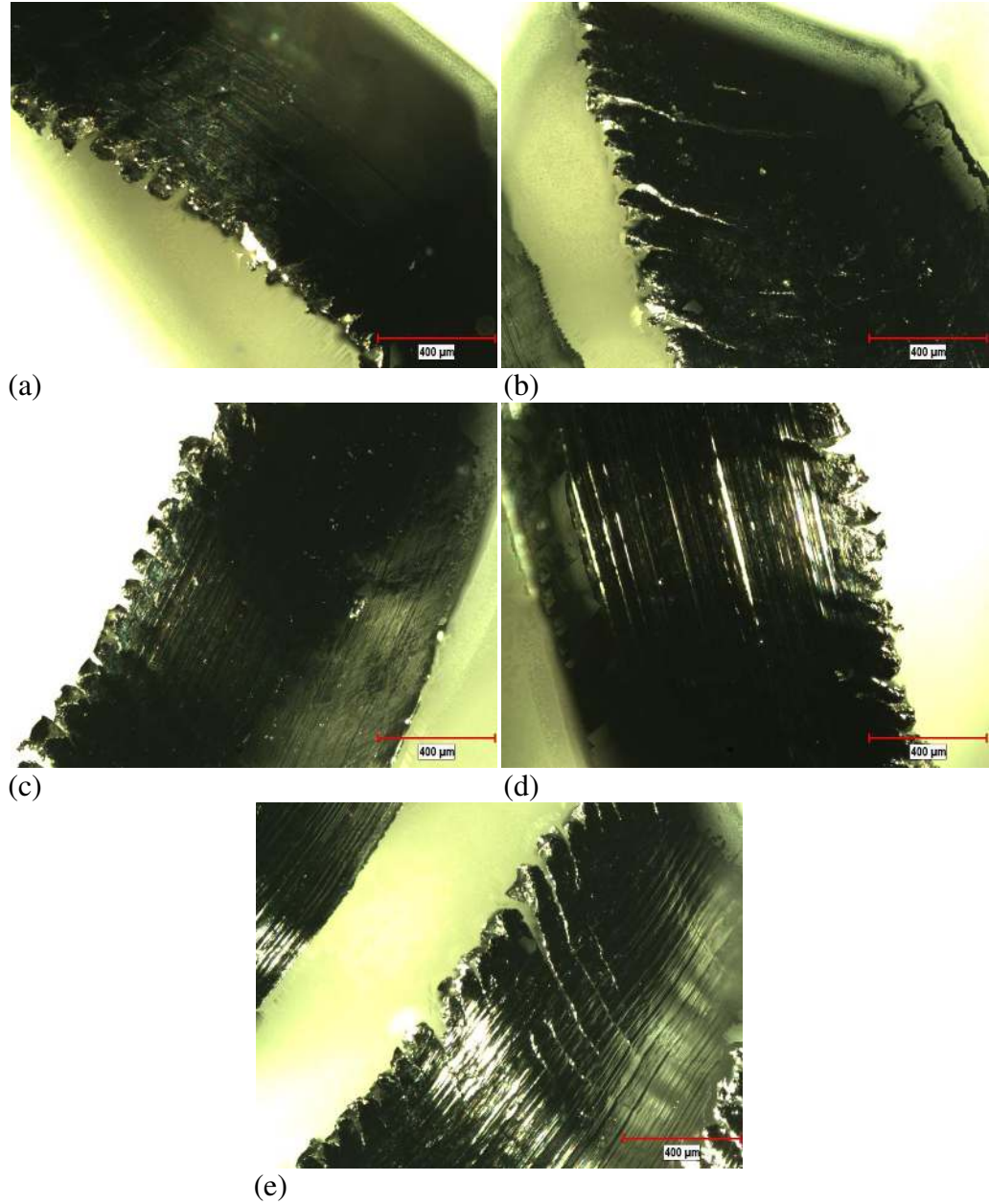
6.3.3 Talaş inceleme sonuçları

Talaşlı işleme sonucunda çıkan talaşlar incelenmek üzere toplanmıştır. Toplanan talaşların optik mikroskopta görüntüleri alınmıştır. Alınan talaş görüntüleri Şekil 6.8. de ve optik mikroskop görüntüleri Şekil 6.9. da verilmiştir.

Talaşlı işleme operasyonları sonucunda toplanan talaşlara bakıldığında AS11'e ait talaşların boylarının AS91'e ait talaşların boylarından daha uzun daha kıvrımlı olduğu, AS91 talaşlarının çok daha kısa koparak kırıldığı belirlenmiştir. Kesme hızı arttıkça ve alaşım içerisinde bulunan % Al miktarı arttıkça talaş boylarında belirgin bir kısılmanın meydana geldiği görülmüştür (Şekil 6.8.). Bunun nedeni mikroyapı içerisinde bulunan (Şekil 6.1.) intermetalik fazların dislokasyon hareketlerini güçleştirilmesi (kesme kuvvetleri grafiklerinde görüldüğü gibi) sonucu kesme kuvvetlerinin artması, daha sert yapıda bulunan intermetalik fazların etkisi ile kırılan talaşların daha kısa boylarda oluştuğu düşünülmektedir. Literatürde Akyüz (2013) ve Tomac (2008) tarafından yapılan çalışmalarda bu sonucu desteklemektedir.



Şekil 6.8. Talaş optik mikroskop görüntüleri.

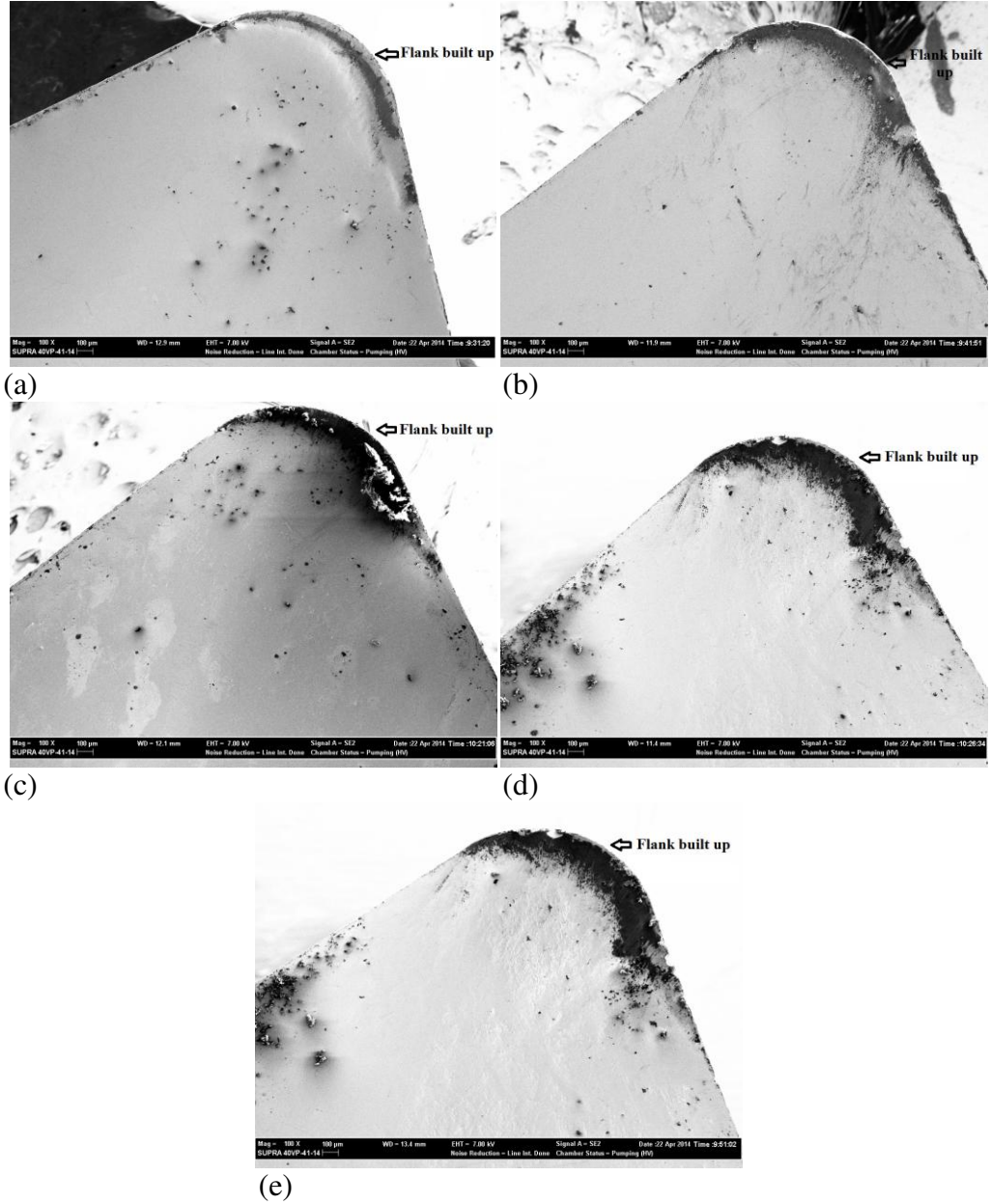


Şekil 6.9. (a) AS11, (b) AS21, (c) AS41, (d) AS61 ve (e) AS91 Mg alaşımlarının talaş optik mikroskop görüntüleri ($V_c = 358$ m/dak).

6.3.3 Kesici uç inceleme sonuçları

AS serisi magnezyum alaşımlarının işlenmesiyle kesici uç yüzeyinde meydana gelen aşınmaların SEM görüntüleri Şekil 6.10.'da verilmiştir. Deney numunelerinin işlenmesi sırasında iş parçası ile kesici yüzeyi arasında oluşan kuru sürtünmeye bağlı olarak intermetalik fazların etkisi ile talaş yığılması (FBU) olduğu ve kesici uçların aşındığı gözlenmiştir. Talaş yığılması (FBU) oluşumunun artması ile kesme kuvvetleri de artmaktadır (Şekil 6.6.).

AS11 den başlayarak AS91'e doğru kesici uçtaki aşınmadaki artış, AS11 ile AS91 alaşımı arasında sadece Al % miktarındaki artış olduğu dikkate alındığında intermetalik fazların etkisini desteklemektedir. Kesici uçtaki aşınma AS91 alaşımına ait kesici uça daha derindir.



Şekil 6.10. a) AS11, (b) AS21, (c) AS41, (d) AS61 ve (e) AS91 Mg alaşımlarının kesici uç optik mikroskop görüntüleri ($V_c = 358$ m/dak).

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Bu çalışmada AS serisi magnezyum alaşımlarının işlenebilirliği üzerine Al alaşım elementi (%0 dan %9 a kadar) eklentisinin etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Alaşımların işlenebilirliğini değerlendirmek için tornalama işlemi sırasında mikroyapı ve çekme özellikleri de dikkate alınarak kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar şunlardır;

1. Mikroyapı görüntüleri karşılaştırıldığında Al eklentisi ile intermetalik Mg_2Si ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarının arttığı gözlemlenmiştir. İntermetalik faz Mg_2Si fazı mukavemeti artırmaktadır. AS91'deki intermetalik Mg_2Si fazı AS11'e göre daha belirgindir.
2. AS serisi magnezyum alaşımlarında Al eklentisi ile çekme ve akma mukavemeti ile % uzama değişmektedir. Al eklentisi ile çekme ve akma mukavemeti artmakta ve % uzama ise azalmaktadır.
3. AS serisi magnezyum alaşımlarında Al eklentisi ile sertlik artmaktadır.
4. Kesme hızı artıkça kesme kuvveti de artmaktadır. Al eklentisi de kesme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir.
5. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri de değişmektedir. Al eklentisi ile R_a yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.
6. Talaşlar incelendiğinde Al eklentisi ile talaşların boylarının kısaldığı ve kırılğanlığının arttığı tespit edilmiştir. En kırılğan ve en kısa talaş boyu olan AS91 alaşımıdır.
7. Deneyde kullanılan kesici uç yüzeyleri incelendiğinde, deney numunelerinin işlenmesi sırasında iş parçası ile kesici yüzeyi arasında oluşan kuru sürtünmeye bağlı olarak talaş yığılması (FBU) oluştuğu ve kesici uçların aşındığı gözlenmiştir. En fazla aşınan AS91 alaşımıdır.
8. Kesici uç ile numune yüzeyi temas noktası arasında intermetalik fazların etkisine bağlı olarak kesici yüzeyinde talaş yığılması (FBU) oluşumunun artması ile kesme kuvvetlerinin de arttığı tespit edilmiştir.

7.2 Öneriler

AS serisi magnezyum alaşımlarının işlenebilirliğinin daha da iyi araştırılabilmesi için:

- 1- Farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinlikleri denenebilir.
- 2- İşlenebilirlik için farklı kesici uçlar kullanılarak birbiri ile karşılaştırılabilir.
- 3- En iyi işlenebilirlik parametrelerinin seçimi için taguchi deneysel tasarım metodu çalışması yapılabilir.
- 4- Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak AS serisi magnezyum alaşımlarının işlenebilirliği üzerine yeni bir çalışma yapılabilir.
- 5- Farklı serilerde magnezyum alaşımları için aynı çalışma yapıp karşılaştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 1996.
- Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 2004.
- Akyüz, B., “Influence of Al content on machinability of AZ series Mg alloys”, **Transactions Nonferrous Metals Society of China**, 23: 2243–2249 (2013).
- Akyüz, B., “Machinability of Magnesium and its Alloys”, **TOJSAT : The Online Journal of Science and Technology**, 3(1): 31-38 (2011).
- ASM International Handbook Committee, ASM Handbook Volume 2, “Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials”, **ASM International**, Ohio, 1996.
- ASM International Handbook Committee, ASM Specialty Handbook, "Magnesium and Magnesium Alloys", **ASM International**, Ohio, 1999.
- Atalay, O., “Magnezyum ve Alaşımlarının Konstrüksiyon Malzemesi Olarak Otomotivde Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul 2006.
- Aydın, B., "AA 2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerindeki Etkilerini İncelenmesi", Bilim Uzmanlığı Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 2002.
- Bayrak, M., “Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 2002.
- Can, A., "AISI 6140 Çeliğinin Sermet, PVD ile TiAlN – CVD ile TiN Kaplanmış kesici Uçlarla Tornalanmasında Kesme Değişkenleri, Kaplama Cinsi ve Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 2003.
- Cao, G. and Kou, S., “Hot cracking of binary Mg–Al alloy castings”, **Materials Science and Engineering**, 417: 230-238 (2006).
- Çakır, M. C., "Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri", **Vipaş A.Ş.**, Bursa, 158 (2000).
- Çiftçi, İ., “Kesici Takımlar ve Kesme Teorisi”, **Z.K.Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları**, Karabük, 3-15 (2005).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Dobrzanski, L.A., Tanski T., Cizek L. and Brytan Z., “Structure and properties of magnesium cast alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, (192-193): 567-574 (2007).
- Dobrzanski, L.A., Tanski, T. and Cizek, L., “Influence of Al addition on microstructure of die casting magnesium alloys”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2(19):49-55 (2006).
- Eliezer, D., Aghion, E. and Froes, F.H., “Magnesium Science, Technology and Applications”, *Advanced Performance Materials*, 5 (3): 201-212 (1998).
- Friemuth, T. and Winkler, J., “Machining of Magnesium Workpieces”, *Advanced Engineering Materials*, (1), (3-4):183–186 (1999).
- Friedrich, H., and Mordike, B., “Magnesium Technology Metallurgy, Design Data, Applications”, *Springer Berlin Heidelberg*, Berlin, 2006.
- Gadelmavla, E. S. and Koura, M. M., “Roughness Parameter”, *Journal of Material Processing Technology*, 123:133-145 (2002).
- Gezgin, A., "Prizmatik Parçaların Frezelenmesi Esnasında, Kesici Uç Sayısının Takım Ömrü ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2007.
- Güllü, A., “Talaşlı üretimde yüzey problemleri ve yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Ders Notları, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1998.
- Hou, J., Zhou, W. and Zhao, N., Methods for Prevention of Ignition during Machining of Magnesium Alloys, *Key Engineering Materials*, 447-448: 150-154 (2010).
- International Magnesium Association, "Industry Statistics", <http://www.intlmag.org/statistics.html>, 2013.
- Kaçar, İ., ve Öztürk, F., “Magnezyum Alaşımların Şekillendirilmesindeki Son Gelişmeler”, *TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi*, Balıkesir, 354-361(2006).
- Kazdal, H.K., “Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği”, *Tubitak Marmara Araştırma Merkezi*, Kocaeli, 3-39 (1999).
- Landkof, B., Aghion, E. and Eliezer, D., “Magnesium alloys applications”, *Magnesium Alloys Science, Teknology and Application*, Ben-Guron Universty, Negev - Israel, 8: 293-316 (2005).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Li, N., "Automotive Magnesium Applications and Life Cycle Environmental Assesment", **3rd International Conference on SF₆ and the Environment**, Scottsdale, Arizona, 1-26 (2004).
- Mordike, B. L. and Kainer, K.U., "Magnesium Alloys And Their Applications", **Werkstoff-Informationsgesellschaft**, Frankfurt, 34-47, 125-132, 289-294, 477 - 482 (1998).
- Özçatalbaş, Y., "1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin ısıtılma işlemle değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1996.
- Özses, B., "Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 2002.
- Park, S. H. C., Sato, Y. S. and Kokawa, H. "Effect of micro-texture on fracture location in friction stir weld of Mg alloy AZ61 during tensile test". **Scripta Materialia**, 49:161-166 (2003).
- Shaw, M., "Metal Cutting Principles", **Oxford University Press**, New York, 19 (2005).
- Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri 1", **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 2000.
- Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri 2", **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 2001.
- Tomac, N., Tønnesen, K. and Mikac, T., "Study of Influence of Aluminium Content on Machinability of Magnesium Alloys", **Strojarstvo** 50 (6): 363-367 (2008).
- Tönsoff, H.K., Friemuth, T., Winkler, J. and Podolsky, C., "Improving the Characteristics of Magnesium Workpieces by Burnishing Operations", **Magnesium Alloys and their Applications**, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 406-410 (2006).
- Tönsoff, H.K. and Winkler, J., "The Influence of Tool Cutting in Machining of Magnesium", **Surface and coating Technology**, 94-95: 610-616 (1997).
- Ucun, İ., "Seramik kesici takımlar kullanarak östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyonkarahisar, 2007.
- Vogel, M., "Mikrostruktur und Kriechverhalten von Magnesium-Druckgusslegierungen im System Mg-Zn-Al-Ca", Doctoral Thesis (PhD), **Max-Planck-Institut für Metallforschung**, Stuttgart, 6-20 (2002).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Watarai, H., “Trend of Research and Development for Magnesium Alloys”, *Science and Technology Trends*, 18: 84-97 (2006).
- Žaludová, N., “Mg-RE Alloys and Their Applications”, *WDS’05 Proceedings of Contributed Papers, Part III*, 3: 643-648 (2005).
- Zeytin, H. K., “Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği”, *Marmara Araştırma Merkezi*, Kocaeli, 3-39 (1999).
- Zhang, Z., “Development of Magnesium-Based Alloys for Elevated Temperature Applications”, Doctoral Thesis (PhD),, *Faculte Des Sciences Et De Genie Universite*, Quebec-Canada, 2-75 (2000).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ahmet KALA
Doğum Yeri ve Tarihi : Adapazarı / 03.05.1981



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri : -

İş Deneyimi

Stajlar : -
Projeler : -
Çalıştığı Kurumlar :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Şehir	Yıl
Uzman	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi	Bilecik	2010 -
Endüstri Mühendisi	Federal Elektrik	Sakarya	2006 - 2010
Endüstri Mühendisi	Başak Traktör	Sakarya	2005 - 2006
Endüstri Mühendisi	Talu Tekstil	Sakarya	2004 - 2005

İletişim

Adres : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Rektörlük Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı 11210
Gülümbe Kampüsü Bilecik / Türkiye
Tel : 0 228 214 18 46
E-Posta Adresi : ahmet.kala@bilecik.edu.tr

Diğer:

Tarih:

İmza: