
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

AZ91 MAGNEZYUM ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Faruk MULLAAHMETOĞLU

YÜKSEK LİSANS
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞUSTOS 2014

Faruk MULLAAHMETOĞLU tarafından hazırlanan "AZ91 Magnezyum Alaşımının İşlenebilirlik Özelliğinin Deneysel Olarak Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İleri Teknolojiler Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ömer ASAL
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ..……

Başkan : Doç. Dr. Bülent BOSTAN
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……...

Üye : Doç. Dr. Hakan DİLİPAK
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……...

Tez Savunma Tarihi: 28/08/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

(İmza)
(Adı Soyadı)
(Tarih)

AZ91 MAGNEZYUM ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Faruk MULLAAHMETOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2014

ÖZET

Talaşlı imalatta verimliliği arttırabilmek için mümkün olduğunca yüksek hızlarda işleme yapmak arzu edilir. Magnezyum gibi yüksek sıcaklık değerlerinde parlama riski olan malzemeler için kesme hızı ve ilerleme oranlarının iyi tespit edilmesi gerekir. Yapılan bu çalışmada, AZ91 Magnezyum alaşımının farklı parametre değerlerinde işlenebilirliği incelenmiştir. Çalışmada, kaplamalı ve kaplamasız uçlar kullanılarak, 3 farklı ilerleme hızı (0,1 mm/rev, 0,2 mm/rev, 0,3 mm/rev), 4 farklı kesme hızı (200 m/min, 320 m/min 512 m/min, 820 m/min) ve 3 farklı kesme derinliğinin (1 mm, 2 mm, 3 mm) takım üzerine gelen kuvvetlere ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler, takım üzerindeki kaplamanın esas kesme kuvvetini düşürdüğünü ve yüzey pürüzlülüğünü artırdığını göstermiştir. İlerleme, kesme hızı ve kesme derinliği için artan değerlere paralel olarak esas kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülüğünün artış gösterdiği de görülmektedir. Yapılan bu çalışma ile AZ91 Magnezyum malzemelerin talaşlı imalatı için en uygun işleme parametrelerinin tespit edilerek literatüre kazandırılması hedeflenmiştir.

Bilim Kodu : ???
Anahtar Kelimeler : Kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, AZ91 alaşım

Sayfa Adedi : 113
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ömer ASAL

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MACHINABILITY AZ91 MAGNESIUM ALLOY

(M. Sc. Thesis)

Faruk MULLAAHMETOĞLU

GAZI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2014

ABSTRACT

In order to increase productivity in machining, it is desired to work at speeds as high as possible. For materials such as magnesium which has flash risk at high temperatures, it is necessary to determine the cutting speed and feed rates well. In this study, machinability of AZ91 magnesium alloy was examined in different parameter values. In this study, coated and uncoated inserts were used and the impacts of 3 different feed rates (0.1 mm / rev, 0.2 mm / rev, 0.3 mm / rev), 4 different cutting speeds (200 m / min, 320 m / min to 512 m / min, 820 m / min) and 3 different cutting depths (1 mm, 2 mm, 3 mm) on the forces applied to the tool and on the surface roughness were investigated experimentally. Data obtained as a result of the experiments showed that the coating on the tool reduced the real cutting force and increased surface roughness. It is also seen that the cutting force and surface roughness increase in parallel with the increasing values for feed rate, cutting speed and cutting depth. With this study, it is aimed to determine the most appropriate machinability parameters for machining of the AZ91 Magnesium materials and utilized in the literature.

Science Code : ???
Key Words : Cutting forces, surface roughness, AZ91 Alloy

Page Number : 113
Supervisor : Yrd. Doç. Dr. Ömer ASAL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer ASAL'a, kıymetli bilgilerinden faydalandığım Sayın Doç. Dr. Hakan Dilipak'a, Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜRÜN'e, yine deney çalışmalarımda emeği geçen tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve işyeri müdürüm olan teknik öğretmen Sayın Şeref DEMİR'e, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, saygı değer abim Selim'e, kıymetli eşim Özge MULLAAHMETOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca bu çalışmayı, 07 / 2012 – 48 nolu proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

RESİMLERİN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR xvi

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 5

2.1. İşlenebilirlik İle İlgili Yapılan Çalışmalar 6

2.2. AZ91 Magnezyum Alaşımı İle İlgili Yapılan Çalışmalar 7

2.3. Literatür Araştırmalarının Değerlendirilmesi 9

3. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK 11

3.1. Talaşlı İmalat 11

3.2. Talaş Kaldırma Mekaniği ve Talaş Oluşumu 13

3.3. Yüzey Pürüzlüğü 15

3.3.1. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler 15

3.3.2. Yüzey pürüzlülüğünün oluşması 16

3.3.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçme teknikleri 17

3.3.4. Yüzey pürüzlülük parametreleri 18

3.4. Kesme Kuvvetleri 20

3.5. İşlenebilirlik 22

Sayfa

3.6. Magnezyum ve Alaşımlarının Talaşlı İmalatı 24

4. MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI……..... 29

4.1. Magnezyumun Genel Özellikleri……..... 29

4.2. Magnezyumun Alaşımları ve Standartları ……..... 31

4.3. Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması …….. 34

4.3.1. Magnezyum döküm alaşımları ve çeşitleri……... 35

4.4. AZ91 Alaşımı……..... 36

4.4.1. AZ91 Alaşımının mikro yapısı..... 37

4.4.2. AZ91 Alaşımının tane boyutu..... 38

4.5. Magnezyum ve Alaşımlarının Özellikleri……..... 39

4.5.1. Akıcılık..... 39

4.5.2. Sönümleme kapasitesi..... 39

4.5.3. Sürünme dayanımı..... 40

4.5.4. Yorulma dayanımı..... 40

4.6. Magnezyum ve Alaşımlarının Şekillendirme Yöntemleri..... 40

4.6.1. Magnezyum ve alaşımlarının döküm yöntemleri ile şekillendirilmesi..... 41

4.6.2. Magnezyum ve alaşımlarının plastik şekillendirilmesi..... 43

4.6.3. Magnezyum ve alaşımlarının talaşlı imalat ile şekillendirilmesi..... 43

4.7. Magnezyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları..... 45

4.7.1. Otomotiv endüstrisinde magnezyum..... 46

4.7.2. Havacılık endüstrisinde magnezyum..... 50

4.7.3. Savunma sanayi endüstrisinde magnezyum..... 51

4.8. Magnezyumun ve Alaşımlarının Korozyonu..... 52

Sayfa

5. MATERYAL VE DENEYSEL METOT…… 55

5.1. Deney Malzemesi..... 55

5.2. Deney Malzemelerinin Hazırlanması..... 55

5.3. İşlenebilirlik Deneyleri..... 56

5.4. Kesme Parametreleri..... 56

5.5. Kullanılan Takım Tutucu ve Kesici Takımlar..... 58

5.5.1. Takım tutucu..... 58

5.5.2.Kesici takımlar..... 58

5.6. Takım Tezgâhı..... 60

5.7. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi..... 60

5.8. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi..... 63

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA……..... 65

6.1. Kesme Kuvvetleri Açısından Değerlendirme..... 65

6.2. Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirme..... 77

7. SONUÇ VE ÖNERİLER……..... 89

KAYNAKLAR...…..... 95

EKLER……..... 103

EK-1. AZ91D Magnezyum alaşımının kimyasal bileşenleri (%)…..... 104

EK-2. Kaplamalı kesici takımlar ile 200 m/min kesme hızında, 3 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızlarında oluşan talaş şekilleri…..... 105

Resim 2.1. 0,1 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..105

Resim 2.2. 0,2 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..105

Resim 2.3. 0,3 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..106

EK-3. Kaplamalı kesici takımlar ile 320 m/min kesme hızında, 3 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızlarında oluşan talaş şekilleri…..... 107

Sayfa

Resim 3.1. 0,1 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..107

Resim 3.2. 0,2 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..107

Resim 3.3. 0,3 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..108

EK-4. Kaplamalı kesici takımlar ile 512 m/min kesme hızında, 3 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızlarında oluşan talaş şekilleri…..... 109

Resim 4.1. 0,1 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..109

Resim 4.2. 0,2 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..109

Resim 4.3. 0,3 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..110

EK-5. Kaplamalı kesici takımlar ile 820 m/min kesme hızında, 3 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızlarında oluşan talaş şekilleri…..... 111

Resim 5.1. 0,1 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..111

Resim 5.2. 0,2 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..111

Resim 5.3. 0,3 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli……..112

ÖZGEÇMİŞ……..... 113

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Magnezyumun fiziksel özelliklerinden bazıları ……..……..... 30

Çizelge 4.2. Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları..... 32

Çizelge 4.3. Alaşım elementleri ve kısaltmaları…..…..... 32

Çizelge 4.4. Önemli magnezyum alaşımlarından bazıları……..... 33

Çizelge 4.5. Magnezyum alaşımlarında bazı üretim yöntemleri ve özellikleri..... 34

Çizelge 4.6. Kokil ve basınçlı dökümle üretilen AZ91'in tane boyutu..... 38

Çizelge 4.7. Magnezyum ve alaşımlarına farklı döküm yöntemleri uygulanarak karşılaştırılması...……..... 42

Çizelge 5.1. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım için kesme parametreleri..... 57

Çizelge 5.2. Kullanılan CNC torna tezgahının teknik özellikleri……..... 60

Çizelge 5.3. Kistler 9257B tipi dinamometrenin teknik özellikleri……..... 61

Çizelge 5.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri..... 64

Çizelge 6.1. WSM10 kesici takımlar ile elde edilen kesme kuvvet değerleri..... 66

Çizelge 6.2. WS10 kesici takımlar ile elde edilen kesme kuvvet değerleri..... 67

Çizelge 6.3. WSM10 kesici takımlar ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri..... 78

Çizelge 6.4. WS10 kesici takımlar ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri..... 79

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 3.1.	Tornalama işleminin şematik olarak gösterimi.....	12
Şekil 3.2.	Dik (orthogonal) kesme modeli.....	14
Şekil 3.3.	Talaş Oluşumu…….....	15
Şekil 3.4.	Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel faktörler …….....….....	16
Şekil 3.5.	Takım uç yarı çapı ve İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ..….....	16
Sekil 3.6.	Örnekleme uzunluğu ve örnekleme sayısı ile ölçüm uzunluğu.....	18
Şekil 3.7.	Ortalama çizgisi ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi.....	19
Şekil 3.8.	Profil ve genlik dağılım eğrisi…….....	20
Şekil 3.9.	Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetleri.....	21
Şekil 3.10.	İşlenebilirliği etkileyen faktörler ……..……..…….....	24
Şekil 3.11.	Magnezyum ve çeşitli metal alaşımların işlenmesinde harcanan enerji miktarları…….....	25
Şekil 3.12.	AZ91 magnezyum alaşımının kuru ve ıslak işleme şartlarında kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi……....	26
Şekil 4.1.	Arabadaki ağırlığın azalmasıyla elde edilecek yakıt tasarrufu.....	47
Şekil 4.2.	Magnezyum alaşımından dökülmüş otomobil üretiminde kullanılan parçaların çelik ve alüminyuma göre sağladığı ağırlık kazancı….....	48
Şekil 4.3.	Kesik halde Mg-Al kompozit motor bloğu..... …….....	49
Şekil 4.4.	Corvette Z06 AE44 motor taşıma kızağının alt (A) ve üst (B) görünümü…	49
Şekil 4.5.	Daimler Chrysler'in geliştirdiği 7G-Tronic şanzıman kutusu.....	50
Şekil 4.6.	AZ91 alaşımı döküm parçaları a) Üst yağ kapağı, b) Aktarma parçası…..	50
Şekil 5.1.	Deney malzemesinin ölçüleri…..…….....	55
Şekil 5.2.	İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan takım tutucunun geometrik şekli ve ölçüleri…….....	58

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.3. Kullanılan kaplamalı (TiNTiCN-TiN) karbüre ait kesici takım geometrisi ve teknik bilgileri.……..... …. 59

Şekil 5.4. Kullanılan kaplamasız karbüre ait kesici takım geometrisi ve teknik bilgileri…… ….. 59

Şekil 5.5. AZ91 magnezyum alaşım malzemesinin kaplamalı karbür (TiNTiCN-TiN) kesici takımla 820 m/min kesme hızı, 2 mm talaş derinliği 0,2 mm/rev ilerleme miktarı ile işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri…….. 62

Şekil 5.6. Kesme deneyleri için hazırlanan bir düzenek.....… 63

Şekil 6.1. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 200 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği……..... 69

Şekil 6.2. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 320 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği……..... 70

Şekil 6.3. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 512 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği……..... 71

Şekil 6.4. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 820 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği……..... 72

Şekil 6.5. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 0,1 mm ilerleme hızında, kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği……..... 74

Şekil 6.6. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 0,2 mm ilerleme hızında, kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği……..... 75

Şekil 6.7. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 0,3 mm ilerleme hızında, kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği……..... 76

Şekil 6.8. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 200 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği…..……..... 80

Şekil 6.9. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 320 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği…..……..... 81

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.10. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 512 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği……..... 82

Şekil 6.11. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 820 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği……..... 83

Şekil 6.12. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 1 mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği……..... 84

Şekil 6.13. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 2 mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği……..... 85

Şekil 6.14. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 3 mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği……..... 86

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. AZ91 alaşımının mikroyapısı..... 37

Resim 4.2. AZ91 alaşımın mikroyapıda tane görünüşü..... 38

Resim 5.1. Deneyler için hazırlanmış numune ve deney düzeneği..... 56

Resim 5.2. Deney düzeneği kurulmuş CNC torna tezgahı..... 60

Resim 5.3. "KISTLER Type 5019" sinyal yükseltici ve bilgisayar donanımı..... 61

Resim 5.4. Kullanılan "Mahr" marka Perthometer M1 tipi yüzey pürüzlülük ölçme cihazı..... 64

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
F_x	X Eksenindeki kesme kuvveti (N)
F_y	Y Eksenindeki kesme kuvveti (N)
F_z	Z Eksenindeki kesme kuvveti (N)
F_c	Ortalama kesme kuvveti (N)
F_r	Ortalama radyal kuvvet (N)
F_f	Ortalama ilerleme kuvveti (N)
N	Devir sayısı (rev/min)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
V	Kesme hızı (m/min)
f	İlerleme hızı (mm/rev)
a	Kesme derinliği (mm)
R^2	Belirtme katsayısı
γ	Talaş açısı
α	Kesici takım boşluk açısı

Simgeler	**Açıklama**
β	Kesici takım kama açısı
TiC	Titanyum karbür
TiN	Titanyum nitrür
Mg	Magnezyum
Al	Alüminyum
Zn	Çinko

Kısaltmalar	**Açıklama**
BUE	Built Up Edge (Yığıntı Talaş)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
PVD	Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Çökeltme)
CVD	Chemical Dapor Deposition (Kimyasal Buhar Çökeltme)
AZ91	Magnezyum Alüminyum Çinko Alaşımı(AZ91)
TiNTiCN-TiN	Titanyum Nitrür Titanyum karbür nitrür-Titanyum nitrür (Çift kaplamalı karbür uç)
SEM	Scanning Electron Microscopy, (Tarama elektron mikroskobu)

ISO	International Organization for Standardization (Milletlerarası Standardizasyon Teşkilatı)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
PCD	Polycrystalline Diamond (Çok Kristalli Elmas)
WSM10	Kaplamalı karbür uç
WS10	Kaplamasız karbür uç

1. GİRİŞ

Bilim ve teknoloji alanında devam etmekte olan araştırmalar yeni gelişmeler ve çalışmalar ortaya çıkarmaktadır. Artan bu çalışmalar ve teknolojik ilerlemeler ile birlikte, sınırsız insan ihtiyaçları giderilmeye ve gereksinimler azaltılması hedeflenmektedir. Artan ihtiyaçlarla beraber üretilen mal ve hizmet ürünleri kendini yenilemekte, modern makine, teçhizat ve üretim yöntemlerini beraberinde getirmektedir. Böylece, ilerleyen bilimsel ve teknolojik gelişmelerin üretime aktarılması ve sanayide kullanılması, üretim faaliyetlerinin çok etkin bir konuma gelmesini sağlamaktadır [1].

İmalat alanında ilerleyen malzeme üretimi ve araştırmaları yeni malzemeleri ortaya çıkartmaktadır. Malzemelerden istenen mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikler üzerinde çalışılmakta ve geleneksel malzeme anlayışının üstünde farklı özelliklerde malzemeler elde etmek için mekanik ve termomekanik yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Yapılan çalışmaların geneli geleneksel malzemelerdeki özellikleri artırarak yüksek sıcaklıklara dayanabilen, daha mukavim, daha sert ve daha hafif malzemeler tasarlamaya yöneliktir. Böylece üstün özelliklerde malzeme gelişimi sağlanabilmekte ve ileri teknoloji endüstrisi de bu istekleri canlandırmaya izin vermektedir [2].

Talaşlı üretim önemini yıllardır korumakta ve bu alanda yapılan çalışmalar, imalatçı firmalar tarafından büyük bir özenle takip edilmektedir. İmalatta her zaman bir maliyet ve bu maliyeti belirleyen faktörler vardır. Talaşlı imalat işleminde; kesici takım ve iş parçası maliyeti büyük önem arz etmektedir. Bu sebepten dolayı, üretim işleminde maliyeti azaltmak ve böylece ürünü daha ucuza elde etmek için, kesici takım ve iş parçası maliyetini dikkate almak gereklidir. İş parçasının istenilen kalitede üretilerek hammadde israfını önlemek ve kesici takımın daha uzun süre dayanıklılık göstermesi için, kesme performansı ve şartlarını optimize etme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu gerekliliklerı yerine getirebilmek için, iş parçasının kalitesinin belirlenmesinde ve kesici takımların ömrüne etki eden nedenler bilim insanları tarafından devamlı olarak araştırılıp incelenmektedir [3].

Dövme, dökme, haddeleme gibi benzeri yöntemlerle imal edilen metal parçaların % 80'ninden fazlası son biçim, şekil ve boyutlarına talaşlı üretim yöntemleriyle getirilirler. Talaşlı imalat esnasında uygun seçilmeyen işleme parametreleri, kesici takımların

kırılması, hızlı deformasyonu ve aşınması gibi nedenlerle kısa sürede kullanılamaz hale gelmelerine sebep olmaktadır. Bu durum; iş parçası boyutlarının bozulması, tezgâh boş zamanının artması veya işin yüzey kalitesinin ikinci bir işlem gerektirecek derecede yetersizliği gibi bir dizi ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Malzemenin işlenebilirlik özellikleri önceden iyi bir şekilde tespit edilmemiş ise yukarıdaki kayıplarda kaçınılmaz olur [1].

İşlenebilirliği, standardize edilmiş bazı özelliklere göre tanımlamak oldukça zordur. İşlenebilirlik genellikle iş parçası malzemesinin, kesici bir takımla istenilen biçime getirilmesindeki işlenebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Metal bir malzemenin metalurjisi, ısıl işlemi, katkı elemanları, kalıntı gerilmeler, yüzey tabakası vb. malzeme özelliklerinin yanı sıra; kullanılan kesici takımın kesici kenar özellikleri, takım bağlama biçimi, kullanılan takım tezgâhı ve tezgâhın rijitliği, işleme yöntemi, işleme şartları da önemli etkiye sahiptir. Talaşlı işlenebilirlik, bir malzemeyi nihai ürün haline getirilmesi esnasında malzemeden talaş kaldırma kolaylığı veya zorluğudur [4].

İşlenebilirlik, talaşlı imalat üretim yöntemlerinde oluşan önemli sorunların başında gelmektedir. Her imalatçı imal etmek istediği ürünü nasıl daha kaliteli, daha hızlı ve daha ucuza yapabilirim sorularına cevap bulmaya çalışır. İşlenebilirliğin literatürde çeşitli tanımları yapılmakta olup kesin bir tanımı yapılamamakla birlikte bu yapılan tanımlara paralel olarak bir yorum getirecek olursak; genel olarak işlenebilirlik; Bir imalat sürecinde Kesici takımın iş parçası üzerinden talaş kaldırarak, kesebilme ve iş parçasının da kesilebilme yeteneklerinin birleşimidir [5].

İleri teknoloji ile çalışmakta olan şirketler, küresel pazarda başarı sağlayacak bir şekilde yarışabilmek için yenilikçi malzemelerin işlenmesi ve kullanılmasına büyük ölçüde önem vermektedirler. En büyük yarışın, gelecek yıllarda çevre kirliliğinin artması nedeniyle zararlı emisyonların indirgenmesi üzerine olacağı düşünülmektedir. Bu durum dikkate alındığında, hafif metal ve alaşımlarının yapı malzemesi olarak kullanılması çevre kirliliği ve enerji sorunlarının çözülmesinde kilit faktör olmaktadır [6].

Çok çeşitli malzemeler üzerinde değişik özellikteki kesici takımların performanslarının ölçülmesi, takım tasarımı ve yeni takımların geliştirilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Modern imalat yöntemleri, seri üretim alanlarında takım maliyetini en aza

indirmeyi ve takım değiştirme zamanını çok yönlü kullanmayı gerektirmektedir. Yapılan deneysel analizlerin büyük bir bölümü bu hedeflere ulaşabilmek için gerçekleştirilmekte ve işlenebilirlik deneylerinin sonuçlarıyla anlaşılmaya çalışılmaktadır. Bu deneysel test ve analizler; kesici takımları, iş parçası malzemelerini ve bunların karakteristiklerini kapsamaktadır [7].

İşlenebilirliğin iyileştirilmesi ve kesici takımların kesme performanslarının artırılması talaşlı imalatta çok sayıda araştırmanın konusu olmuştur. Günümüzde kullanılan geleneksel malzemelere nazaran üstün özelliklere sahip yüksek performanslı yeni malzemelerin ve alaşımların geliştirilmesi, araştırma yapan birçok kişiyi bu yeni malzemelerin işlenebilirlik özelliklerine yöneltmiştir [1].

Malzeme seçiminde dünya hammadde ve enerji kaynaklarının korunması için, düşük ağırlık kadar geri dönüşebilirlikte etken bir faktör oluşturmaktadır. Avrupa komisyonu Avrupa otomobillerde kullanılacak malzemelerin 2015 yılına kadar % 95 geri dönüşebilir malzemelerden üretilmesi hedefini şart koşmuştur [8].

Yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında otomotiv alanında, taşıtlardan enerji tüketiminin indirgenmesi, yakıt verimliliğinin daha yüksek olması ve hava kirliliğinin önlenmesi konularındaki çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Araçların ağırlığının azaltılması bunları elde etmenin yollarından bir tanesidir. Hafif malzeme kullanımı araçların ağırlığının azaltılmasında önemli bir yer tutmaktadır. Magnezyum ve alüminyum alaşımlarının kullanılan malzemeler içindeki ağırlıkları otomotiv üretiminde giderek artmaktadır [9]. Magnezyum geri dönüşümü olabilen, aynı zamanda hurda değerinde bir malzemedir döküm artıkları, pres ıskartaları, talaşları geri dönüşüm prosesi içinde sorunsuz olarak değerlendirilebilir [8].

Magnezyum 1.74 g/cm^3 yoğunluğa sahip, alüminyumla kıyaslandığında % 35 daha hafif ve düşük sıcaklıkta ergimektedir. Magnezyum alaşımları alüminyum alaşımları kadar dayanımı yüksek olmamakla birlikte özgül dayanım oranları daha yüksek olabilmekte ve bunun neticesi olarak, magnezyum alaşımları hafifliğin önemli olduğu hava ve kara taşıt araçlarında, el aletleri gibi makine ve cihazlarda kullanılmaktadır [8, 9].

Bilinen en hafif metal olan magnezyum, mükemmel işlenebilirlik özelliği göstermekte ve en önemli işlenebilirlik karakteristikleri düşük kesme kuvvetleri, iyi yüzey kalitesi ve kolay talaş akışıdır. Ayrıca alaşımları da kendi içinde islenebilirlik bakımından bir fark göstermezler. Magnezyum alaşımlı parçalar her ne kadar birçok kalıplama tekniği ile son şekle yakın üretilse de, çoğu zaman talaşlı imalat işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. İşleme, düşük kapasiteli manüel tezgâhlarda yapılabileceği gibi, yüksek kapasiteli otomasyon tezgâhlarda da yapılabilir. Düşük kesme basınçları ve yüksek ısıl iletkenliği, hızlı bir ısı dağılımı sağlar böylece kesici takım ömürleri uzar ve takım değiştirme zamanları kısalır [6, 8].

Bu çalışmada, havacılık, otomotiv, savunma sanayinde yoğun olarak kullanılan AZ91 magnezyum alaşımının işlenebilirlik özelliği deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde 2 farklı kesici takım (kaplamalı ve kaplamasız karbür), 4 farklı kesme hızı (200, 320,512 ve 820 m/min), 3 farklı ilerleme hızı (0,1, 0,2 ve 0,3 mm/rev) ve 3 farklı kesme derinliği (1 mm, 2 mm ve 3 mm) kullanılmıştır. Elde edilen veriler ile işlenebilirlik kriterleri açısından uygun takım ve kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri ile yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır.

2. LİTARATÜR ARAŞTIRMASI

Malzeme ve kesici takım teknolojilerindeki gelişen yenilikler, imalat sektöründe günümüz araştırma konuları arasında yerini almakta olup araştırılan bu konular arasında malzeme ve kesici takımlar ile kesme parametrelerine bağlı kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve bunun yanında uygun üretim zamanının belirlenmesi ve optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi gibi konular yer almaktadır. Doğal olarak bu konu eskiden beri araştırmacıların sürekli dikkatini çekmiş olup, bu konu ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmış ve halende yapılmaya devam edilmektedir [1]

Malzeme seçiminde ihtiyacı karşılamaya yönelik uygun tasarımı elde edebilmek için belirlenen çalışma koşulları altında görev yapacak en uygun ve en uzun ömürlü malzemeyi seçmek gerekir. Ayrıca dikkate alınması gereken bir diğer husus ise malzeme özelliklerinin kullanım şartlarına uygunluğu, işlenecek malzemenin kullanım alanı, mekanik özellikleri, fiziksel özellikleri, ağırlığı, çalışma koşulları ile ilgili özellikleri, yüksek sıcaklıktaki çalışma kabiliyeti ve korozyon direnci gibi özelliklerine bakılarak dikkat edilmesi gerekmektedir [1]

Malzeme seçiminde çoğu zaman hazırlanmış standart ve tüm dünyada geçerli olan tablolara veya deney sonuçlarından elde edilen verilere göre yapılır. İşlenebilirliğin iyileştirilmesi ve kesici takımların kesme performanslarının artırılması talaşlı imalatta çok sayıda araştırmanın konusu olmuştur. Günümüzde kullanılan geleneksel malzemelere nazaran üstün özelliklere sahip yüksek performanslı yeni malzemelerin ve alaşımların geliştirilmesi, araştırma yapan birçok kişiyi bu yeni malzemelerin işlenebilirlik özelliklerine yöneltmektedir [1].

Son dönemlerde otomotiv uygulamalarında hafif malzeme kullanımına olan ilgi otomobillerde ağırlığın azaltılması ve konforun yükseltilmesine olan ihtiyaçtan dolayı artmaktadır. İyi özgül dayanım ve rijitlik özellikleriyle magnezyum alaşımları otomotiv endüstrisindeki uygulamalar için alüminyum ve çelik ile mukayese edilebilir düzeydedir. Magnezyum ve alaşımları düşük yoğunluk ve kolay şekillendirme özellikleriyle başta otomotiv alanında olmak üzere birçok alanda uygulama imkânı bulmaktadır. Bu yüzden araştırmalar magnezyum alaşımlarının özelliklerine odaklanmıştır [6,9]

İşlenebilirliği en kolay metallerden biri olan magnezyum alaşımları birçok kalıplama tekniği ile son şekle yakın üretilse de çoğu zaman talaşlı üretim işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Magnezyum alaşımları kendi içinde işlenebilirlik bakımından bir fark göstermezler. Magnezyum tasarımlarda, öncelikle hafifliği sebebiyle tercih edilmesine rağmen iyi işlenebilirlik özelliklerine sahip olması yüksek hacimli üretimler için büyük bir avantaj teşkil etmiştir [6, 8].

Magnezyum metalinin birçok alanda yaygınlaştığı ve alaşımlandırılarak işlendiğinde birçok sektörde yaygın olarak kullanılacağı yapılan araştırmalar neticesinde göze çarpmaktadır. Bu durum magnezyum metalinin işlenebilirliği ile ilgili yapılan araştırmaların faydalı olacağını ve literatüre katkı sağlayacağını göstermektedir. Yapılan bu çalışmada ise AZ91 magnezyum alaşımının işlenebilirlik özellikleri üzerinde durularak farklı kesme parametreleri ve kesici takımlar kullanmak suretiyle, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir.

2.1. İşlenebilirlik İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımlar, talaşlı imalat işlemlerinin maliyeti ve ürün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Talaşlı imalat işlemlerinin maliyetinin düşük olması için kesici takımların yeterince uzun bir süre keskinliğini korumaları ve kesme hızının, ilerleme hızının ve kesme derinliğinin yüksek olması istenir. Kesici takımlar, kesme işlemini etkin bir şekilde yapabilmeleri için talaşlı imalat esnasındaki yüksek gerilme, sıcaklık ve sürtünme etkilerine uzun süre dayanacak kabiliyette olmalıdır. F. W. Taylor tarafından ortaya konulan ve takım ömrünü (T); kesme hızı (V) ve ilerlemenin (f) bir fonksiyonu olarak ifade eden modeli talaşlı imalat işlemlerinde maliyet ve ürün kalitesi için belirlenmesi gerekmektedir [10].

Korkut ve arkadaşlarının sementit karbür kesici takım ile AISI 304 paslanmaz çeliğinin işlenmesiyle optimum kesme parametrelerinin belirlenmesine yönelik kesme hızının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin araştırılmasına yönelik bir modelleme yapmışlar, bu çalışmada kesme hızının takım ömrünü etkilemesinin yanı sıra takım aşınması ile birlikte yüzey pürüzlülüğüne etkileri de incelenmiştir [11].

İşbilir, "Takım ömrünün sebep- sonuç diyagramları ile açıklanması, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etki eden faktörlerin analizi" isimli tezinde, çeşitli parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü üzerine etkisi tespit edilmiş, incelenen bu faktörlere göre yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü modellenmiştir**.** Takım ömründe, kesme hızı, malzeme sertliği, ilerleme ve kesme derinliği faktörlerinin etkili olduğu bulunmuştur [12].

2.2 AZ91 Magnezyum Alaşımı İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Kuşdemir, yapmış olduğu bu çalışmada magnezyum alaşımının özelliklerini ve mikro yapılarını geliştirmek için farklı alaşımlamalar uygulamıştır. Örneğin; bu alaşım elementlerinden biri olan Kalsiyumun (Ca) oksidasyonu azalttığı, sızıntı emniyetini artırdığı, sıcak uygulamalara (130-150 ºC) olan yeteneği artırdığı fakat %0.2 den fazla olduğu zaman, alaşımı kırılganlaştırdığı ve sıcak yırtılma eğilimini artırdığı gözlenmiştir. Bununla birlikte AZ91 için en iyi sürünme direncinin oda sıcaklığında gerçekleştiği raporedilmiştir. Mg-Al alaşımlarında Zn/Al oranı 1/3 oranını aştığında mikro yapıda üçlü Mg-Al-Zn fazı tespit edilmiştir [13].

Mert vd. yapmış oldukları çalışmada, magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemi ile şekillendirilebilirliği ve basınçlı döküm ürünlerinin kalıplanabilirliği hakkında genel bir değerlendirme yapmış, son yıllarda yapılan ve kapsama giren çalışmalar derlenmiştir. Magnezyum ve alaşımlarının artan oranlarda üretim sektörlerinde tercih edilen ve kalıplanabilirliği kolay malzemelerden olduğu tespit edilmiştir [14].

Jabbari Taleghani ve arkadaşlarının yapmış olduğu araştırmalarda, magnezyumun 1.74 g/cm^3 yoğunluğa sahip olması, mühendislik malzemeler içerisinde kullanım alanının arttığını vurgulamaktadırlar. Alüminyumdan (2.7 g/cm^3) ve diğer demir alaşımları (7.87 g/cm^3) gibi mühendislik alaşımlardan yoğunluğunun belirgin oranda düşük olması, kullanım alanının gelişmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Mg alaşımları yapı malzemelerinde de eşsiz yoğunluk ve yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı son yıllarda kullanım alanlarını giderek yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, modern tıp alanında da sağladığı özelliklerden dolayı günümüzde kullanım alanı yaygınlaşmaktadır. Otomotiv sektöründe de birçok önemli araştırma yapılmakta ve alaşım sistemi farklı üretim yöntemleri denenerek geliştirilmeye çalışılmakta böylece Mg ve alaşımlarının ürün pazarı giderek yaygınlaşmıştır [15].

Ünal yapmış olduğu çalışmada otomotiv, elektronik, havacılık ve savunma sanayinde kullanılan AZ91 serisi ileri teknoloji magnezyum alaşımlarının döküm özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla alaşıma ağırlıkça % 0,5, 1 ve 2 oranlarında yüzey aktif (Sn, Pb), yüzey aktif olmayan (Si, Fe, Cu) ve aşılayıcı elemanları (Zr, Ti) ilave etmiştir. Argon ve CO2+SF6 gazları alaşımın döküm pratiğine etkisi ile birlikte ilave edilen elementlerin kalıp sıcaklığı, akıcılık, sıcak yırtılma ve mekanik özelliklere etkilerini araştırmıştır [16].

Mohd vd. yapmış oldukları çalışmada, magnezyum alaşımlarının oksijene olan ilgisi, oksidasyon kolaylığı, sürtünme direncinin düşük olması nedeniyle magnezyum alaşımlarına uygun elementler eklenerek magnezyum alaşımlarının işlenebilirliğinde artış olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmalarda AZ, ZK, WE magnezyum alaşımlarının artan sıcaklık oranları ile işlenebilirliğinin arttığı tespit edilmiştir [17].

Kaçar ve Öztürk magnezyum alaşımlarının şekillendirilmesindeki son gelişmeler ile ilgili çalışmalarında havacılık ve otomotiv sanayisinin en çok ilgi duyduğu Mg ve alaşımlarının oda sıcaklığında şekillendirilme kabiliyetinin önemli bir sorun olduğunu ve bu yüzden de yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarının bu alanda sürekli devam ettiğini ifade etmişlerdir [18].

Tönshoff ve Winkler magnezyumun işlenebilirliğine takım kaplamasının etkisi üzerine yapmış oldukları çalışmada, magnezyum alaşımı düşük ağırlık ve hafif olması nedeniyle büyük bir potansiyel olarak endüstriyel yapılarda kullanılmaktadır. Magnezyum alaşımları özellikle, sanayi alanında ve otomotiv sektöründe büyük bir kullanıma sahiptir. İş parçası, takım malzemesi ve kaplama arasındaki etkileşimi gözlemlemek için, sırasıyla torna deneyleri AZ91 HP alaşımların işlenebilirliği gerçekleştirilmiştir. Magnezyumun kuru kesme şartlarında işlendiğinde kesici takım ve iş parçası arasındaki adhezyondan kaynaklanan yan kenar yığılması kaplamasız ve TiN kaplamalı sementit karbür takımlar için 900 m/dak ve daha üzeri kesme hızlarında oluşmaktadır. PCD takımların yerine veya kaplamalı 2400 m/dak yüksek kesme hızlarında süper bir yüzey kalitesi kadar düşük tezgâh gücünde takım-iş parçası birleşimi arasında adhezyon ve sürtünme azalabilir. PCD kaplamalar karmaşık takım geometrilerinde uygulanabilir. Magnezyum alaşımları işlendiği zaman sıklıkla takım aşınması gözlenir. Magnezyum basit metal matrix kompoziti takviye elemanına sebep olan yük abrasive ile magnezyumun adhesive etkisi birleşerek işlenir. 100

m/dak gibi düşük kesme hızlarında bile TiN kaplamalı karbürler aşırı takım aşınması gözlemlenir. PCD kaplamalar daha iyi sonuçlar vermekte fakat düşük film kalınlığı seçilirse, PCD yerine sahip olunan takım ile karşılaştırılmaz [19].

Mert yapmış olduğu çalışmada Magnezyum ve alaşımları düşük yoğunluk ve kolay şekillendirme özellikleriyle başta otomotiv sektörü olmak üzere birçok alanda uygulama imkânı bulmaktadır. Magnezyum alaşımlı parçalar her ne kadar birçok kalıplama yöntemi ile son şekle yakın üretilse de, çoğu zaman talaşlı imalat işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Magnezyum ve alaşımları talaşlı imalat işlemlerinde mükemmel işlenebilirlik kabiliyetine sahiptir. Yüksek talaş hacimleri ve düşük yüzey pürüzlülüğü magnezyum alaşımlarının başlıca işlenebilirlik karakteristikleridir. Bunun yanında uzun takım ömrü, düşük enerji tüketimi ve kısa işleme süreleri bu alaşımların talaşlı imalat ile işlenmesinde en çok göze çarpan özelliklerdir. Bilinenin aksine, magnezyumun işlenmesinde yangın riskinin oluşması çok düşük bir ihtimaldir. Bu çalışmada, magnezyum ve magnezyumun işlenmesi hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca işleme esnasında alınacak güvenlik önlemlerine de yer verilmiştir [6].

2.3. Literatür Araştırmalarının Değerlendirilmesi

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, AZ91 magnezyum alaşımının işlenebilirliği ve magnezyum alaşımlarının şekillendirme özelliklerinin geliştirilmesi üzerine sınırlı sayıda akademik çalışmalara rastlanmış ve bu alan üzerine ileri teknoloji ürünü geliştirme amaçlı çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Çeşitli metal malzemeler tornalama ve frezeleme yöntemleriyle farklı parametrelerde ve değişik koşullarda işlenerek yüzey pürüzlülük değerleri, kesme kuvvetleri ve takım aşınmalarının araştırıldığı tespit edilmiştir. İşlenebilirlik için daha çok etkili olan değişkenler; kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, uç yarıçapı, kesici takım malzemesi, kesici takım geometrisi, kesici takım aşınması, iş parçası sertliği ve yığıntı talaş oluşumu BUE eğilimi olarak tespit edilmiş ve bu değişkenlerin işlenebilirlik değerlendirme kriterlerine olan etkileri araştırılmıştır.

“AZ91 MAGNEZYUM ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı bu tez de farklı kesici takımlar, farklı kesme parametreleri kullanılarak işlenebilirlik deneylerine tabi tutulmuş; elde edilen veriler ile işlenebilirlik kriterleri açısından uygun takım ve kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri

ile yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması ve üretim zamanını kısaltmak için en uygun kesme parametreleri belirlenmeye çalışılarak bu sonuçların literatüre bir katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

3. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

3.1. Talaşlı İmalat

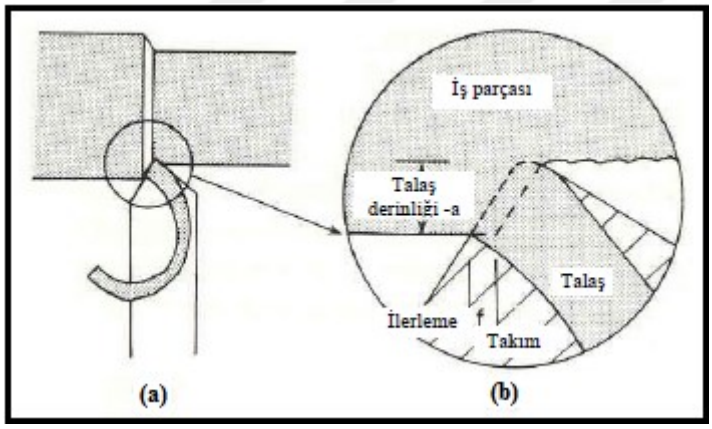
Talaşlı imalat işlemi, şekillendirme yöntemlerine bakıldığında en önemlilerinden bir tanesidir. Talaşlı imalat işleminde; iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı (torna, freze, matkap) ve uygun kesici takım kullanılarak parça gövdesinden uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi elde edilir. Eğer kullanılan iş parçası metal ise işlem metal kesme olarak da ifade edilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir [10].

Endüstriyel alanda kullanılan makine parçalarının birçoğu son kullanım şekillerine, talaşlı imalat işlemiyle getirilmektedir. Presleme, döküm, dövme, enjeksiyonla kalıplama ya da sıcak ve soğuk haddeleme ve diğer şekillendirme teknikleriyle imal edilmiş mühendislik malzemelerinin çoğu zaman talaşlı imalat yöntemi kullanılarak hazır hale getirildiği bilinmektedir. İstenilen geometri ve hammadde formu, talaşlı imalatta kullanılacak takım tezgâhı ve kesici takım seçiminde etkilidir. Uygun takım tezgâhı, kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak, hammadde veya yarı mamul üzerindeki fazlalıklar, çapaklar istenilen ölçü toleransları ve yüzey kalitesinde talaş kaldırmak suretiyle, istenilen geometriye getirilir. Talaşlı imalat uygulamasında etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir. Bu yöntem çoğu zaman metalleri şekillendirmek için kullanılsa da diğer bazı metal olmayan malzemelerde de aynı yöntemle şekillendirilebilir [20].

Endüstriyel alandaki ürünlerin üretiminde, talaşlı imalat yöntemi maliyet yönünden en önemli etkendir. Talaşlı imalatla işleme maliyeti, çoğu zaman hammadde maliyetinin çok üstüne çıkmaktadır. Kullanılan kesici takımların pahalı olması temel neden olarak gösterilebilir. Hammaddenin, talaşlı üretim şekillendirilme özelliklerinin yeteri kadar bilinmemesi de aynı zamanda maliyetin dolaylı olarak artmasına neden olmaktadır. Talaşlı imalatta, seçimi uygun olmayan hammadde - takım çifti ve yine seçimi uygun olmayan kesme parametreleri nedeniyle, etkin bir şekilde kullanılamayan kesici takımlar yada fazla kullanılan enerji tüketimi ile parça imalatı, parça başına düşen maliyet miktarının

artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple, üretimdeki bu maliyeti indirgemek amacıyla, ham işlenmemiş durumdaki iş malzemesinin işlenebilirlik özelliklerini iyileştirmek, kesici takımların kesme performanslarını artırarak işleme zamanını optimize etmek ve etkili takım ömrünü uzatmak amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır [21].

Talaşlı imalat yöntemiyle farklı geometrilerdeki iş parçalarını şekillendirebilmek için, çeşitli talaşlı imalat işlemleri ve bu işlemleri yapabilecek takım tezgâhları geliştirilmiştir. Talaş kaldırılarak yapılan tornalama işlemi deneysel çalışmalarda en sık kullanılan imalat yöntemlerinden birisidir. Tornalama işlemi silindirik iş malzemelerinin işlenmesinde etkin bir talaşlı imalat yöntemi olarak kullanılmaktadır. İşlenecek olan iş parçası tezgâha genellikle bir donanım ve yardımcı aparatlarla bağlanılarak döndürülür. Kesici takım ise bir takım tutucuya sağlam ve sağlıklı bir şekilde bağlanır ve dönmekte olan iş parçası ekseninde ileri hareket ettirilerek iş parçası üzerinden bir miktar talaş kaldırmak suretiyle, dairesel veya karmaşık profilli yüzeyler elde edilir. Şekil 3.1'de tornalama işlemi şematik olarak verilmektedir[22].



Şekil 3.1. Tornalama işleminin şematik olarak gösterimi
a) Kesme derinliği b) Kesme alanı

Kesme hızı, (V) kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/min olarak ifade edilmektedir. İlerleme hızı (f), iş paçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafedir ve mm/rev olarak ifade edilir. Talaş derinliği (a), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin kesilme derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin birim düzenlemeleri yapılarak

çarpımı ekseriyetle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranı olarak verilmektedir [22].

3.2. Talaş Kaldırma Mekaniği ve Talaş Oluşumu

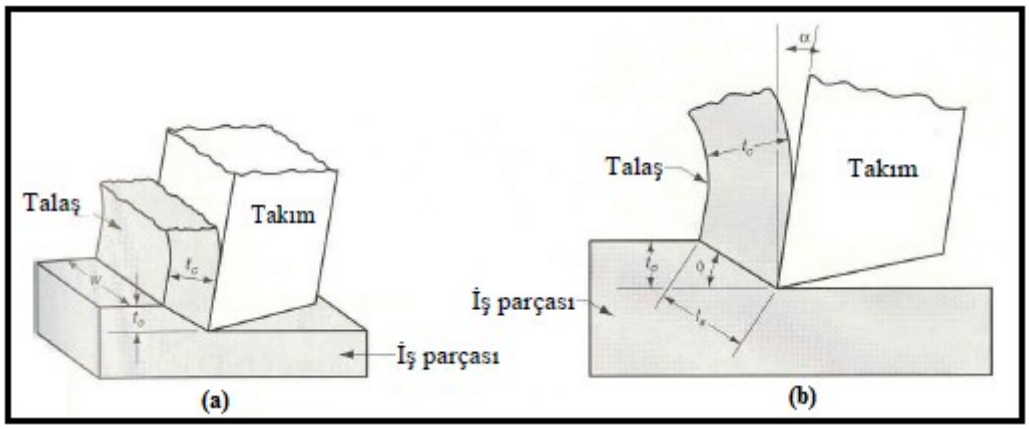
Talaş kaldırma mekaniği ve talaş oluşumu için yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle iş parçası olarak metaller esas alınmaktadır [23].

Talaşın oluşması için temel olarak üç gereksinim mevcuttur, bunlar şu şekilde özetlenebilir:

1- Kullanılan kesici takımın, iş parçası malzemesinden daha sert ve aşınmaya karşı direncinin daha yüksek olması,
2- İlerleme ve kesme derinliğiyle takım ve iş parçası arasında dalmayı sağlayan kesici uç geometrisinin olması,
3- İş parçası malzemesinin direncini yeterli kuvvetle yenmesi için iş parçası ve takım arasında bir kesme hızı veya nispi hareketin oluşmasıdır.

İş parçası üzerinden talaş kaldırma işleminde, kesici takım sabit bir kuvvetle iş parçası üzerine batırıldığında ve kuvvetin olduğu yöne doğru hareket ettirildiğinde kesici takım ucunun temas ettiği iş parçası malzemesinin katmanında öncelikli olarak elastik daha sonra da plastik şekil değişiklikleri gerçekleşerek malzeme üst katmanında akmalar başlar. Bu şekil değişikliklerinden dolayı meydana gelen gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda "talaş" olarak nitelendirilen belirli bir miktar yüzey tabakası, iş parçası boyunca parçadan koparak ayrılır [24].

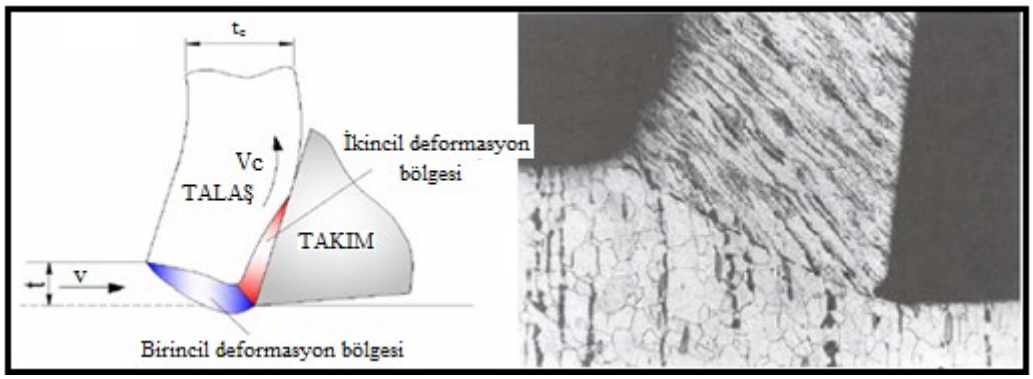
Talaşlı imalat yöntemlerinde talaş kaldırma işlemleri oldukça karmaşık ve üç boyutlu olduğu için talaş kaldırma işleminin tanımının yapılmasında iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modeli (Şekil 3.2) kullanılmaktadır [24]. Kullanılan bu yaklaşım modeli basit olmasıyla birlikte talaş kaldırma mekaniğini de yeterli doğrulukta tanımlar ve talaşlı imalat işleminin analizinde de önemli bir rol oynar. Bu modele göre, kesicinin iş parçasını plastik deformasyona zorlamasıyla, kesici geometrisine ve kesme parametrelerine bağlı olarak farklı açılarda oluşan kayma düzleminde, kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşmektedir [20,25].



Şekil 3.2. Dik (orthogonal) kesme modeli;
a) İzometrik görünüş b) Önden görünüş

t_0: deforme olmamış talaş kalınlığı
tc: deforme olmuş talaş kalınlığı
w: iş parçası genişliği
ls: kayma düzlemi uzunluğu
ϕ: kayma düzlemi açısı
α: kesici takım talaş açısı

Talaş oluşumu, (Şekil 3.3) birincil deformasyon bölgesi içerisinde oluşan belirli bir kayma düzlemi boyunca meydana gelir[23].



Şekil 3.3. Talaş Oluşumu [20, 25, 26].

Malzeme kayma düzlemine kadar elastiktir oluşan bu düzlem üzerinden başlayarak ve kesme yönüne yönlenmiş ardışık kesme düzlemleri boyunca ilk deformasyon devam etmektedir. Talaş kaldırma esnasında takım veya iş parçası, kesme yönünde "V" kesme hızı ile hareket eder ve kaldırılan talaş iş parçasından "Vc" hızı ile uzaklaşır. Kesici takım yüzeyi boyunca sürtünme ve yapışma etkisiyle meydana gelen bölge ise ikincil deformasyon bölgesidir [27].

3.3. Yüzey Pürüzlülüğü

İş parçası yüzeyinde kesici takımın kesme işlemi yaparken bıraktığı izlerden ve baskılardan meydana gelen girinti ve çıkıntı, yüzey kalitesi olarak tanımlanmaktadır. Parçanın yüzey kalitesini gösteren iki türlü pürüzlülük vardır. Bunlardan birincisi çok küçük yüzeysel hatalarda oluşan ve yüzey pürüzlülüğü olarak ifade edilen mikro geometrik düzgünsüzlük, ikincisi ise parçanın ideal şeklinden sapmalarını belirten ve form düzgünsüzlüğü (makro dalgalanmalar) olarak ifade edilen geometrik bozukluktur [28].

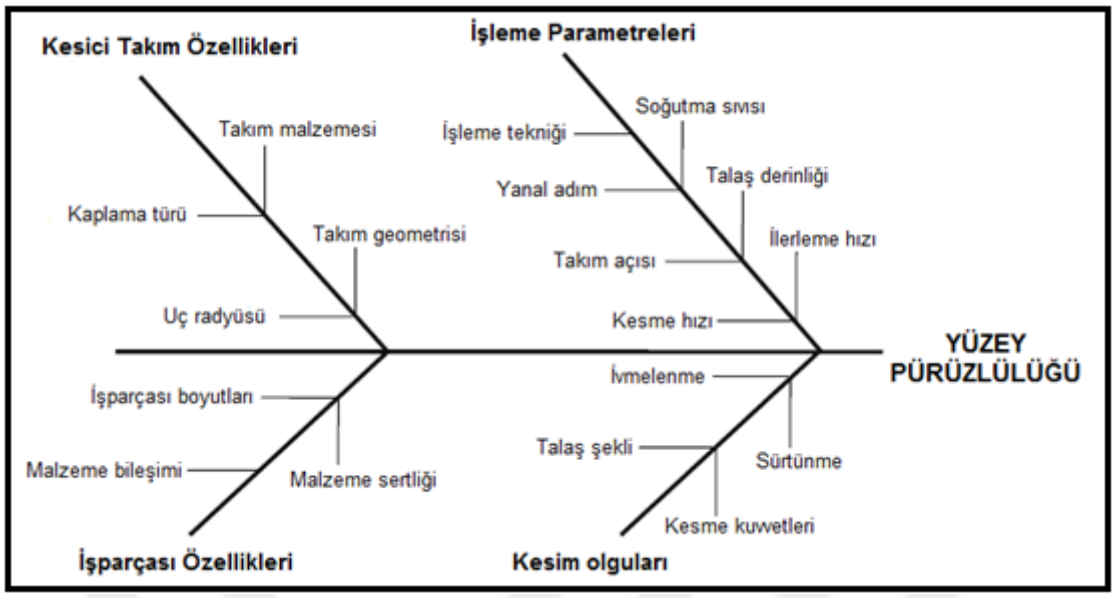
Talaşlı imalat yöntemlerinden geçerek üretilen iş parçaları gözlemsel olarak incelediğimizde, yüzey her ne kadar düz gibi görünse de gerçekte parça yüzeyindeki gerçek sürtünme alanı parça alanından daha az olmaktadır. İmalatçılar genellikle ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) yaklaşık 1.6µm'yi geçtiği durumlarda yüzey pürüzlülüğünü ölçmek yerine gözle kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü, pürüzlülüğün çok önemli olduğu durumlarda kalite kontrol sürecine dahil edilir. Bunun için belirlenmiş uluslararası yüzey pürüzlülük standartları bulunmaktadır. Ülkemizde yüzey kaliteleri TS 2040 nolu yayınla bir standarda bağlanmıştır [29, 30].

3.3.1. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Talaşlı imalat yöntemlerinde yüzey pürüzlülüğüne etki eden birçok faktör vardır. Bunlar;

- İş parçası malzeme türü
- Kesici takım türü
- Kesme hızı
- İlerleme hızı
- Kesme derinliği
- Oluşan ısı
- Soğutma sıvısı
- Tezgâhın konstrüksiyonu

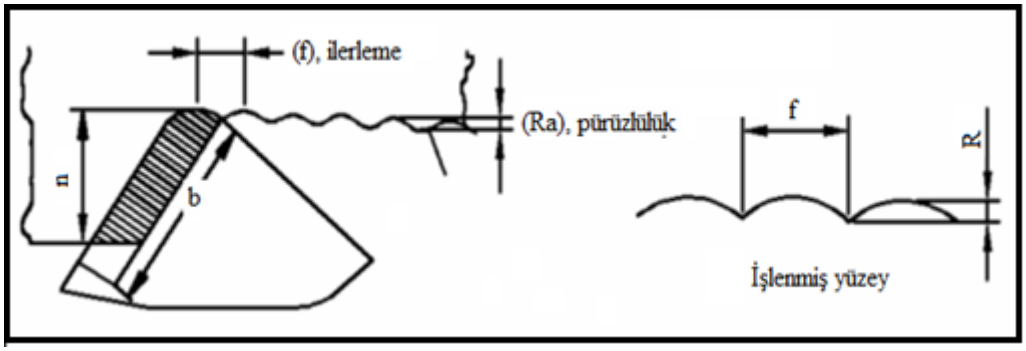
gibi faktörlerdir. Bu faktörlerden bir veya birkaçının değişmesi durumunda yüzey pürüzlülüğü de değişmektedir. İşleme sırasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel faktörler Şekil 3.4.'de gösterilen balık kılçığı diyagramıyla ifade edilebilir [31].



Şekil3.4. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel faktörler

3.3.2. Yüzey pürüzlülüğünün oluşması

Yüzey pürüzlülüğünün ideal bir şekildeki oluşumu Şekil 3.5'de şematik olarak ifade edilmiştir. Genellikle, uygulamada ideal pürüzlülük şartlarına uymak pek mümkün değildir. Genelde gerçek pürüzlülükte en etkili pürüzlülük tipi doğal yüzey pürüzlülüğüdür. Doğal yüzey pürüzlülüğüne neden olan en önemli etkenlerden biri yığma talaş (BUE) oluşumudur [1, 32].



Şekil 3.5. Takım uç yarı çapı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Yapılan geometrik hesaplamalar sonucunda, teorik yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki formülde verilmiş olan ampirik ilişki ile elde edilmektedir [32].

$$Ra = 0{,}064 \, x \, f \, 2 \, / \, 8 \, r \qquad (3.1)$$

Yığma talaş sürekli olarak birikir, dağılır ve dağılan sert talaş parçaları iş parçasına sürtünür. Takım geometrisi ve kesme parametreleri, talaş takım sürtünmesini ve yığma uç oluşumunu azaltarak daha düzgün yüzey oluşmasını sağlar. Genellikle yüzey pürüzlülük değerleri olarak taşlama işlemi için 0,05-1,6 μm, son paso tornalama için 0,1-1,0 μm, frezeleme ve kaba tornalama için ise 1,6 μm'den daha yüksek olan Ra değerleri kabul edilebilir [29].

3.3.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçme teknikleri

Optik metot: İşlenmiş bir yüzey üzerine yansıtılmış ışının geliş açısıyla yansıma açısı aynı olacaktır. Işının dağılımı pürüzlü yüzeylerde optik sensörlerle ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir.

Temas metodu: Yüzey üzerinde gezdirilen bir probun sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması temeline dayanır.

Mekanik metot: En az 500 gram ağırlığın çelik bilye kullanılarak yüzeyde; yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçme tekniğidir.

Hidrolik metot: Belirli bir eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belirli bir hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan ilişki ile pürüzlülük değeri ölçülmesi esasına dayanır.

Yüzey dinamometresi metodu: İki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilebilir.

X ışını metodu: Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508 μm arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir.

Elektron mikroskobu metodu: En küçük düzensizlikleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve görüntünün kopyalanması gibi sorunlar elektron mikroskobu metodunu sınırlamaktadır.

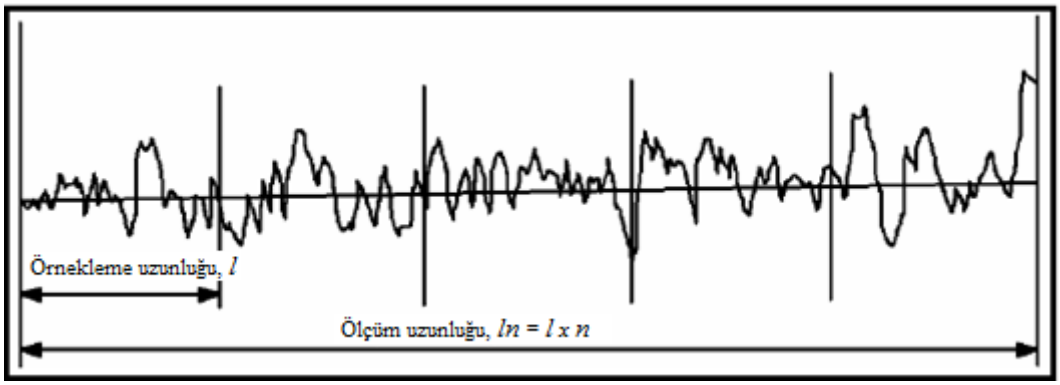
Replika metodu: Parça üzerindeki konumu sebebiyle ölçüm yapılacak olan yüzeye erişilmediği durumlarda selüloz-asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında %80 oranında bilgi verir.

İzleyici uçlu cihazla ölçme metodu: Parça üzerinde çok sivri bir izleyici ucun değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilerek ve bu hareket esnasında meydana gelen titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması ve elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. Ölçüm esnasında izleyici ucun inceliği doğruluk açısından önem arz ettiğinden 0,00004 mm çapında iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı kolay ve ideal bir ölçüm metodudur [1, 30].

Elektro fiber optik metot: X,Y yönünde hareket edebilen tablaya, yüzey pürüzlülüğü ölçülecek parça bağlanarak yatay konuma getirilir. Parça yüzeyine fiber optik algılayıcı ile dik olarak ışın gönderilir, yüzeyin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur [1,29].

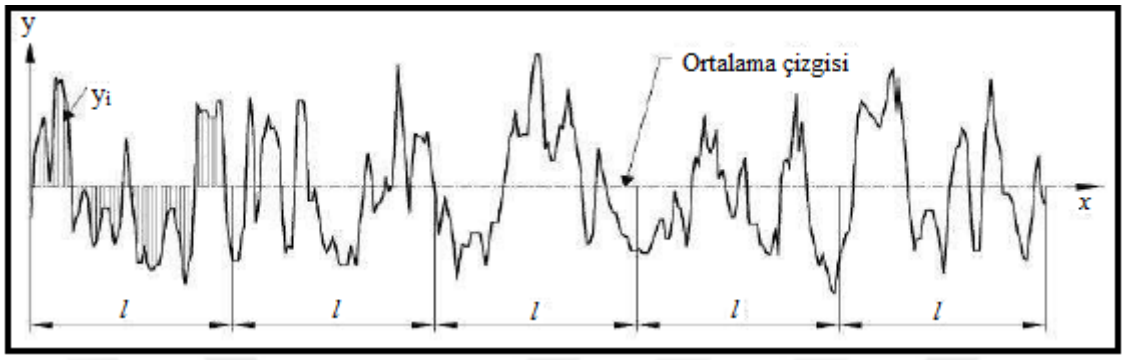
3.3.4. Yüzey pürüzlülük parametreleri

Örnekleme uzunluğu ve örnekleme sayısı: Örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte Şekil 3.6'da ifade edildiği gibi seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen örnekleme uzunluklarının bütününün bir araya gelmesi ile ln ile ifade edilen değerlendirme uzunluğu oluşur. n≥5 olmak üzere, örnekleme uzunluğu (*l*) ile örnekleme sayısı (n) çarpılarak ln uzunluğu elde edilir (ln=lxn)[1,33].



Şekil 3.6. Örnekleme uzunluğu ve örnekleme sayısı ile ölçüm uzunluğu

Ortalama çizgisi: Ölçme uzunluğu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğru, ortalama çizgisini ifade eder. Şekil 3.7'de tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir [1, 33].



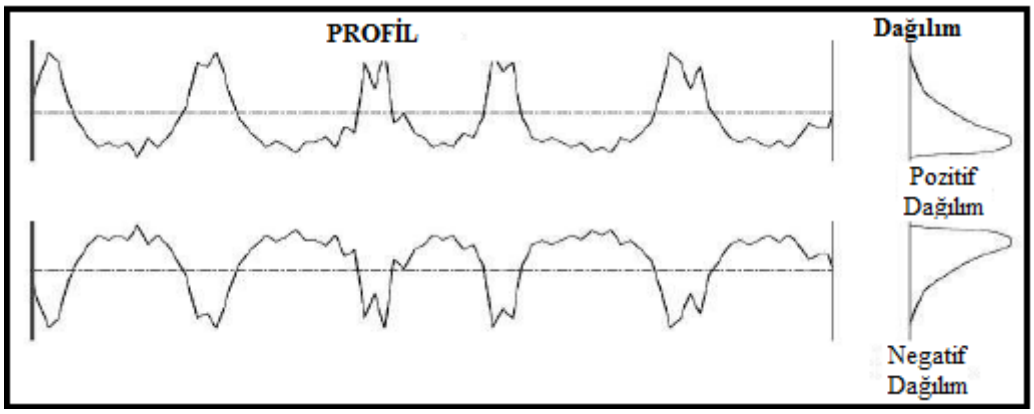
Şekil 3.7. Ortalama çizgisi ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi

Ortalama yüzey pürüzlüğü (Ra): Grafiksel olarak gösterilen Şekil 3.7'de ortalama çizgisinin üstünde ve altında oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalaması ortalama yüzey pürüzlülük değeridir. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul edilmiş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin ölçülmesi ve tanımlanması kolaydır, matematiksel tanımlaması aşağıdaki şekilde formüllerle ifade edilebilir [1, 33].

$$R_a = \frac{1}{l}\int_0^l |y(x)|\,dx \tag{3.2}$$

$$R_a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |y_i| \tag{3.3}$$

Genlik dağılım eğrisi: Bu parametre Şekil 3.8'de gösterildiği gibi profil genlik yoğunluğun ortalama çizgiye göre simetrisini belirten dağılım eğrisidir. Aynı Rq ve Ra değerine sahip profilleri ayırt etmeye yarayan bir değişkendir. Matematiksel olarak tanımı aşağıda verilmiş olan formülle ifade edilmiştir [1, 33, 34].



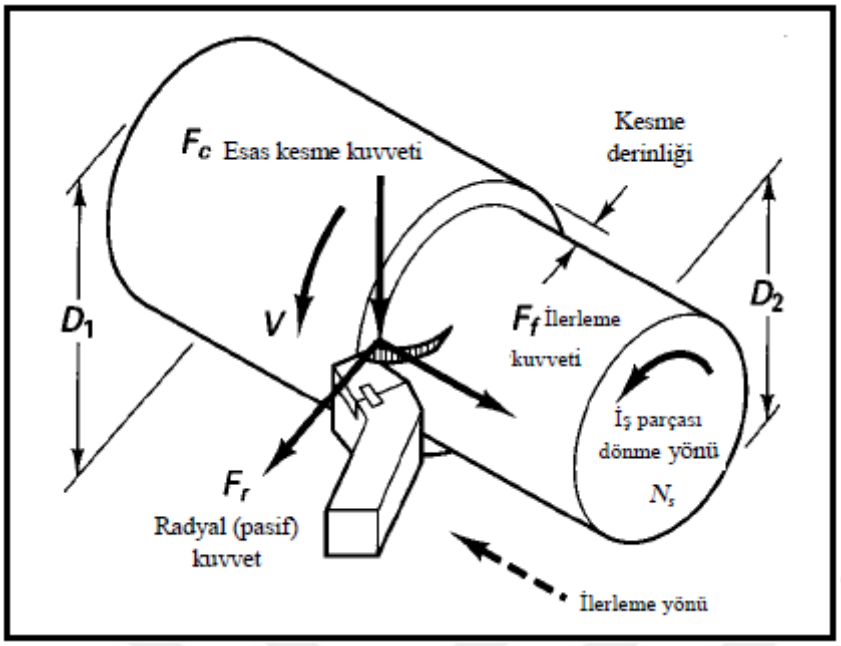
Şekil 3.8. Profil ve genlik dağılım eğrisi

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_{-\infty}^{\infty} y^3 p(y)\, dy \tag{3.4}$$

$$R_{sk} = \frac{1}{N R_q^3} \left(\sum_{i=1}^{N} Y_i^3 \right) \tag{3.5}$$

3.4. Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, takım ömrü, ısı oluşumu, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Aynı zamanda kesme kuvvetleri takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır [22, 35]. Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 3.9'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetleri [26, 36].

Şekil 3.9'da kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur. Bunlar;

1- Esas kesme kuvveti (Fc): Kesme hızı yönünde etkiyen kuvvettir. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde % 99'una karşılık gelir.

2- İlerleme kuvveti (Ff): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etki eden kuvvettir. Genellikle kesme kuvvetinin yaklaşık % 50'si kadarıdır.

3- Radyal (pasif) kuvvet (Fr): İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet de ilerleme kuvvetinin yaklaşık % 50'si kadardır [36].

Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \tag{3.6}$$

Esas kesme kuvveti sadece kesici takım ve iş parçası arasındaki temas ve sürtünmeye değil, aynı zamanda talaş ile talaş yüzeyi arasındaki temas şartlarına da bağlı bulunmaktadır. Esas kesme kuvvetini, talaş oluşumunun ve talaş kırmanın niteliği önemli

ölçüde etkiler. Deforme olmamış talaş kalınlığı ile esas kesme kuvvetinin büyüklüğü arasında bir bağıntı bulunmaktadır. Birçok iş parçası malzemesinde kesme işlemi yapılırken kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri düşer. Bunun sebebi akış bölgesindeki yüksek sıcaklıklar ve talaş eğrilik yarıçapının azalması ile azalan temas yüzey alanıdır. Bunun yanı sıra malzemenin tipine, malzemenin koşullarına ve çalışılan kesme hızı aralığına göre kesme kuvvetlerindeki azalma miktarı farklılık göstermektedir [37].

Sonuç olarak tüm kesme faktörlerinin kesme kuvvetleri üzerinde etkisi olduğu söylenebilir. Kesme kuvveti üzerindeki en önemli faktörlerin etkileri aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- İş parçası malzemesinin mukavemeti arttıkça işlenebilirliği azalır, tüm kuvvet bileşenleri artar.

- Özellikle ilerleme ve radyal kuvvetleri üzerinde yanaşma açısının etkisi büyüktür, yanaşma açısı büyüdükçe ilerleme kuvvetinin de büyüdüğü radyal kuvvetin ise küçüldüğü, yanaşma açısının küçülmesi halinde ise tersi durumun söz konusu olduğu söylenebilir.

- Talaş açısının büyümesi halinde kesici takımın kama açıcı küçülür (boşluk açısı sabit varsayılmaktadır). Buda daha sivri uçlu kesici takım, parçaya daha rahat dalma ve daha düşük kesme kuvvetleri demektir [38].

3.5. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak bir malzemeyi (çoğunlukla metal) talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirebilmenin nispi kolaylığı veya zorluğu olarak ifade edilir [25]. Genellikle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da işlenebilirlik, sadece işlenen iş parçası malzemesine bağlı kalmayıp aynı zamanda işleme tekniği ve işleme parametrelerine de bağlıdır [36].

Endüstriyel ürünlerin maliyetine, talaşlı imalat işleminin maliyeti önemli ölçüde etki ettiği için, malzemelerin işlenebilirliklerini ve kesici takımların kesme performanslarını artırmak üzere birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [21,39]. Talaşlı imalat işlemleri, endüstride yaygın olarak kullanılan birçok iş parçasının üretiminde de büyük öneme sahiptir. Özellikle ölçü tamlığı ve yüzey kalitesinin önemli olduğu parçaların üretiminde şekillendirme tercihi olarak talaşlı imalat tekniği kullanılmaktadır [32, 39, 40].

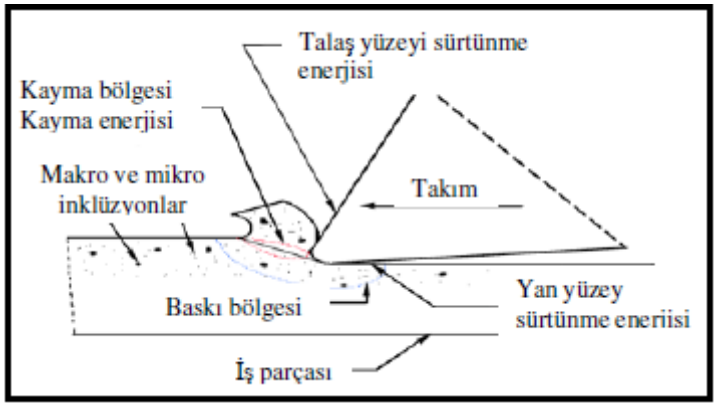
İşlenebilirlik her iş parçası malzemesi için farklılık gösterir seçilen malzemenin işlenebilirliğinin iyi veya kötü olması durumunda işleme şartları olumlu veya olumsuz yönde etkilenir. Bu sebepten dolayı malzeme seçimi yapılırken imalatı yapılacak iş parçasının tasarımı aşamasında şartları sağlayan malzemeler arasından işlenebilirlik kabiliyeti daha iyi olan malzeme seçilir [41].

Malzemenin düşük sertliği ve mukavemeti genel olarak iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte, sertliği az olan ve çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (built up edge) oluşumu meydana geldiği için yüzey kalitesi bozulur ve kesici takım ömrü kısalır.

Malzemedeki sertliğin çok düşük olması talaşlı imalat işleminin işlenebilirliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Örneğin, düşük karbonlu çeliğin nispeten düşük sertliğe sahip olması işlenebilirliğinde düşük yüzey kalitesi olmasına ve talaşın iş parçasından uzaklaştırılması ile ilgili sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bu sebeple, karbon oranı düşük olan çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için genellikle soğuk çekme işlemi uygulanır.

Sünekliğin düşük olması ise metal kesme işleminde genellikle olumlu yönde bir etki yaparak daha iyi talaş oluşmasına katkıda bulunur ve kesme işlemi için harcanan gücün daha az olmasını sağlar. İş parçası malzemesinin dayanıklılığı; kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracağı için, artan dayanıklılıkla malzeme kesme işlemi zorlaşır.

Bunun yanı sıra, yüksek ısıl iletkenlik; kesme bölgesinde oluşan ısının ivedi bir şekilde uzaklaştırılması demektir bu nedenle, yüksek ısıl iletkenlik işlenebilirlik açısından genellikle faydalıdır [42]. Ayrıca, Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki kalıntılar (inklüzyonlar) ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Şekil 3.10'da şematik olarak gösterilmiştir [43, 44].



Şekil 3.10. İşlenebilirliği etkileyen faktörler

Talaşlı imalat açısından bakıldığında, endüstriyel ürünlerin performanslarını artırmak için geleneksel malzemelere nazaran daha iyi özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesi problemler çıkarmaktadır. Geliştirilen bu malzemelerin yüksek aşınma direnci, yüksek mukavemeti ve yüksek sıcaklıklarda ki özellikleri oda sıcaklığı özelliklerinin önemli bir kısmını korumaları talaşlı imalat teknikleriyle şekillendirilmelerini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla, bu malzemelerin yaygın olarak kullanılması kesici takımların daha etkin ve işleme tekniklerinin geliştirilmesi veya işlenebilirliklerinin iyileştirilmesini gerektirmektedir. İşlenebilirlik değerlendirmek için kullanılan çeşitli kriterler bulunmakta bu kriterler en yaygın olarak kullanılanları aşağıda verilmektedir [32, 39].

- Takım ömrü,
- Kesme kuvvetleri ve harcanan enerji veya güç,
- İşlenen yüzey kalitesi

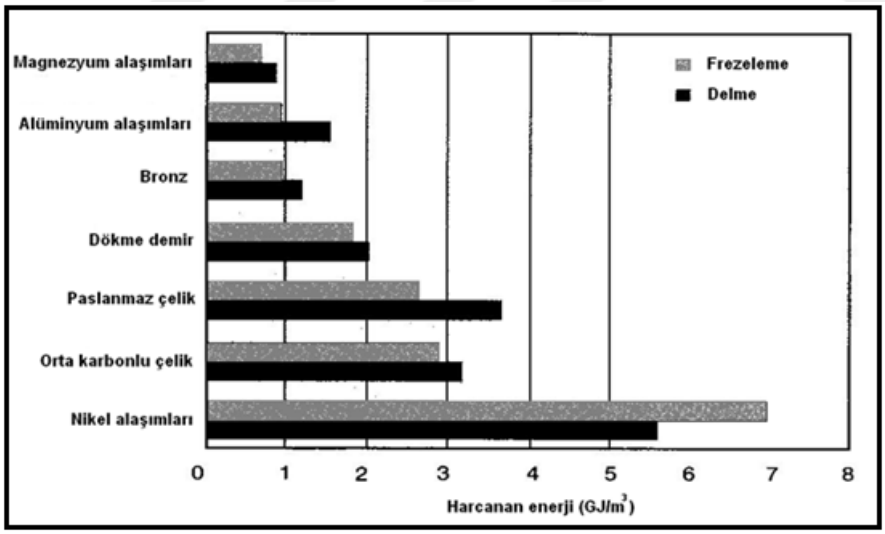
3.6. Magnezyum ve Alaşımlarının Talaşlı İmalatı

Magnezyum metali, talaşlı şekillendirilebilirliği en kolay metallerden biridir. Ayrıca alaşımları da magnezyum gibi şekillendirilebilirlik açısından kendi içinde bir fark göstermezler, tasarımlarda öncelikli olarak hafifliği nedeniyle tercih edilen magnezyum yüksek hacimli üretimler için kolay şekillendirilebilirliği büyük bir avantaj sağlamaktadır. Zor şekillendirilebilen alüminyum, dökme demir ve titanyum gibi metallere göre mükemmel şekillendirilebilirliği büyük üstünlük sağlarken şekillendirilmesinde harcanan güç ihtiyacı da bu metallere nazaran azdır. Düşük kesme basınçları ve yüksek ısıl iletkenliği hızlı bir ısı dağılımı sağlar ve böylelikle kesici takım ömürleri uzarken takım

değiştirme zamanları da kısalır. Şekillendirme işlemi, düşük kapasiteli manuel tezgâhlar da yapılabileceği gibi yüksek kapasiteli otomasyon tezgâhlarda da yapılabilir [45].

Kullanılacak kesici takım seçiminde ise üretim hacmi belirleyici kriterdir, çoğu uygulamada karbon çeliği takımlar yeterli olmasına rağmen, yüksek hacimli üretimler için karbür uçlu takımlar tercih edilir [45]. Alüminyuma göre süneklik, gürültü ve titreşim sönümleme özellikleri daha iyidir, aynı zamanda mükemmel dökülebilirlik ve işlenebilirlik kabiliyetine sahiptir. Nadir toprak elementleriyle yaptığı alaşımlarda üstün direnç/ağırlık oranları elde edilmektedir. Bu göstermiş olduğu özellik ve kabiliyetleriyle yalnızca çelik, dökme demir ve bakıra değil, alüminyum yerinede tercih edilir [46, 47].

Bilinen en hafif yapısal metal olan magnezyum mükemmel işlenebilirlik özelliği göstermesinin yanı sıra bilinen işlenebilirlik karakteristik özelliklerinden en önemli olanları düşük kesme kuvvetleri, iyi yüzey kalitesi ve kolay talaş akışıdır. Şekil 3.11'de magnezyum alaşımları ile çeşitli metal alaşımların işlenmesinde harcanan enerji miktarları karşılaştırılmıştır [6, 48].

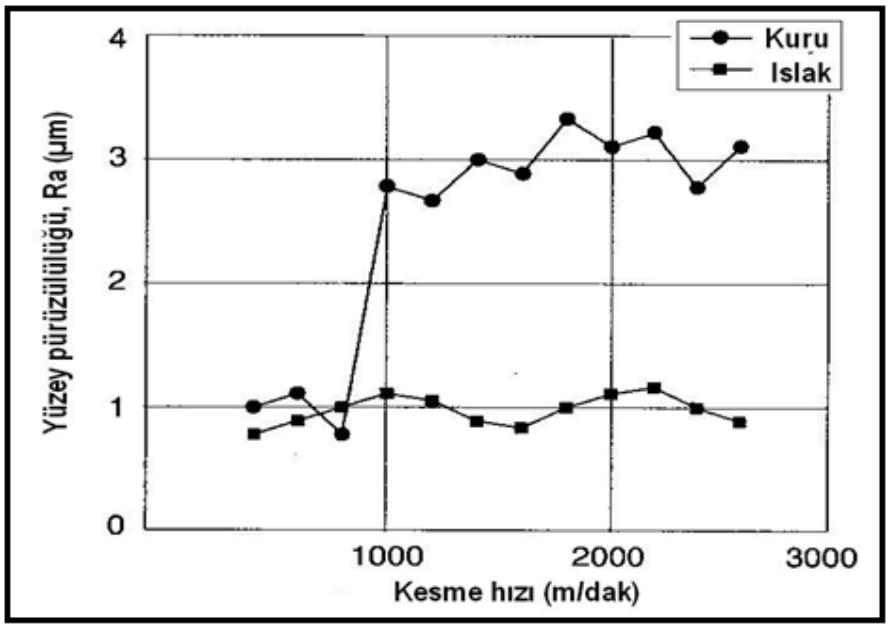


Şekil 3.11. Magnezyum ve çeşitli metal alaşımların işlenmesinde harcanan enerji miktarlarının karşılaştırılması

Magnezyum alaşımlarının işlenmesinde kullanılan düşük enerji tüketimi, daha büyük talaş miktarı ve yüksek ilerleme hızlarına imkân vermektedir. Böylece işleme operasyonları diğer metallere göre daha hızlı ve daha verimli gerçekleştirilmektedir. Magnezyum alaşımlarının işlenmesinde genellikle spiral talaş elde edilirken işleme bölgesinden hızlı ve

güvenli bir şekilde uzaklaştırıldığı sürece bu talaşların tutuşma riski çok azdır. Malzeme yığılması (BUE) oluşumu ise çok yüksek kesme hızlarında, karbür ve HSS takımlar kullanılarak işlenmesi ile meydana gelmektedir.

Magnezyum alaşımlarının işleme esnasında meydana gelen BUE, çoğunlukla yanak yüzeye yapışma şeklinde ortaya çıkar ve belirli bir miktara ulaştığında işlenen yüzey ile temas ederek sonuç itibariyle işlenen yüzeyin kalitesini bozarak kesme kuvvetlerinin de artmasına sebebiyet verir. Şekil 3.12'de bir araç jantının tornalama işlemindeki kuru ve ıslak grafik sonuçları şematik olarak gösterilmektedir. Sonuçlar, yüksek kesme hızları ve kuru işleme şartlarında yanak yüzeyde oluşan BUE'nin soğutma sıvısı kullanılarak bertaraf edildiğini göstermektedir [6, 49].



Şekil 3.12. AZ91 magnezyum alaşımının kuru ve ıslak işleme şartlarında kesme hızı yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

Magnezyumun iyi ısıl iletkenliğinden dolayı soğutma sıvısının sağladığı soğutucu ve yağlayıcı özelliklere her zaman ihtiyaç duyulmaz genellikle kesme sıvısı kullanılmadan şekillendirilebilir. Kesme sıvılarına, derin sondaj işlemlerinde yağlama amacıyla veya çok yüksek kesme hızlarında soğumayı sağlamak için ihtiyaç duyulabilir. Kuru işlemelerde daha temiz ve düşük maliyetli ürünler elde edilir, fakat kuru işleme sırasında talaşların kesme bölgesinden güvenli bir şekilde uzaklaştırılmasına dikkat edilmelidir. Eğer soğutma sıvısı kullanılırsa, kesme bölgesindeki soğumanın yanı sıra talaşların tutuşma ihtimalide

önlenmiş olur, özellikle çok ince talaşların soğutma sıvısı ile soğutulmadığı durumlarda tutuşma ihtimalleri vardır. Bununla birlikte, derin delik delme ve çekme operasyonlarında talaşların tıkanmaya yol açma olasılığı da var ve bu tip operasyonlarda kullanılan kesme sıvıları talaşın uzaklaştırılmasına da yardımcı olurlar [45].

Magnezyum alaşımlarının şekillendirilmesinde delme, kılavuz çekme, broşlama gibi işleme operasyonlarında HSS takımların sıkça kullanılmasına rağmen, tüm işleme operasyonları için ise en çok karbür takımlar tercih edilir. İşleme ekonomisi ve yüksek işleme hacimlerinde karbür takımlar oldukça başarılı olmasıyla birlikte iyi yüzey kalitesi de elde edilmektedir. Eğer çok yüksek üretim hacimlerinde, mükemmel yüzey kalitesi ve takımda uzun süreli aşınmadan direnç göstermesi isteniyorsa PCD takımlar düşünülmelidir, PCD takımlar aşınmaya karşı çok dirençli olmasıyla birlikte, BUE oluşumunu düşük yapışma eğiliminden dolayı bertaraf ederler [6, 50].

Takım geometrisinin işleme operasyonu üzerinde çok büyük etkisi vardır, magnezyum alaşımlarının işlenebilirlik özelliklerinden faydalanmak için önerilen takım geometrisi ve açıları dikkate alınmalıdır. Takım geometrisi; talaş akışını kolaylaştırmaya, aşırı ısınmanın indirgenmesine, BUE oluşumunu azaltmaya ve yüksek ilerleme hızlarına imkân tanıyarak takım ömrünü iyileştirmeye yardımcı olmaktadır.

Alüminyum alaşımları için tasarlanan kesici takımlar ile magnezyum alaşımlarının işlenmesinde genellikle iyi sonuçlar elde edilmektedir. Ancak, magnezyumun düşük ısıl kapasitesi ve düşük kesme direncine sahip olması sebebiyle magnezyum alaşımlarının işlenmesinde kullanılacak olan takımların düz yüzeylere, keskin kesici kenarlara, büyük kesici ağza, büyük boşluk açısına ve talaş akışı sağlayan bir kesici takım geometrisine sahip olması gereklidir. İşlenen yüzeylerin takım yüzeyine sürtünmesinden dolayı, aşırı ısınma ve BUE oluşumuna neden olmasından kaçınmak için kesici kenar ve boşluk açılarının mümkün olduğunca büyük olmasına dikkat edilmelidir. Bu açılar, magnezyum alaşımlarının işlenmesinde gerekli olan enerji daha düşük olduğu için diğer metallerde kullanılan açılara göre daha büyük olabilir [6, 51].

Magnezyumun talaşlı şekillendirilmesi sırasında oluşan talaş, alaşım kompozisyonu ve ilerleme hızından etkilenirken, bu durum çoğu metal için kesme hızıyla ilişkilidir. Kesme

parametreleri serbest olarak seçilebildiğinden ve talaşlar iyi kırıldığından yüzey bitirme işlemi tek operasyonla sağlanabilir [45].

4. MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI

4.1. Magnezyumun Genel Özellikleri

Magnezyum elementi ilk olarak 1808 yılında Sir Humphrey Davey tarafından keşfedilmiştir. Magnezyum yerkabuğunun % 2'sinde ve okyanusların % 0,13'ünde bulunması nedeniyle yaygın olarak bulunan ve periyodik tabloda IIA grubunda yer alan toprak alkali elementtir [52]. Diğer elementler arasında doğada en yaygın olarak bulunan sekizinci element olarak bilinmektedir, her $1m^3$ deniz suyu yaklaşık olarak 0,13 kg magnezyum içermektedir, doğadan termal ve elektrokimyasal yöntemler yardımıyla elde edilmektedir [53].

Magnezyum uygun karakteristikleri ve özellikleri sayesinde birçok sektörde kullanılabilir bir metaldir [54, 55]. Tüm mühendislik yapı metalleri içerisinde ise en düşük yoğunluğa sahip olan magnezyumun düşük yoğunlukta olması, yüksek özgül ısı kapasitesi ve yüksek ses absorbsiyonu sayesinde birçok sektör alanında kullanılabilir bir metal olma özelliğin gösterir [45, 56]. Ağırlık azaltmanın önemli olduğu durumlarda ve uygulamalar da yoğunluğunun düşük olma özelliği magnezyumu ayrıca çekici kılmaktadır [47, 57, 58].

Özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe hafif olmasından dolayı tercih edilirken, bu koşulların sağlanabilmesi pekte kolay olmamış, alüminyuma göre daha maliyetli olmasından dolayı kabul görmesi uzun zaman almıştır, devamında düşen maliyetler ile birlikte endüstride kendine yer bulmaya başlamıştır [45, 55].

Günümüzde metalik malzemeler içinde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan magnezyum en hafif metal olarak bilinmektedir [59]. Magnezyum ve alaşımları hakkındaki birçok çalışmada, magnezyumun düşük yoğunlukta olma özelliği alüminyuma ve çeliğe göre daha hafif olmasını referans alarak başlamaktadır [47, 57, 58]. Magnezyumun 1.74 gr/cm^3' lük yoğunluğu, alüminyuma göre % 33, demir ve çeliğe göre %75 daha düşüktür düşük yoğunluğundan dolayı düşük eylemsizliği, hızlı hareket eden parçalar için ayrıca bir avantaj sağlamaktadır.

Hafif olması bakımından alüminyumun en büyük rakibi olarak bilinen magnezyum yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından ise plastiklere benzetilirken bir metalin mekanik özelliklerine de sahip olan bir malzemedir. 1.74 gr/cm^3' lük düşük yoğunluğu ve 650 °C' lik ergime sıcaklığına sahip olan magnezyum çelik ve diğer konstrüksiyon metallerine göre dökümde ve talaşlı imalatta önemli kolaylıklar sağlamakta ve aynı zamanda hafif olması, imalat sırasında parçanın daha kolay taşınması ve imalattan çıkmış ürünün daha ucuza sevk edilmesi demektir [59, 60, 61].

Çizelge 4.1. Magnezyumun fiziksel özelliklerinden bazıları aşağıda verilmiştir

Simgesi	**Mg**
Atom numarası	12
Atom ağırlığı	24.312 g/mol
Kaynama noktası	1107 °C
Ergime noktası	650 °C
Yoğunluğu	1.74 g/cm^3
Elektron düzeni	3s^2
Kristal yapısı	Hegzagonal sıkı paket

Dünyadaki magnezyum üretiminin % 75'i elektroliz tesislerinde, geri kalan % 25'i silikotermik yöntemlerle yapıldığı bilinmektedir. Magnezyum klorür redüksiyonunda, metalik magnezyum ve klorür ürün olarak ortaya çıkar döküm ingotları şeklinde katı halde, klorür ise gaz halinde bulunur [45, 59].

Magnezyum metali, saf olarak düşünüldüğünde dayanımı ve soğuk şekillendirme kabiliyeti düşüktür [9]. Alaşımsız olarak kullanılması durumunda düşük mukavemet ve tokluk değerlerine sahip olması sebebiyle alaşımlandırılarak kullanılmaktadır. Ayrıca iyi işlenebilme kabiliyeti, yüksek boyutsal kararlılık, yüksek ısıl iletkenlik, iyi elektromanyetik koruma, yüksek sönümleme ve kolay geri dönüşüm özelliklerine de sahiptir [62, 63].

Dünyada havacılık ve savunma sanayinde artan ihtiyaçlara paralel, Mg ve alaşımları üzerine yapılan çalışmalarda yoğun bir artış meydana geldiği görülmekte özellikle otomotiv endüstrisindeki potansiyeli ile dikkat çekmekte olan magnezyum üretimi yönünden de büyük kapasite artışları gerçekleşmekte olup büyük otomobil imalatçıları da

magnezyum üretimi için yeni anlaşmalar ve yatırımlar yapmaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden bir tanesi Al alaşımları ile karşılaştırıldığında, düşük yoğunluk, yüksek korozyon kabiliyeti ve daha iyi mekanik özelliklerden kaynaklanmaktadır [9, 59, 64].

Bugün, dünya hammadde ve enerji kaynaklarının korunması için düşük ağırlığın yanı sıra dönüşebilirliğin önemi de malzeme seçimi için önemli bir etken haline gelmiştir. Avrupa komisyonu 2015 yılına kadar Avrupa otomobillerde kullanılacak malzemelerin % 95 geri dönüşebilen malzemeden üretilmesini hedef şartı olarak koymuştur. Geri dönüşüm prosesleri mevcut olan magnezyum pres ıskartaları, dökümden arta kalan parçaları, ömrünü tamamlamış parçalar ya da talaşları aynı geri dönüşüm prosesi içinde sorunsuz olarak değerlendirilebilmektedir [8, 54].

4.2. Magnezyumun Alaşımları ve Standartları

Magnezyum metalinin önemini anlayan Almanya 1930'lu yılların başında saf magnezyum metaline çeşitli alaşımlar ilave ederek mekanik özelliklerini iyileştirmek için alaşımlandırma yaparak ilk adımları atmıştır [65]. Saf halde kullanımı mühendislik ve yapısal uygulamalar için oldukça sınırlı olan magnezyum metali hafif ve dayanımlı malzemeler elde etmek için alüminyum, çinko, zirkonyum, manganez, toryum, gümüş ve nadir toprak elementleri ile alaşımlandırılarak kullanılmaktadır [8].

Magnezyum alaşımlarının dayanımları, alüminyum alaşımları kadar yüksek olmamakla birlikte özgül dayanım oranları daha yüksek olabilmektedir [9]. Alüminyuma göre daha iyi süneklik, gürültü ve titreşim sönümleme özelliklerine sahip olan magnezyum alaşımları, aynı zamanda mükemmel dökülebilirlik ve işlenebilirlik kabiliyeti özelliklerine de sahiptir. Nadir toprak elementleri ile yaptığı alaşımlarda üstün direnç/ağırlık oranları elde edilmektedir. Bu özellikleriyle yalnızca çelik, dökme demir ve bakıra değil, alüminyuma da tercih edilir [46, 47].

Magnezyum ve alaşımlarından oluşan parçaların sahip olduğu avantajlar olmasına karşılık dünya pazarında hala yerini tam olarak belirleyememiştir ki avantajları ve kullanım sınırlamaları ise Çizelge 4.2'de verilmiştir [65, 66].

Çizelge 4.2. Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
- Tüm metalik malzemelerin arasında en düşük yoğunluğa sahip malzemedir - Yüksek spesifik mukavemete sahip - Basınçlı döküm için iyi dökülebilirlik ve kullanım - Yüksek kesme hızında kolay işlenebilirlik - İnert gaz altında iyi kaynaklanabilirlik - Geliştirilmiş korozyon direnci - Plastikler ile karşılaştırıldığında iyi mekanik özellik, daha iyi elektrik ve termal iletkenlik, geri dönüşüm	- Birkaç alaşıma sahip olması - Oda sıcaklığında düşük süneklilik ve tokluğa sahip olması - Yüksek sıcaklıkta limitli özellikler sürünme direnci gibi - Yüksek kimyasal reaksiyon - Yüksek döküm çekilmesi -Yüksek üretim maliyetleri

Mg alaşımları ASTM (A275) standart sistemi tarafından belirlenmiştir. Yöntem iki harfle birlikte iki rakamı kapsamaktadır. İki harf; iki en büyük elemanına verilmiş olan harf kısaltması; rakamlar ise bu alaşımların en yakın tam sayıya yuvarlanmış yüzdelik dilimleridir.

Çizelge 4.3'de yaygın bir şekilde kullanılan alaşım elementleri tek harfle listelenmiş şekilde verilmiştir [16, 66, 67].

Çizelge 4.3. Alaşım elementleri ve kısaltmaları

Harf	A	C	E	H	J	K	L	M	Q	S	W	X	Z
Element	Al	Cu	RE	Tr	Sr	Zr	Li	Mn	Ag	Si	Yi	Ca	Zn

Örnek olarak AZ91 alaşımının açıklama şekli aşağıda verilmektedir [16, 66, 67].

A→ Al'u yani Mg'dan sonra alaşımdaki en fazla elementi ifade etmektedir.
Z→ Zn'yu yani 2.olarak en fazla kullanılan elementi ifade etmektedir.
9→ Alaşımdaki Al oranının yaklaşık 8,6-9,4 arasında olacağını ifade etmektedir.
1→ Alaşımdaki Zn oranının yaklaşık 0,6-1,2 arasında olacağını ifade etmektedir.

Magnezyum alaşımları genel olarak iki büyük harfi takip eden iki veya üç numarayla ifade edilirken harfler alaşımda iki ana alaşım elementiyle ilgili ve ilk harf en yüksek konsantrasyonu, ikinci olan harf ise ikinci yüksek konsantrasyonu ifade etmektedir. Harflerden sonra gelen ilk numara ilk elementin ağırlıkça yüzdesini (yalnız iki numara varsa) ve ikinci numara da ikinci harf elementinin ağırlıkça yüzdesini göstermektedir. Numaraları takip eden A, B gibi harfler genellikle impurite seviyelerinde alaşım için A, B gibi modifikasyonu ifade eder.

Örnek olarakAZ91DBu tanım magnezyum alaşımının nominal % 9 alüminyum ve % 1 çinko içerdiğini göstermekte ve alaşım D modifikasyonudur [54, 68]. Önemli magnezyum alaşımlarından bazıları ise Çizelge 4.4'de verilmektedir [69, 70].

Çizelge 4.4. Önemli magnezyum alaşımlarından bazıları

Alaşım adı	**Alaşım ilaveleri**	**Kullanımları**	**Kullanım nedenleri**
AZ91	% 9.0 Al, % 0.7Zn, % 0.13 Mn	Genel döküm alaşımı	Dökülebilirliğinin iyi olması, T<150°C'de iyi mekanik özellikler göstermektedir
AM60	% 6.0 Al, %0.15 Mn	Yüksek basınçlı metal kalıp alaşımı	AZ91'den daha fazla tokluk ve şekil değiştirebilme (haddelenme), bir miktar mukavemeti düşürür. Sık sık otomotivlerde yapısal uygulamalar için tercih edilirler.
AZ31	% 3.0 Al, % 1.2 Re, % 0.2 Mn	Dövme magnezyum ürünleri	İyi ekstrüzyon alaşımıdır.
ZE41	% 4.2 Zn, % 0.7 Zn, % 0.7 Zr	Özel döküm alaşımı	Nadir toprak element ilavesi, yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımı sağlar.
AS41	% 4.2 Al, % 1.0 Si	Genel döküm alaşımı	Yüksek sıcaklıklarda AZ91'den daha iyi sürünme direnci sergiler, fakat düşük dayanıma sahiptir.

Magnezyum döküm alaşımlarında ikinci dünya savaşı dönemde sık sık mekanik özelliklerle neticelenen büyük ve değişken tane boyutu ve mikro gözeneklilik nedeniyle zorluklarla karşılaşılmıştır. Almanya da 1937'de zirkonyumun magnezyumda tane inceltme üzerinde oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Ancak alüminyum ve manganez ile

kararlı bileşikler oluşturması sebebiyle zirkonyumun ergiyikten uzaklaşarak görevini yerine getiremeyişi ticari alaşımlarda kullanımına sınırlama getirmiştir. Bu durum hem yüksek sıcaklıklarda hem de oda sıcaklıklarında gelişmiş mekanik özelliklere sahip zirkonyum içeren yeni döküm ve dövme alaşım serisinin gelişmesine olanak sağlamıştır. Zirkonyum içeren hem döküm hem dövme alaşımlarında alüminyum ve manganez bulunmamaktadır. Bu alaşımlar şu anda uzay araçları endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [65].

4.3. Magnezyum alaşımlarının sınıflandırılması

Üretimi yapılan magnezyum alaşımlarının birçok değişik döküm ve dövme yöntemi uygulanmakta olup döküm alaşımları, sıcak ve soğuk kamaralı basınçlı döküm, yarı katı (thixocasting) döküm, savurma döküm, sürekli döküm ve kum döküm yöntemleriyle imal edilmektedir. Dövme ürünler normal döküm ürünlerine nazaran daha yüksek mekanik özelliklere, düşük maliyet, yüksek dayanım ve iyi sünekliğe sahip levha, plaka ve ekstrüzyon alaşımları olarak kullanılmaktadır. Çizelge 4.5'de magnezyum alaşımlarının bazı üretim yöntemlerinin özellikleri verilmektedir [65].

Çizelge 4.5. Magnezyum alaşımlarının bazı üretim yöntemleri ve özellikleri

Ana Grup	**Alt Grup**	**Özellikler**
Döküm	Kum Döküm	Grift şekiller, düşük hacme uygun, iyi kalite, yüksek maliyet, büyük parça üretimi mümkündür.
	Kokil Döküm	Yüksek üretim hızı, iyi yüzey, düşük porozite, yüksek maliyet
	Kabuk Kalıp	Grift şekiller, yüksek hacme uygun, iyi kalite, yüksek maliyet, büyük parça üretimi mümkündür.
	Düşük BasınçlıDöküm	Grift şekiller, yüksek kalite, orta boy parça dökümü, düşük maliyet özelliklerine sahiptir.
	Yüksek- BasınçlıDöküm	Nihai boyutlar,gerektiği kadar yüksek hacim ortalama büyüklükte parçalar, orta kalite, düşük maliyet özelliklerine sahiptir.
	Hassas Döküm	En hassas nihai boyut, yüksek kalite, çok grift parça üretimi, Yüksek maliyet özelliklerine sahiptir.

Çizelge 4.5 (Devamı)

Ana Grup	Alt Grup	Özellikler
Dövme	Levha	Düşük özellikler, yüksek maliyet
	Plaka	Düşük özellikler, düşük maliyet, iyi boyut kararlılığı
	Ekstrüzyon	Yüksek mekanik özellikler, düşük maliyet, grift parçalar
	Dövme	Yüksek kalite,ortalama özellik,ortalama maliyet

Magnezyum alaşım elemanları genellikle makine veya metal yapı elemanları olarak tasarlanıp basınçlı döküm yöntemiyle üretilmektedir. Döküm alaşımlarında magnezyumun döküm sıcaklığı AZ91 alaşımı için yaklaşık olarak 650-680°C, AM60 alaşımı için 670-685°C ve AS41 alaşımı için 665-680°C civarındadır.

Magnezyum alaşım grubu içinde en önemli basınçlı döküm magnezyum-alüminyum sistemidir. Alüminyum yüksek dayanım ve iyi dökülebilirlik kazandırdığı sistemde, pres dökümün kolay yapılabilmesi içinde % 3'ün üzerinde ilave alüminyum eklenmesi gerekmektedir [65, 70].

Magnezyum alaşımları genel olarak döküm alaşımları ve dövme alaşımlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

4.3.1.Magnezyum Döküm Alaşımları ve Çeşitleri

Magnezyum akıcılık, besleyicilik, dayanım ve korozyon dirençlerinin iyileştirilmesi bakımından Al, Zn, Zr ve nadir toprak elementleriyle döküm yöntemi ile üretilir.

Mg-Al döküm alaşımları: Dayanımı, dökülebilirliği ve korozyon direncini iyileştirmek için magnezyum ile alüminyum alaşımlandırılır. Mg-Al faz diyagramından bilindiği gibi 437 °C de alüminyum %12,7 magnezyumda max. katı çözünürlüğe sahiptir ve oda sıcaklığında çözünebilirlik yaklaşık % 2'ye düşer. Ticari öneme sahip olan sadece birkaç Mg-Al alaşımı bulunur.

Mg-Al-Zn döküm alaşımları: Magnezyum alaşımları için Mg-Al-Zn alaşımları dayanım, hafiflik ve iyi korozyon direnci kombinasyonlarından dolayı endüstriyel öneme sahiptirler. Alaşımların geneli kokil kalıba dökümdür, Mg-Al alaşımlarına çinko ilavesi katı eriyik mukavemetlenmesi ve çökelme sertleşmesi ile dayanımı arttırır. Yaklaşık olarak % 10 dan fazla Al+Zn ile magnezyum alaşımlandırılamaz çünkü gevrek metaller arası bileşik oluşumu alaşımın sünekliği azaltır.

Mg-Zn-Zr döküm alaşımları: Bu döküm alaşımları (ZK51, ZK61) sınırlı alanda kullanıma sahip alaşımlardır. Çünkü bunlar döküm sırasında mikro boşluk için hassastır ve çinko oranı yüksek olduğundan dolayı kaynaklanamamaktadırlar.

Mg-Zn-Nadir Toprak-Zr döküm alaşımları: Nadir toprak elementlerinin ilavesi mikro boşlukları bastırma eğiliminde olduklarından dökülebilirlik iyileşmekte ve bu döküm alaşımları (EZ33, ZE43) nispeten iyi dökülebilirliğe sahiptirler [45, 54, 68].

4.4. AZ91 Alaşımı

AZ91 serisinin en çok kullanılan ticari, yapısal magnezyum alaşımı olması iyi döküm özelliği ve mekanik özelliğinden dolayıdır [71]. AZ91 alaşımı kokil kalıp döküm olarak otomotiv endüstrisinde kullanıldığından son yıllarda incelenmek için ilgi çekmektedir [72]. Çoğunlukla otomobil parçalarının dökümü için AZ91 alaşımları kullanılmakta diğer alaşımlarıyla karşılaştırıldığında daha iyi döküm ve daha iyi dayanım özellikleri göstermektedir [16].

Değişik alaşımlamalar uygulanarak alaşım özelliklerini ve mikroyapılarını geliştirmek için çalışmalar ise devam etmektedir. Örneğin; bu alaşım elementlerinden Ca oksidasyonu azalttığı, sızıntı emniyetini artırdığı, sıcak uygulamalara (130 -150 $^{\circ}$C) olan yeteneği artırdığı fakat % 0.2 den fazla olduğu durumda, alaşımı kırılganlaştırdığı ve sıcak yırtılma eğilimini artırdığı gözlenmiştir [16, 73, 74]. Sürünme direnci, gerilme direnci ve yorulma dayanımı çok iyi bununla birlikte AZ91 için oda sıcaklığında en iyi sürünme direncinin gerçekleştiği rapor edilmiştir [73].

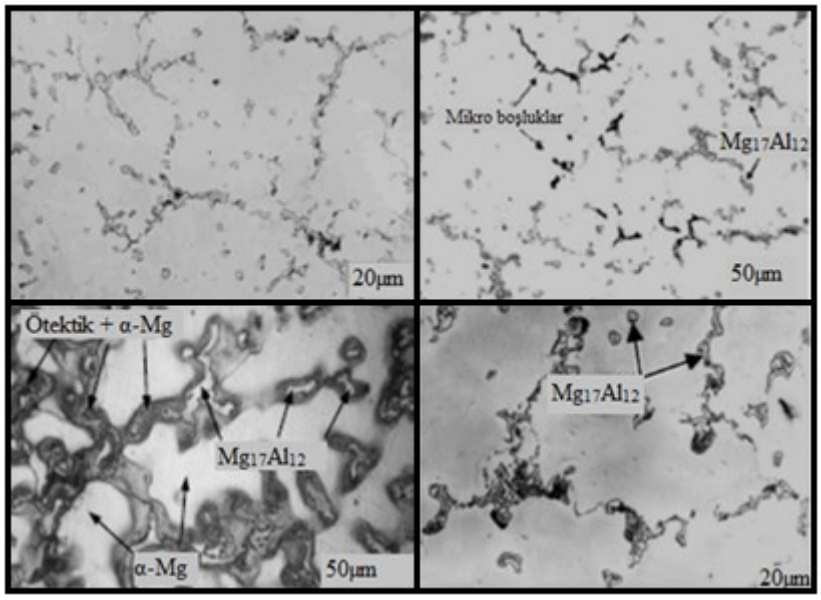
Dövme magnezyum alaşımları ise haddelenmiş levha veya folyo, ektrüzyon (çubuk, boru ve şekilli parçalar) ve yapısal uygulamalar için dövme mamuller olarak üretilir. Döküm

haline göre mekanik özellikler bakımından daha fazla alanda kullanılma özelliğine sahip olan bu dövme magnezyum alaşımlarının en önemli avantajı düşük fiyat, yüksek dayanım ve sünekliktir [45].

4.4.1. AZ91 Alaşımının mikroyapısı

Kokil kalıba döküm ve basınçlı dökümle üretilen magnezyum AZ91 alaşımı dökümün mekanik ve mikroyapı özellikleri literatürlerde kıyaslanmış ve iki döküm çeşidi mikroyapısı arasındaki farklılıklar tartışılmaktadır [73].

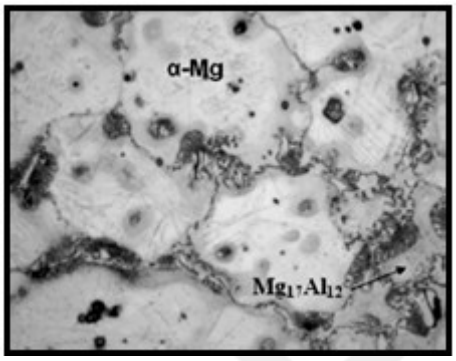
Mg-Al alaşımlarında Zn/Al oranı 1/3 oranını geçtiğinde mikroyapıda üçlü Mg-Al-Zn fazı görülür [75]. Bu durumda faz oluşumu ve alaşımın denge katılaşma karakteristikleri ikili Mg-Al faz diyagramı ile anlaşılabilir. AZ91'in dengeli katılaşması, birincil Mg olan α (Mg) katı eriyik çekirdeklenmesi ile yaklaşık olarak 600°C'de başlayarak, bu çekirdekler büyür ve katılaşma 470°C'de sona erer [67, 73]. α (Mg) $Mg_{17}Al_{12}$ fazından oluşmuş ayrık bir ötektik oluşumu mikroyapıda görülür böylece denge dışı AZ91'in mikroyapısı α (Mg) ve bir intermetalik faz olan $Mg_{17}Al_{12}$'den oluştuğu anlaşılmış olur. AZ91 magnezyum alaşımının mikroyapıları Resim 4.1'de verilmiştir[16, 76, 77].



Resim 4.1. AZ91 alaşımının mikroyapısı

4.4.2. AZ91 Alaşımının tane boyutu

Normal dökülen AZ91'deki tane sınırları baskın bir biçimde $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazı ile çevrili olduğundan tane sınırları ısıl işlem sonucunda kolayca görülebilmektedir [78]. AZ91 numunelerinin mikroyapıda tanelerinin görüntüsü Resim 4.2.'de gösterilmektedir. Çizelge 4.6'da ise tane boyutları verilmiştir [16, 78, 79].



Resim 4.2. AZ91 alaşımın mikroyapıda tane görünüşü

Çizelge 4.6. Kokil ve basınçlı dökümle üretilen AZ91'in tane boyutu

Döküm işlemi	**Kaba tane boyutu(µm)**	**Sapma R.C.L (µm)**
Kokil kalıp	290	40
Basınçlı döküm	24	2

Çizelge 4.6'ya göre basınçlı döküm numunelerinin kaba tane boyutu, yaklaşık olarak kokil kalıba dökümün onda biri kadardır. Bu hızlı katılaşma hızlı soğumadan dolayı olmakta ve ergiyik birçok çekirdekleşme oluşturmaktadır. Enjekte edilmiş ergiyiğin yüksek hızı, ergiyikte türbülans oluşturmakta ve bu türbülans, kalıp yüzeyinde halen çekirdeklenmemiş dentritlerin kırılmasına sebep olmakta ve sonunda tane sayısı artmaktadır.

Bunun dışında, bazı döküm teknikleri ile kalıp boşluğu hızlı bir şekilde doldurulduğu zaman oluşan damlacıklar yeni çekirdeklenme yüzeyleri oluşturabilmektedirler. Ayrıca tane artışı, kalıp dolumu esnasında ince tanelerin oluşmasına katkı sağlar [16, 73].

4.5. Magnezyum ve Alaşımlarının Özellikleri

4.5.1. Akıcılık

Akıcılığından dolayı çok kolay dökülebilen magnezyum alüminyuma nazaran da daha dar toleransları barındırabilir ve çoğu zaman dökümden sonra talaş kaldırma işlemine gerek kalmayarak bu sayede ilave işleme basamaklarına olan gereksinim ortadan kaldırılarak parça başına düşen maliyet azalabilir. İşlenebilirliği yönünden mükemmel olan magnezyum yüksek kesme hızlarına ve büyük ilerleme hızlarına imkân vererek alüminyuma kıyasla 4 kat yüksek işleme hızlarıyla çalışmayı da mümkün kılar ve bu sayede aynı iş daha az maliyetle yapılabilir.

Verimliliği artırabilmek için pratikte olabildiğince yüksek hızlarda çalışılması istenir, ancak yüksek kesme hızlarında özellikle ince talaşların tutuşabilme tehlikesi vardır. Kesme işlemlerinde kesici takım başına 15-19 L/dk kesme sıvısı kullanmak soğutma işlemi için oldukça iyidir. Kesme sıvısının kullanımının, iş parçası yada tezgah özelliğinde dolayı uygun olmadığı durumlarda kesme hızı 150 m/dk değerinin altında olmalıdır.

Magnezyum ve alaşımları otomotiv endüstri alanında kullanılabilecek malzemeler içerisinde plastiklerle karşılaştırıldığında geri dönüşümü mümkün ve daha katı, alüminyum ve çeliklerle karşılaştırıldığında ise çok daha hafif ve yeterli dayanıma sahip bir malzemedir[8, 45, 68, 80].

4.5.2. Sönümleme kapasitesi

Sönümleme kapasitesi metalsel yapılarda iletilen titreşimleri tutma ve bir metalin titreşim enerjisini yutma özelliğini ifade eder sönümleme özelliği tüm malzemeler için maksimum değere ulaştıktan sonra azalmaktadır. Aynı ürün formundaki (döküm, dövme) diğer metallerle kıyaslandığında mükemmel sönümleme kapasitesine sahip olan magnezyum ve alaşımları birçok uygulamada da titreşim ve gürültüyü azaltabilmektedir. Parçada kalıcı uzamalara neden olan titreşimi yüksek sönümleme kapasitesi sayesinde azaltan magnezyum bunun yanı sıra düşük yoğunluğu, daha az titreşen ve daha sessiz çalışan parçalarında üretilmesine imkân sağlar [9, 54, 81].

4.5.3. Sürünme dayanımı

Sürünme direnci bakımında incelendiğinde, magnezyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda akma ve çekme dayanımlarının düştüğü görülmektedir. Sürekli yük altında yüksek sıcaklıklarda kullanılacak birçok parçanın tasarımı, müsaade edilebilen en büyük deformasyona göre yapılmakta ve bu nedenle şekil değiştirme özellikleri sürünme direnci ve gerilmeden dolayı önemlidir. Yüksek sıcaklıklarda azalan dayanım özellikleri, alüminyuma kıyasla sağlamış olduğu ağırlık avantajına rağmen yüksek sıcaklık uygulamalarında daha geride kalmasına sebep olmakta ve magnezyum alaşımlarının gelişimi bu uygulamalar için devam etmektedir [45, 82].

4.5.4. Yorulma dayanımı

Diğer tüm metal alaşımları gibi magnezyum alaşımlarının yorulma dayanımları, çekme dayanımı ile ilişkilidir. Fakat çekme ile yorulma dayanımı arasında tam olarak oransal ilişki bulunmamakta bunun nedeni ise dayanımı farklı miktarlarda artıran mekanizmaların olmasıdır. Magnezyum alaşımlarının yorulma dayanımları soğuk şekillendirme ve çökelme sertleşmesi ile çok az artırılırken, katı eriyik mukavemetleşmesi daha iyi yorulma özellikleri sağlamaktadır [8, 45, 54].

4.6. Magnezyum ve Alaşımlarının Şekillendirme Yöntemleri

Magnezyum ve alaşımları genellikle diğer metallerin üretildiği yöntemlerle şekillendirilirler, imalat yönteminin seçimi yapılırken malzemeden beklenilen optimum özellikler dikkate alınmalı ve bazı özel parçaların şekillendirilmesi için ise özel imalat yöntemleri seçilmelidir.

Magnezyum ve alaşımlarına uygulanan değişik şekillendirme yöntemleri bulunmakta bunlardan basınçlı ve kum döküm gibi döküm yöntemlerinin yanı sıra dövme, ekstrüzyon, haddeleme gibi plastik şekillendirme yöntemleri ile talaşlı şekillendirme uygulanabilmekte ve bunlardan en uygun şekillendirme yöntemleri yüksek basınçlı kalıp döküm ve ekstrüzyon yöntemleridir [45, 59].

4.6.1. Magnezyum ve alaşımlarının döküm yöntemleri ile şekillendirilmesi

Magnezyum ve alaşımlarının döküm yöntemiyle şekillendirilmesinde günümüzde basınçlı döküm yöntemi hakim olmakla birlikte kum döküm, hassas döküm, sürekli ve yarı sürekli kalıp döküm ve bunların yanı sıra diğer basınçlı ve basınçsız döküm teknikleriyle de şekillendirilebilmektedirler. Döküm yöntemi seçiminde özel parça için tasarım şekli, istenilen mekanik ve yüzey bitirme özellikleri, döküm parça adedi ve alaşımların dökülebilirliği belirleyici unsurlardır. Dökümde kullanılabilecek çok fazla çeşitte alaşım mevcut olmasına rağmen her alaşım çeşidinin her döküm yönteminde kullanımı uygun olmamaktadır [45, 54].

Kum döküm yöntemiyle şekillendirme yöntemi çok fazla sayıda magnezyum ve alaşımına uygulanabilmekte ve çok değişken boyutlarda parça elde edilebilmekte ancak, kum döküm yöntemi kalıp kumu ve ergiyik magnezyum metali arası reaksiyonlardan dolayı inhibitör kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu yöntem fazla sayıda parça üretimi için uygun olmasına rağmen yüzey bitirme ve tolerans değerleri açısından çok iyi özellikler sağlayamaz ve sağlanamayan bu özellikler ise hassas dökümle sağlanabilir fakat hassas döküm yönteminin hem parça başına düşen maliyetleri, hem de ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir.

Sürekli kalıba döküm yönteminin magnezyum ve alaşımlarının şekillendirilmesinde avantaj olarak kalıbın tekrar kullanılması maliyetler açısından iyi görünse de, kalıpların ilk yatırım maliyetlerinin amortismanı bir kalıptan alınacak parça adediyle sağlanamayabilir ve yüzey bitirme ve boyutsal toleranslar açısından iyi neticeler alınırken, fazla sayıda alaşım türü için kullanılan bir yöntem değildir [8, 45, 54].

Basınçlı döküm yöntemiyle magnezyum ve alaşımlarının şekillendirilmesindeki ekonomik avantajlar ise aşağıda verilmiştir.

- Aynı başlangıç malzemesiyle daha çok ürün elde edilebilmesi,

- Magnezyum basınçlı döküm yönteminin, otomasyona uygunluğu yönüyle yüksek hacimli üretimler için ideal bir yöntem olması,

- Magnezyumun çoğu alaşımı yüksek akıcılığa sahip olması nedeniyle, alüminyum ve çeliğe kıyas kıyasla ince cidarlı ve karışık parçaların dökümüne olanak sağlaması,

- Çeliğe göre üstün dökülebilirliğinin olması, parçaların birçok bileşenden ziyade bütün olarak dökümüne olanak tanıması ve dolayısı ile montaj ve ıskarta maliyetlerinin düşürülmesini sağlaması,

- Magnezyum alaşımlarının alüminyum ve çinkoya kıyasla hacimsel öz ısısı daha düşük olması sebebiyle, dökümün daha hızlı soğuması, daha yüksek çalışma hızı ve daha az kalıp aşınmasına imkân tanıması,

- Ayrıca, soğuma sırasında kızgın noktaları önlemek için üniform kesit kalınlığı, uygun parça çıkarma açıları, yuvarlak köşeler, takviye edilmiş ince kesitler, kaçınılan düz yüzeyler, mümkün olduğunca büyük yarıçap kullanımı bu yöntemin uygulanması esnasındaki tasarım gerekleri olarak sıralanabilir [8, 45].

Magnezyum ve alaşımlarına farklı döküm yöntemleri uygulanarak elde edilen özellikler, üretilebilen parça boyutları, yüksek üretim hacmine uygunluk vb. yönleri karşılaştırıldığında bu yöntemlerin birbirlerine üstün ve zayıf yönleri Çizelge 4.7'de verilmiştir [8, 45].

Çizelge 4.7. Magnezyum ve alaşımlarına farklı döküm yöntemleri uygulanarak karşılaştırılması

Mukayese Edilen Özellikler	**Döküm Yöntemleri**			
	Basınçlı Döküm	Kum Kalıba Döküm	Hassas Döküm	Sürekli Döküm
Uygun alaşım çeşitliliği	+	+	+	+
Değişken boyutlu parça üretilebilirliği	+	+	-	-
Yüzey bitirme özellikleri	+	-	+	+
Yüksek üretim hacmine uygunluk	+	+	-	-
Parça başına birim maliyetler	+	+	-	-
Hassas ölçü toleranslarının elde edilebilirliği	+	-	+	+
İyi mekanik özelliklerin elde edilebilirliği	+	+	+	+
Karmaşık şekilli parça üretilebilirliği	+	-	+	-

Magnezyum ve alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle şekillendirilmesi, diğer döküm yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok iyi sonuçlar vermektedir [8, 45, 54].

4.6.2. Magnezyum ve alaşımlarının plastik şekillendirilmesi

Magnezyumu şekillendirme yönünden demir, bakır yada alüminyumdan ayıran en büyük fark çalışma sıcaklığıdır. Magnezyumun hegzagonal sıkı paket yapısından dolayı, uygulanabilir plastik deformasyon miktarı da magnezyum alaşımları için sınırlı ve çoğu magnezyum alaşımları bu sebeple yüksek sıcaklıklarda ılık veya sıcak şekillendirme ile plastik olarak deforme edilir.

Dövme magnezyum alaşımları haddelenmiş levha veya folyo, ekstrüzyon ürünü (çubuk, boru ve şekilli) parçalar ve yapısal uygulamalar için dövme mamuller olarak üretilir. Ekstrüzyonu ılık ya da daha yüksek sıcaklıklarda yapılabilen magnezyum ve alaşımları hidrolik preslerde çubuk, tüp ve çeşitli şekillerde profiller oluşturularak şekillendirilir. Ekstrüzyon sıcaklığı magnezyum ve alaşımları için 300-450°C arasında değişmekte, çalışma sıcaklığı alaşıma ve arzu edilen şekle göre belirlenirken şekillendirmede kullanılan kalıplar ise genellikle alaşımlı çelikten imal edilmektedir [8, 45, 83].

Döverek şekillendirme işlemi alaşımların katılaşma sıcaklığının yaklaşık 55°C altında yapılmaktadır. Genelde hidrolik veya düşük hızda mekanik presler kullanılırken çatlama ihtimalinden dolayı dövme işlemi de yüksek hızda tercih edilmez. Dövme sırasında oluşan pekleşme parçanın mekanik özellikleri ile ilişkilidir, mümkün olduğunca uygun özellikler için düşük sıcaklıklarda dövme gereklidir ancak, çok düşük sıcaklıklar da, çatlamaya neden olabilir. Dövme sırasında parça ile birlikte kalıbında ısıtılması gerekir, magnezyum alaşımları ısıyı iyi ilettiğinden ve soğuk kalıpla temas ettiğinden sıcaklıkları hızla düşeceği için çatlama ihtimali bulunmakta bu nedenle kalıplar da iş parçası ile hemen hemen aynı sıcaklık değerlerinde tutulmalıdır [8, 84].

4.6.3 Magnezyum ve alaşımlarının talaşlı imalat ile şekillendirilmesi

Talaşlı şekillendirmesi en kolay metallerden biri olan magnezyumun ayrıca alaşımları da kendi içinde işlenebilirlik açısından bir fark göstermezler. Tasarımlarda magnezyum öncelik olarak hafifliği nedeniyle tercih edilmesine rağmen, iyi işlenebilirlik kabiliyeti yüksek kapasiteli üretimler için büyük bir avantaj teşkil etmektedir. Alüminyum, nikel ya da dökme demire göre işlemde daha az güç gerektirir ve şekillendirilebilirliği düşük kapasiteli manüel tezgâhlarda yapılabileceği gibi yüksek kapasiteli otomasyon tezgâhlarda da yapılabilir [8, 45].

Magnezyumun mükemmel şekillendirilebilirliği, alüminyum ve titanyum gibi zor şekillendirilebilen metallere göre büyük avantajlar sağlar, düşük kesme basınçları ve yüksek ısıl iletkenliği, hızlı bir ısı dağılımı sağlar böylece kesici takım ömürleri uzar ve takım değiştirme zamanları azalır.

Talaşlı şekillendirmede kullanılacak takım seçiminde üretim kapasitesi, belirleyici kriterdir ve çoğu uygulamada karbon çeliği takımlar yeterli olasına rağmen, karbür uçlu takımlar ise yüksek hacimli üretimler için tercih edilir. Kesmeye karşı magnezyumun düşük direnci ve düşük ısıl kapasitesi nedeniyle kesici takımların çevresel boşluk açısı büyük, talaş boşluğu fazla ve takım ile talaş açısı küçük olacak biçimde seçilmelidir. Kesici takım yüzeyleri kesinlikle düzgün olmalı, çünkü kesme basıncı kesici takımın eğim açısından etkilenir ve bu açının artması kesme basıncını düşürür.

Magnezyum bir kesme sıvısı kullanılmadan genellikle işlenebilmekte, kuru işleme düşük maliyetli ve daha temiz ürünler verir. Ancak talaşların kesme bölgesinden güvenli bir şekilde uzaklaştırılmasına dikkat edilmesi gerekir. Magnezyumun iyi ısıl iletkenliğinin olmasından dolayı soğutma sıvısının sağladığı yağlayıcı ve soğutucu özelliklere her zaman ihtiyaç duyulmaz çok yüksek kesme hızlarında soğumayı sağlamak için ya da derin sondaj işlemlerinde yağlama amacıyla ihtiyaç duyulabilir.

Talaşlı şekillendirmede kesme sıvısının kullanılması hem soğumanın sağlanması hem de talaşların tutuşma ihtimalini de önlenmiş olur özellikle çok ince talaşların kesme sıvısı içerisinde tutulmadığı durumlar da talaşların tutuşma ihtimali vardır. Çekme ve derin delme işlemlerinde talaşların tıkanmaya sebep olma olasılığı da vardır bu durumlar da talaşların uzaklaştırılmasına kesme sıvıları yardımcı olmaktadır [8, 45, 54].

Talaşların iyi kırılmasından ve kesme parametrelerinin serbest olarak seçilebilmesinden dolayı yüzey bitirme işlemi tek operasyonla yapılabilir. Magnezyumun işlenmesi sırasında talaş oluşumu, alaşım kompozisyonu ve ilerleme hızından etkilenirken, bu durum çoğu metal için kesme hızıyla ilişkilidir [8, 45, 54].

4.7. Magnezyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları

Günümüzde metalik malzemeler içinde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan magnezyum en hafif metal olarak bilinmektedir. Bu malzeme, bir plastik kadar hafif olmasına rağmen bir metal kadar da dayanıklıdır [59]. Çoğu diğer metallerde olduğu gibi magnezyum metalinin saf halde kullanılması da dayanımının düşük olmasından dolayı pek mümkün değil ve bu durum değişik alaşımların üretilmesini gerekli kılmıştır [85].

Magnezyum alaşımları yapısal uygulamalarda pek çok ilgi çekici özelliklerinden dolayı kullanılan malzemelerdir, imalatında veya kullanımında hareket eden tüm parçalar için sadece hafiflikleri nedeniyle cazip hale gelmişlerdir. Hızlı hareket eden parçalar için düşük yoğunluklarından kaynaklanan düşük eylemsizlikleri önemli bir avantaj sağlamakta ve parça ağırlıklarının oldukça önemli olduğu otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde de düşük yoğunlukları sayesinde getirdikleri önemli ağırlık azaltıcı etkileriyle sıkça kullanılmaktadırlar [8].

Magnezyum alaşımlarının hafifliği en önemli özelliğidir. Al ve çeliğin özgül çekme dayanımından, bazı magnezyum alaşımlarının bu açıdan özgül çekme dayanımı daha büyüktür. Bu sebepledir ki, bugün savunma, elektronik, havacılık ve uzay endüstrisinde yaygın bir şekilde magnezyum alaşımları kullanılmaktadır [85]. Uygun karakteristikleri sayesinde birçok sektörde kullanılabilir bir metal olan magnezyum hafifliği nedeniyle özellikle otomotiv ve havacılık endüstrisinde tercih edilmektedir. Ancak bu koşulların sağlanabilmesi kolay olmamış, magnezyumun kabul görmesi alüminyuma nazaran daha pahalı olması sebebiyle uzun zaman almış maliyetlerinin düşmesi neticesinde magnezyumda endüstride kendine yer bulmaya başlamıştır [86].

Otomotiv ve havacılık sektörleri dışında elektronik/haberleşme, spor ekipmanları, biyomalzemeler gibi alanlarda da magnezyum ve alaşımları kullanılmaktadır. Magnezyum alaşımlarının geliştirilmesinde, geçmişteki en önemli etken ise askeri uygulamalarda kullanılma potansiyeli iken günümüzde araştırılmalarının ve kullanılmalarının en önemli sebeplerinden biri otomotiv uygulamalarında ağırlığı azaltarak yakıtın daha ekonomik kullanılması ve bu sayede zararlı gaz emisyonunun da indirgenerek çevreye olan etkisinin en aza düşürülmesi istenilmektedir [65].

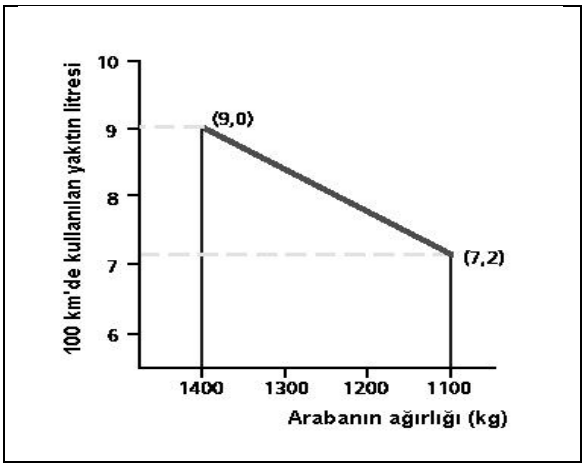
4.7.1. Otomotiv endüstrisinde magnezyum

Magnezyum alaşımlarına olan en büyük ilgi günümüzde otomotiv sektöründen gelmektedir. Bunun başlıca nedeni, kullanılan hafif magnezyum alaşımları ile araç ağırlığında yapılan azalmanın ekonomik yakıt kullanımı sağlaması ve bunun neticesinde gaz emisyonlarının da indirgenebilecek olmasıdır [63]. Yakıt tüketiminin % 60'ı otomobil ağırlığından kaynaklandığından otomobillerin ağırlığının azaltılması doğrudan yakıt tasarrufu sağlamaktadır [59].

Magnezyum alaşımları otomobillerde; debriyaj gövdesi, kapı içi koruyucu kirişler, tekerlekler, şanzıman gövdesi, koltuk kızakları, iç kapı kolları, far mesnedi, araç ön paneli gibi parçalarda kullanılmaktadır[54,].Araç tasarımında güç, konfor ve emniyet içeren diğer bütün taleplerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu taleplerin yerine getirilmesiyle araç ağırlığı da artmaktadır.

Tasarımı yapılmış bir otomobilin 1966'da ağırlığı 1130 kg iken, bu otomobilin 1998'deki ağırlığı ise 1400 kg'dır [9, 58]. Magnezyum alüminyum ve çelikle kıyaslandığında fiyatının yüksek olmasına rağmen, döküm parçaları net şekle yakın üretildiğinden otomobillerdeki kullanımı fazladır [88]. Bazı motor parçalarında alüminyum ve çelik alaşımlarının yerine magnezyum alaşımlarının kullanılması ile alüminyuma göre 19,5 kg ve çeliğe göre 48,5 kg ağırlık azalacaktır [9, 82].

Önümüzdeki yıllarda ulaşılması planlanan yakıt tüketimi binek otomobillerde 3lt/100 km gibi zorlu bir hedeftir ve bunun için otomobil ağırlığında yaklaşık olarak % 30'luk bir azalma gerekmektedir [16, 63]. Günümüzde kullanılan orta büyüklükteki bir sedan arabada hafif malzeme kullanılması ile yakıttan elde edilen tasarruf 100 km'de 1.8 litre iken dolayısıyla emisyonda da % 20'lik bir azalma olacaktır. Bir sedan arabadaki ağırlığın azalmasıyla elde edilecek yakıt tasarrufu Şekil 4.1 verilmektedir [9].



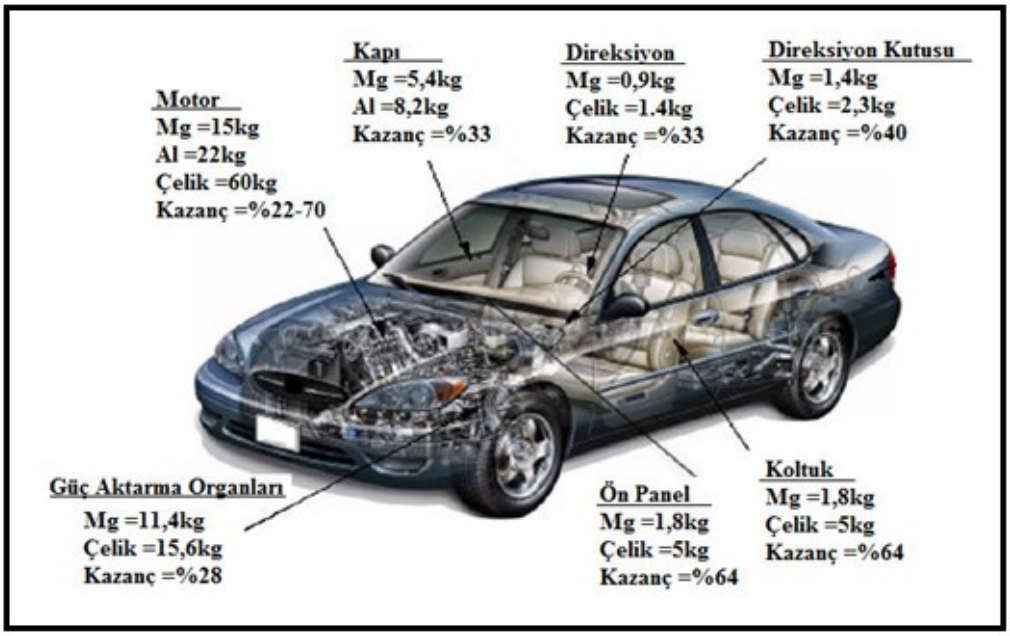
Şekil 4.1. Arabadaki ağırlığın azalmasıyla elde edilecek yakıt tasarrufu

Otomotiv endüstrisinde magnezyumun diğer malzemelerin yerini alması son yıllarda hızla artmıştır. Magnezyum alaşımları kullanılmasıyla taşıtların ağırlığının azaltılması sonucu yakıt tüketimi dolayısıyla CO_2emisyonlarının indirgenmesi ve son yıllarda imalat teknolojilerinde ki gelişmelerin maliyetlere yansıması bu artışın başlıca nedenleridir.

Taşıtlarda kullanıldığı yerde gerekli ihtiyaçları karşılayacak şekilde magnezyum alaşımlı komponentler, güç-aktarma ve yapısal komponentleri olarak sınıflandırılmıştır. Güç aktarma komponentlerde sürünme ve korozyon dirençleri önemli iken yapısal komponentlerde ise süneklik, mukavemet, darbe ve yorulma dirençleri önceliklidir [47,89].

Otomobil parçalarının dökümü için çoğunlukla Mg-Al-Zn (AZ91) alaşımları kullanılır. Diğer magnezyum alaşımları ile karşılaştırıldığında AZ91 alaşımı daha iyi döküm, daha iyi akma dayanımı özellikleri göstermektedir [90].

Magnezyum alaşımından dökülmüş otomobil üretiminde kullanılan parçaların çelik ve alüminyuma göre sağladığı ağırlık kazancı ise Şekil 4.2'de gösterilmekte ve şekilde görüldüğü gibi otomobillerin hemen her kısmında magnezyum alaşımları kullanılmaktadır [13, 46, 47, 90].



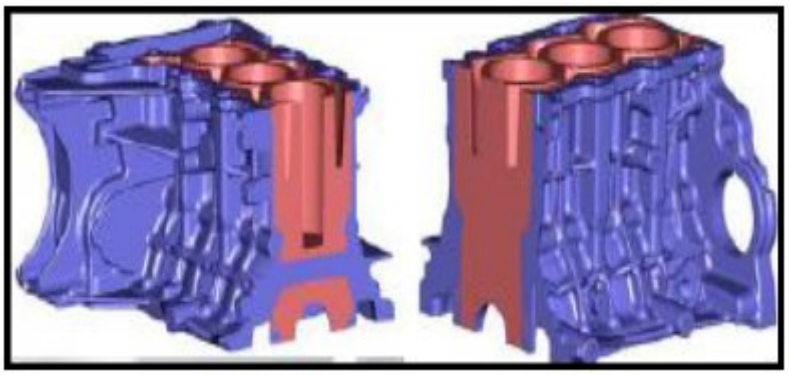
Şekil 4.2. Magnezyum alaşımından dökülmüş otomobil üretiminde kullanılan parçaların çelik ve alüminyuma göre sağladığı ağırlık kazancı

Magnezyumun otomobillerde kullanıldığı diğer parçaları listelersek [69, 70].

- Tekerlekler
- ABS fren destek ve tutma braketi
- Geçme hava yastığı tutucuları
- Debriyaj gövdesi
- Koltuk yükselticisi
- Kol dayama yerleri
- Kapı kilidi gövdeleri
- Motor destek braketleri
- Endüksiyon sistemi yuvası
- Karter taban kısmı
- Silindir kapağı
- Yanma odaları
- Araç ön paneli
- Travers
- Koltuk kızakları
- Orta konsol
- Kapı içi koruyucu kirişler
- Tekerlek göbeği
- İç kapı kolları
- Gösterge paneli destek kirişi
- Şanzıman gövdesi
- Emme manifoldu
- Far mesnedi
- Açılır tavan iskeleti
- Ventil
- Hava filtresi
- Soğutma peteği
- Kaborta

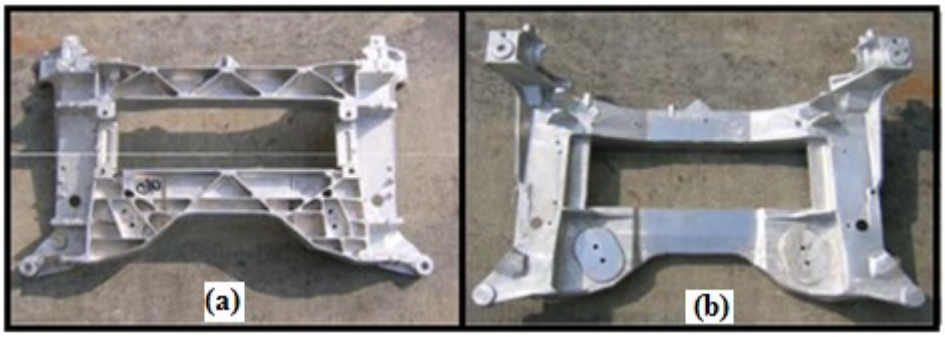
Magnezyumun otomobil parçalarında kullanımı yaklaşık olarak son 80 yıldır vardır. Louse Chevrolet tarafından 1930 yılında bir prototip arabada magnezyum pistonları, Volkswagen Beetle motorunda ve aktarma organlarında 20 kg'dan fazla magnezyum kullanılmıştır [63].

Gelecekte magnezyum döküm alaşımlarının daha geniş kapsamlı kullanılabileceğine dair en iyi örneklerden biri de BMW firmasının yeni üretmiş olduğu Mg-Al kompozit motor bloğudur. Bu, yüksek sıcaklık motor uygulamasındaki magnezyum alaşımlarının ilk kullanımıdır [91].



Şekil 4.3. Kesik halde Mg-Al kompozit motor bloğu [70, 92].

Magnezyum alaşımlı yapısal komponentlerin en önemli örneklerinden biride Şekil 4.4'de verilen basınçlı döküm tekniği ile imal edilen 2006 Corvette Z06 model araçta kullanılan motor taşıma kızağıdır [93].

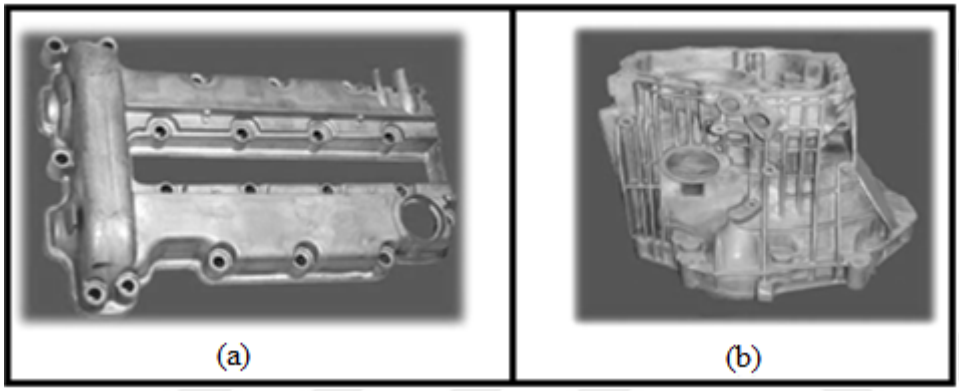


Şekil 4.4. Corvette Z06 AE44 motor taşıma kızağı
a) Alt görünümü b) Üst görünümü

Daimler Chrysler'in AS31 magnezyum alaşımı kullanarak geliştirdiği diğer güç-aktarma komponentine 7G-Tronic şanzıman kutusu örneği ve AZ91 alaşımlarından üretilmiş döküm parçalar Şekil 4.5'de ve Şekil 4.6'da görülmektedir [94, 95].



Şekil 4.5. Daimler Chrysler'in geliştirdiği 7G-Tronic şanzıman kutusu



Şekil 4.6. AZ91 alaşımı döküm parçaları
a) Üst yağ kapağı b)Aktarma parçası

Ağırlığın önemli olarak avantaj sağladığı birçok diğer mühendislik uygulamasında da magnezyum ve alaşımları kullanılmaktadır [96].

4.7.2. Havacılık endüstrisinde magnezyum

Havacılık endüstrisinde kullanılan metallerde istenilen en temel özellikler; dayanıklılık, hafiflik, şok-titreşim ve korozyona karşı dirençtir. Yoğunluğunun azaltılması ile hafiflik sağlanabilmektedir. Üretimde çoğunlukla çelik, alüminyum, magnezyum, titanyum ve bakır gibi metalik malzemeler kullanılmakta olup, metallerin saf durumlarının düşük mukavemet özellikleri sebebiyle havacılığın özel ihtiyaçlarının karşılanması neredeyse olanaksızdır. Günümüz araştırma ve geliştirme çalışmalarının esası; daha kullanışlı malzemeler elde edebilmek için yeni ve daha önce denenmemiş alaşımların geliştirilmesi çalışmalarıdır. Yoğun olarak sektörün üzerinde iyileştirme yaptığı özellikler şunlardır;

- Yanıcı olmaları,

- Yüzeyine uygulanan herhangi bir koruyucu kaplama olmadığında, korozif bir ortamda beyaz renkte kümecikler veya noktalar biçiminde korozyona uğramaları,

- Alaşımlarının yüzeylerinde oluşan oksit-karbonat filminin, korozif olmayan ortamlarda bile yeterli derecede korozyondan korunma sağlayamamaktadır. Uygun olarak kullanılan koruyucu kaplama korozyonu önemli ölçüde indirgeyebilmektedir [62, 97].

Hafifliğin yanı sıra hız ve güç gereksiniminin artması sebebiyle de daha dayanıklı malzeme kullanımının gerekliliği açıktır. Magnezyum alaşımları hava araçlarında, üzerine yük binmeyen parçalarda kullanımı aktiftir (hidrolik depolar, yakıt depoları, vs) [62, 98].

Havacılık malzemesi imalatında kullanılan malzemeler seçilirken metal seçimi, çalışma özelliğine göre belirlenir ve özellikle korozif ortamda çalışan parçaların imalatı esnasında kullanılan metal veya alaşımların korozyona daha az meyilli olması gerekmekte ve havacılık alanında kullanılmakta olan parçalar korozyona dayanıksız olduğundan oldukça kontrollü kullanılmaları gerekmektedir [62, 99].

Günümüzde standart olarak 20 adet magnezyum döküm alaşımı mevcut olmasına rağmen, modern havacılık endüstrisinin gereksinimlerini karşılayacak olan bu alaşımların azlığı büyük bir engel teşkil etmektedir [62, 100].

4.7.3. Savunma sanayi endüstrisinde magnezyum

Talaşlı imalatta sadece düşük sünekliğe sahip magnezyum talaşlı işlenmeye uygun olmasına rağmen, tutuşabilirliği kolay olması nedeniyle tehlike arz etmektedir. Magnezyum bu özellikleri ile savunma sanayisinde de önemli ve kritik kullanım alanlarına sahip olmaktadır. Büyük tahrip gücüne sahip mühimmatlarda, portatif yer donanımlarında, radar donanımlarında ve stingray torpidolarında alevlendirme amaçlı kullanılırken, ekstrüze edilmiş çubuk şeklinde magnezyum ise anti tank mühimmatı olarak kullanılmaktadır. 120 mm veya 100 mm lik standart mermileri ateşlemede mühimmatı destekleyici olarak magnezyum katılmakta, bu amaçla AZ80, AZ61 ve AZM alaşımlarının tozlarından faydalanılmaktadır.

Ayrıca magnezyum yandığında beyaz ışık ve yoğun bir ısı meydana çıkarır ince ve atomize tozlar alevlendirici ve ordu donatım malzemesi olarak özellikle aydınlatma ve tehlike işareti amaçlı kullanılmaktadır. Hedef yanıltma amaçlı, askeri uçakların ve helikopterin korunmasında magnezyum esaslı aygıtlar kullanılmaktadır [62, 101, 102].

4.8. Magnezyumun ve Alaşımlarının Korozyonu

Magnezyum alaşımları sahip oldukları yüksek dayanım/ağırlık oranı, düşük yoğunluk, iyi dökülebilirlik gibi mekanik özelliklerle birçok uygulama için çekici bir metal haline gelirken, kullanım alanını korozyon direnci sınırlamaktadır. Oda sıcaklığında saf magnezyumun hava ile temas etmesi durumunda, yüzeyinde kısmi koruyucu özellikte magnezyum oksit veya nem varlığına bağlı olarak magnezyum hidroksit tabaka oluşmaktadır [8, 45, 59]. Magnezyumun özellikle dış ortamlarda kullanımındaki temel değişimlerden biri zayıf korozyon direncinin olmasıdır [103].

Tasarımlarda daha üstün dayanımları sebebiyle saf magnezyuma tercih edilen alaşımlarının en önemli dezavantajı, farklı bir metalle temas etmesiyle ve bir elektrolitle ısıtıldığında galvanik korozyon için büyük bir korozyon eğilimine sahip olmalarıdır [8, 59]. Farklı metallerin temasları sonucu galvanik çift meydana geldiğinde korozyon çeşidi olarak en sık rastlanan elektrokimyasal korozyon oluşmaktadır. Yağmur suyu ve yoğuşma suyu gibi suların, malzemelerden iyon çekmesi sonucunda elektrolit haline gelmesiyle anodik eleman korozyona uğramakta bu da havacılık gibi önemli uygulamalarda hayati rol teşkil etmektedir [62, 103].

Magnezyum alaşımlarının korozyon özelliklerinin belirlenmesi için malzeme seçiminde, farklı malzemelerin korozyon davranışları dikkate alınmaktadır. Magnezyumun korozyon hızı üzerindeki demir, bakır ve nikel gibi ağır metallerin etkisinin negatif yönde olduğu çok uzun zamandır bilinmektedir [13, 59]. Demir, bakır ve nikelden arındırılan yüksek saflıktaki alaşımların korozyon dayanımı daha iyidir bunun dışında kromatlama ve nikel kaplama gibi yüzey işlemleriyle de magnezyum alaşımlarının korozyon dayanımı konusunda iyileştirme yoluna gidilmiştir [54, 104]. Son yıllarda korozyon dayanımı yüksek, deformasyon kabiliyeti olan ve aynı zamanda yeni alaşımlar geliştirilmiş ve otomobillerde kullanılmaya başlanmıştır [59].

Magnezyum alaşımlarının korozyon davranışında diğer metalik malzemelerde olduğu gibi rol oynayan birçok faktör vardır. Bu faktörler; ortamın korozif etkisi, alaşım kalitesi, döküm pratiği, konstrüktif özellikler, yüzey işlemleridir [69]. Korozyondan korunma ise tepkimeye müdahale ya da reaksiyona katılan kısımlarla koruyucu tabakaların ayrılması yolu ile azaltılması veya tamamıyla ortadan kaldırılması tekniğiyle yapılmaktadır [62,103]. Korozyon direncini iyileştirmek amaçlı magnezyum ve alaşımları üzerinde kimyasal olarak değişmiş bir tabaka oluşturulması çok önemli bir yüzey işlemidir [105, 106].

Günümüzde üzerinde çalışılan yeni kaplama yöntemleri de mevcuttur. Magnezyum yüzeyi kaplamalar sayesinde daha etkisiz hale getirilerek pasivasyon yoluyla galvanik korozyona engel olunmaktadır. Uygulanan tüm kaplamalar aşınma ve korozyona engel olurken aynı zamanda rekabetçi bir maliyete ve uygun yapışma özelliklerine de sahip olmalı, bu gün keronite adı verilen yöntem önemli uygulamalardan bir tanesidir.

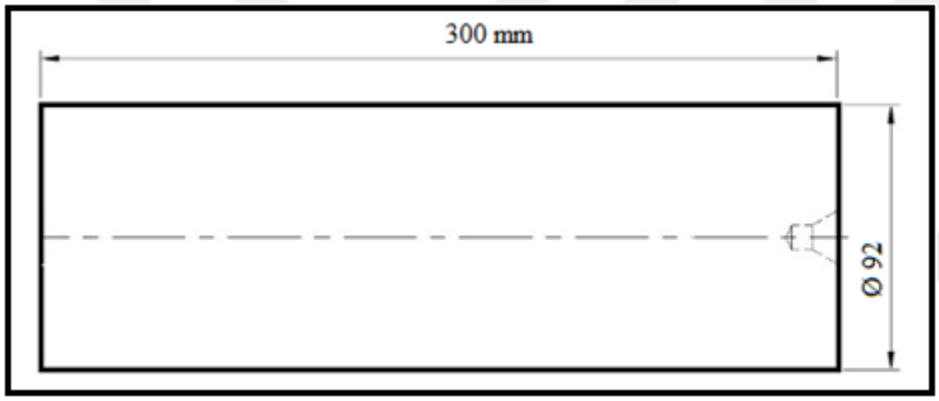
AZ91 alaşımı üzerine Cambridge Üniversitesinde yapılan testlerde, uygulanan keronite kaplama yöntemiyle alaşımın ortalama 700 HV civarında bir sertlik değerine ulaştığı görülmüştür. Keronite kaplı FIAT'ın numuneleri çinko fosfat banyosuna daldırılıp devamında 750 saat tuz spreyi testine tabi tutulmasıyla numuneler mükemmel korozyon kabiliyeti göstermiş ve en ufak bir korozyon belirtisi görülmemiştir [54, 104].

5. MATERYAL VE DENEYSEL METOT

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan deney malzemesi, kesici takımlar ve diğer materyaller Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri(BAP) tarafından sağlanan finansal kaynak desteği ile alınarak kullanılmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

5.1. Deney Malzemesi

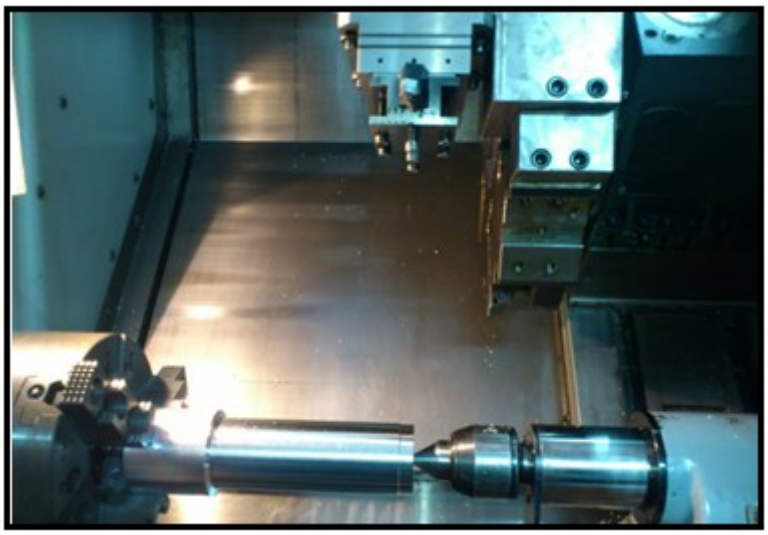
İşlenebilirlik deneyleri için deney malzemesi olarak, basınçlı dökümden imal edilmiş 92 mm çapında ve 300 mm boyunda AZ91 magnezyum alaşımlı numuneler kullanılmıştır. Deney malzemeleri aracı bir firma aracılığı ile Çin'den X'AN YUECHEN METAL PRODUCTS CO., LTD. firması tarafından temin edilmiştir. Kimyasal bileşenleri aynı firmanın üretim hattında belirlenerek, mikro yapısı ve yüzey kalitesinin de test sertifikasında nitelikli olduğu belirtilmiştir. Deney malzemesi olan AZ91D magnezyum alaşımının kimyasal bileşenleri(%) Ek-1'deölçüleri ise Şekil 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5.1. Deney malzemesinin ölçüleri

5.2. Deney Malzemelerinin Hazırlanması

Deney malzemeleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği talaşlı imalat atölyesinde bulunan üniversal torna tezgâhında boyu 295 mm getirilip bir ucuna punta deliği açılmıştır. Yine numunelerin dış yüzeylerindeki dökümden kaynaklanan olumsuzluklar ve olası dış yüzey tabaka sertleşmesi ihtimaline karşılık ise dış yüzeyler, üniversal torna tezgâhında 1 mm kesme derinliğinde torna yapılarak çap 90 mm'ye düşürülmüş ve Resim 5.1'de görüldüğü gibi CNC torna tezgahına bağlanarak işlenebilirlik deneyleri için hazır hale getirilmiştir.



Resim 5.1. Deneyler için hazırlanmış numune ve deney düzeneği

5.3. İşlenebilirlik Deneyleri

İşlenebilirlik deneyleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarında ISO 3685 (TS 10329) (torna kalemleri-ömür deneyi) standardına ve deney şartlarına uygun olarak CNC torna tezgâhında kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Deneyler, kaplamalı karbür ve kaplamasız karbür kesici takımlar kullanılarak dört farklı kesme hızı (200 m/min, 320 m/min, 512 m/min, 820 m/min), üç farklı ilerleme hızı (0,1 mm/rev, 0,2 mm/rev, 0,3 mm/rev) ve üç farklı kesme derinliğinde (1 mm, 2 mm, 3 mm) gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyde yeni kesici takım kullanılarak 36 tanesi kaplamalı karbür (TiNTiCN-TiN) takımlarla, 36 tanesi de karşılaştırma amaçlı aynı kesme parametrelerinde kaplamasız karbür kesici takımlarla yapılmış ve toplamda 72 deney gerçekleşmiştir.

5.4. Kesme Parametreleri

Kesme parametreleri, kesici takım firmasının önerileri ve literatür göz önünde bulundurularak kesici takımların performanslarını ve malzemenin işlenebilirlik kabiliyetini değerlendirmeye imkân verecek şekilde alt ve üst limitlere yakın olarak belirlenmiştir. Bu standardın ve kesici takım firmasının öngördüğü şekilde seçilen kesme parametreleri, kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar için kesme parametreleri

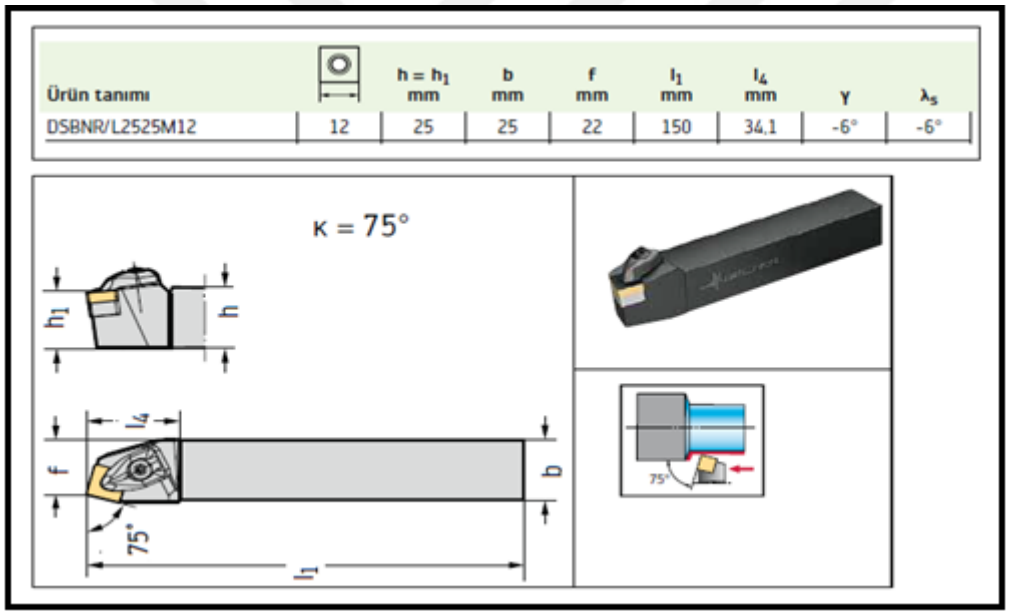
Deney no	Kesme derinliği (a) mm	Kesme hızı (V)m/min	İlerleme hızı (f) mm/rev	Deney no	Kesme derinliği (a) mm	Kesme hızı (V)m/min	İlerleme hızı (f) mm/rev
1	1	200	0,1	37	1	200	0,1
2			0,2	38			0,2
3			0,3	39			0,3
4	1	320	0,1	40	1	320	0,1
5			0,2	41			0,2
6			0,3	42			0,3
7	1	512	0,1	43	1	512	0,1
8			0,2	44			0,2
9			0,3	45			0,3
10	1	820	0,1	46	1	820	0,1
11			0,2	47			0,2
12			0,3	48			0,3
13	2	200	0,1	49	2	200	0,1
14			0,2	50			0,2
15			0,3	51			0,3
16	2	320	0,1	52	2	320	0,1
17			0,2	53			0,2
18			0,3	54			0,3
19	2	512	0,1	55	2	512	0,1
20			0,2	56			0,2
21			0,3	57			0,3
22	2	820	0,1	58	2	820	0,1
23			0,2	59			0,2
24			0,3	60			0,3
25	3	200	0,1	61	3	200	0,1
26			0,2	62			0,2
27			0,3	63			0,3
28	3	320	0,1	64	3	320	0,1
29			0,2	65			0,2
30			0,3	66			0,3
31	3	512	0,1	67	3	512	0,1
32			0,2	68			0,2
33			0,3	69			0,3
34	3	820	0,1	70	3	820	0,1
35			0,2	71			0,2
36			0,3	72			0,3

5.5. Kullanılan Takım Tutucu ve Kesici Takımlar

Deneylerde kullanılan takım tutucu ve kesici takımlar ISO 3685 (TS 10329) (torna kalemleri-ömür deneyi) standardı ile kesici takım üretici firma önerileri dikkate alınarak deney malzemesi olarak kullanılan AZ91 magnezyum alaşımı için seçilmiştir.

5.5.1. Takım tutucu

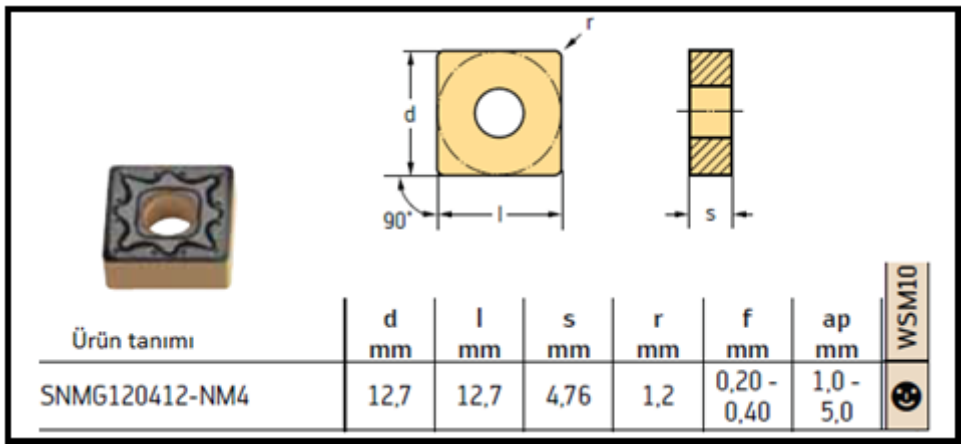
İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan takım tutucu rijit olarak deneylerin yapılacağı CNC torna tezgâhının kesici takım bağlama başlığı yuvasına ve dinamometre kesici takım bağlama yerine uygun olarak seçilmiştir. Bu kapsamda deneylerde Walter marka "DSBNR2525M12" kodlu takım tutucu tedarik edilerek kullanılmıştır. Kesici takım tutucunun geometrik özellikleri ve ölçüleri Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan takım tutucunun geometrik şekli ve ölçüleri

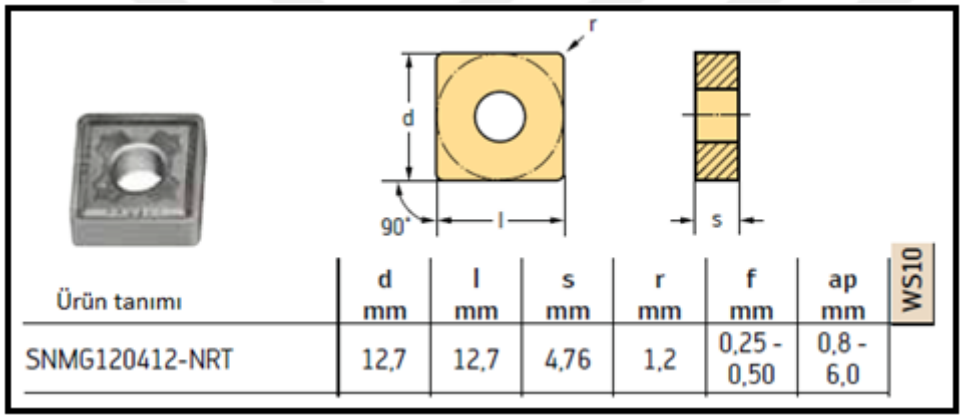
5.5.2.Kesici Takımlar

Deneylerde kesici takım olarak, Walter marka SNMG120412-NM4 WSM10 ve SNMG120412-NRT WS10 kodu ile üretilmiş fiziksel buhar çökelmesi(PVD) yöntemiyle kaplanmış (TiNTiCN-TiN) kaplamalı karbür ve kaplamasız karbürlü kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takımların ISO kodları, yapı ve geometrik özellikleri ile teknik bilgileri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir.



Ürün tanımı	d mm	l mm	s mm	r mm	f mm	ap mm	WSM10
SNMG120412-NM4	12,7	12,7	4,76	1,2	0,20 - 0,40	1,0 - 5,0	

Şekil 5.3. Kullanılan kaplamalı (TiNTiCN-TiN) karbüre ait kesici takım geometrisi ve teknik bilgileri



Ürün tanımı	d mm	l mm	s mm	r mm	f mm	ap mm	WS10
SNMG120412-NRT	12,7	12,7	4,76	1,2	0,25 - 0,50	0,8 - 6,0	

Şekil 5.4. Kullanılan kaplamasız karbüre ait kesici takım geometrisi ve teknik bilgileri

5.6. Takım Tezgâhı

İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan deney malzemeleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği CNC laboratuvarında bulunan FANUC kontrol ünitesine sahip "Johnford TC-35" sanayi tipi CNC torna tezgâhında işlenmiştir. CNC torna tezgâhının gücü 10 KW olup, tezgâh işmili değişken kademesiz hıza sahip ve 3545 rev/min'e kadar çıkabilmektedir. Resim 5.2'de deney düzeneği kurulmuş CNC torna tezgahı ve Çizelge 5.2'detezgahın teknik özellikleri verilmiştir.



Resim 5.2. Deney düzeneği kurulmuş CNC torna tezgahı

Çizelge 5.2. Kullanılan CNC torna tezgahının teknik özellikleri

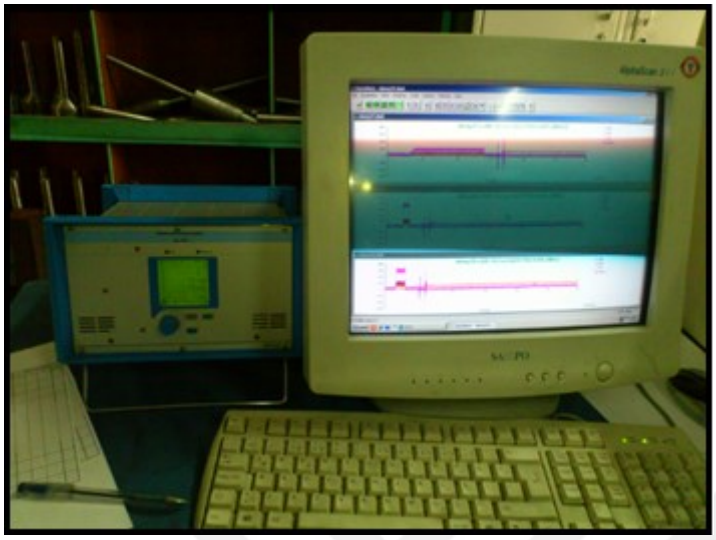
Markası	Johnford TC35
İş mili en fazla döndürme çapı	450 mm
En fazla parça bağlama boyu	1200 mm
Sürekli dönme devir sayıları	10-3500 rev/min
Kesici bağlama hane sayısı	12 Adet
İşmili gücü	10 kW
İşletim sistemi	Fanuc OT

5.7. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Kesme kuvvetlerinin ölçümünde, talaş kaldırma esnasında Johnford TC35tipi CNC torna tezgâhına bağlanmış kesme kuvvetlerinin üç bileşenini aynı anda ölçebilen Kistler 9257Bmodeldinamometre kullanılarak kesme kuvvetleri, her bir deneyde talaş kaldırma süresince ölçülmüştür.

Talaş kaldırma esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni olan; esas kesme kuvveti Fz (*Fc*), ilerleme kuvveti Fx (*Ff*) ve radyal kuvveti Fy (*Fr)* ölçebilen "KISTLER 9257B" tipi piezoelektrik dinamometre kullanılmış ve bu dinamometre "KISTLER Type 5019" bir sinyal yükselticiye (Multichannel Charge Amplifier) bağlanmış ve kesme kuvvetleri RS-232C ara kablo ile bilgisayara gönderilerek, "DynoWareType2825A1-2" programı yardımı

ile grafikler elde edilmiştir. Grafiklerin elde edilmesine ait bir görüntü Resim 5.3'te ve kullanılan dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 5.3' de verilmiştir.



Resim 5.3. "KISTLER Type 5019" sinyal yükseltici ve bilgisayar donanımı

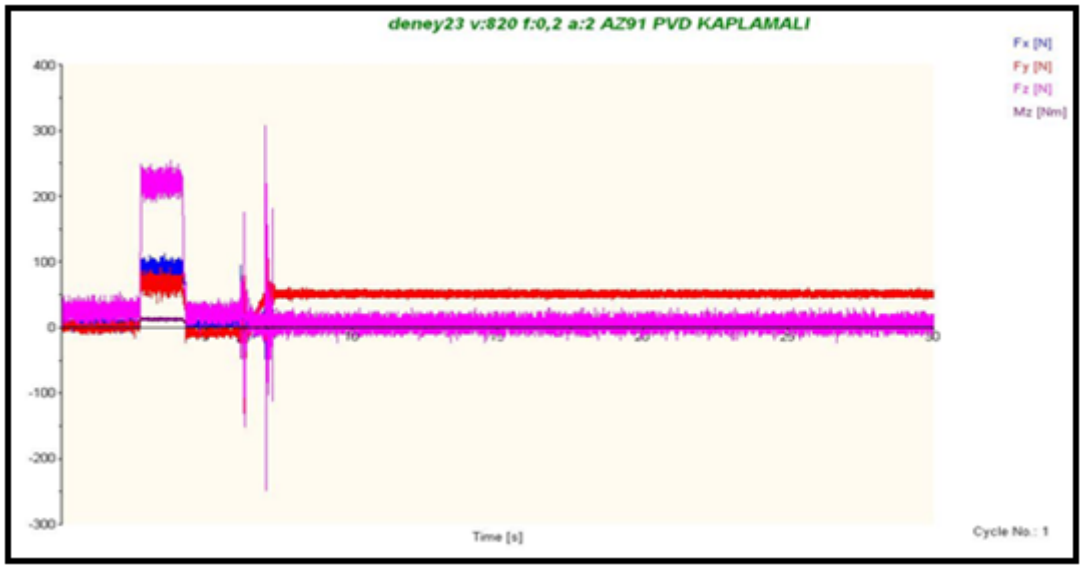
Her bir deneyde elde edilen değerler, Dyno Ware Type programı tarafından Newton cinsinden hesaplanıp ortalaması alınarak, esas kesme kuvveti Fz (Fc), ilerleme kuvveti Fx (Ff) ve radyal kuvvet Fy (Fr) belirlenmiştir.

Çizelge 5.3. Kistler 9257B tipi dinamometrenin teknik özellikleri.

Kuvvet aralığı (kN) (Fx, Fy, Fz)	-5……10	Çalışma sıcaklığı(^{o}C)	0…70
Tepki verme (N)	<0,01	Kapasitans (pF)	220
Hassasiyet (pC/N) Fx, Fy	-7,5	20 ^{o}C'deki yalıtım direnci (Ω)	>1013
Fz	-3,5	Topraklama yalıtımı (Ω)	>108
Doğrusallık	%1 FSO	Koruma sınıfı	IP 67
Hizterezis	%0,5 FSO	Ağırlık (kg)	7,3
Doğal frekans f_0 (x,y,z) (kHz)	3,5		

Kesme kuvvetindeki dalgalanmalar, tezgâhta oluşan titreşimler ile açıklanabilmekte olup oluşan titreşimlerin nedenlerinin ve bu titreşimlerin kesici takımlara etkisini görmek için, kesme şartlarının belirlenmesinden önce gerekli önlem ve tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Tezgâhın yerleştirilmiş olduğu zeminin bozuk olması, arızalı motorlar ve tezgâhın yakınında titreşim yapan büyük tezgâhların bulunması ile özellikle dışarıdan kaynaklanan titreşimlerin büyük etkisi olmakta ve bu titreşimler çevre koşullarının iyileştirilmesi ile giderilebilmektedir. Yanlış seçilmiş kesme koşullarından kaynaklanan titreşimlerde bulunmaktadır. Bu kapsamda "Dyno Ware Type 2825A1-2" programı yardımı ile elde edilen kesme kuvvetlerine ait bu grafiklerden alınan bir örnek ise Şekil5.5'de görülmektedir.

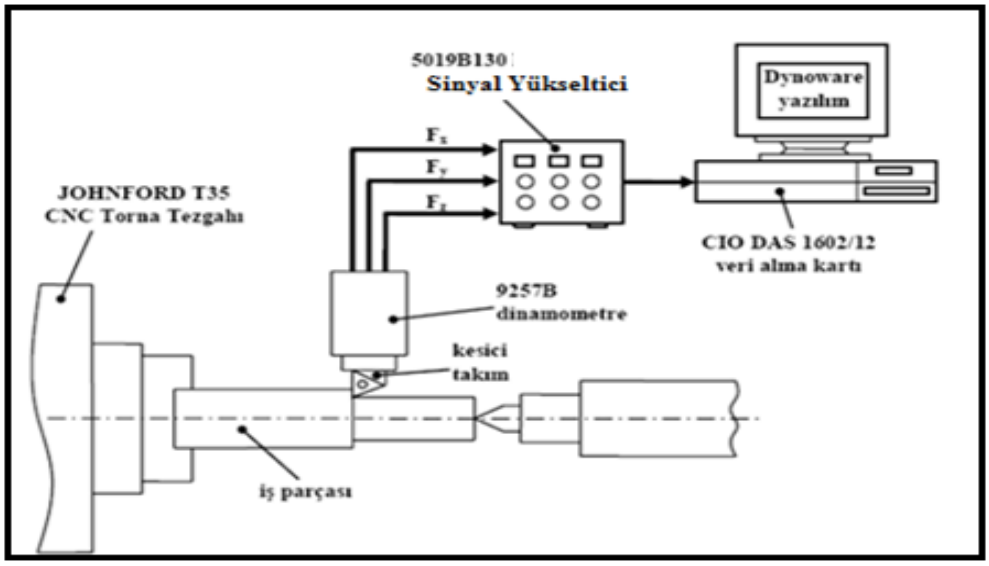


Şekil 5.5.AZ91 magnezyum alaşım malzemesinin kaplamalı karbür (TiNTiCN-TiN) kesici takımla 820 m/min kesme hızı, 2 mm kesme derinliği, 0,2 mm/rev ilerleme hızı ile işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri

Talaş kaldırma esnasında oluşan titreşimlerin sebebi ise işlenecek parçanın uzun ve ince olmasından kaynaklanmaktadır ki bu durum vibrasyona etki edebilecek bir faktördür. İnce ve uzun iş parçalarının bağlanması esnasında eksen kaçıklıkları olabilmekte ve buda işleme sırasında sehime neden olmakta, sehimden dolayı ise kesici takım iş parçasına dalma yapmaktadır.

Titreşime sebep olan bir diğer sebep ise kesici takım uç yarıçapı artmasıyla kesme kuvvetleri de artacağından titreşimde de artış olacak, bu durumda titreşimi düşürmek için uç yarıçapı küçük olan kesiciler tercih edilmelidir. Ancak kesici takımın uç yarıçapı küçüldüğü zaman yüzey kalitesinde düşüş olacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Deney malzemesinin homojen yapıda olmaması durumu da titreşime yol açan bir diğer etken olmakla beraber malzemeden kaynaklanan titreşimi tespit etmek ve önlemekte oldukça

güçtür. Ancak, kesme şartlarının tam olarak yerine getirilmesi sonrasında bu durumu tespit etmek mümkündür. Netice itibariyle işleme esnasında meydana gelen titreşimler, uygun kesme koşullarının oluşturulmasıyla ve kesme şartlarına yapılacak müdahaleler ile azaltılabilir. Kesme deneyleri için ise hazırlanan bir düzenek şematik olarak Şekil 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5.6. Kesme deneyleri için hazırlanan bir düzenek

5.8. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi imalat mühendisliği CNC laboratuvarında bulunan "Mahr" marka Perthometer M1 tipi, masa üstü ve yazılı çıktı alınabilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır.

Deney malzemeleri işlenmiş yüzeyleri üzerinde yapılan yüzey pürüzlülük ölçümleri, deney malzemesi eksenine paralel olacak şekilde ölçüm aralıkları 5,6 mm olarak seçilmiş ve her ölçümden sonra deney malzemesi kendi ekseni etrafında 120° döndürülerek üç ayrı yüzeyden ölçüm yapılmıştır.

Ölçüm işlemleri ISO 4288 (TS 6212) (mamulün geometrik özellikleri (gps)- yüzey yapısı: profil metodu-yüzey yapısının değerlendirilmesi için kurallar ve işlemler) standardına uygun olarak, örnekleme uzunluğu (λ) ve ölçme uzunluğunun (L) tespitinde ilgili kurallara uyulmuştur. Yüzey pürüzlülük ölçümleri sonucu elde edilen üç değerin aritmetik

ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri belirlenmiştir. Kullanılan "Mahr" marka Perthometer M1 tipi yüzey pürüzlülük ölçme cihazına ait görüntü Resim 5.4'de teknik özellikleri ise Çizelge 5.4'de verilmiştir.



Resim 5.4. Kullanılan "Mahr" marka Perthometer M1 tipi yüzey pürüzlülük ölçme cihazı

Çizelge 5.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Model	M1
Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama kuvveti	0,75 mN
İğne uç yarı çapı	2 µm
Ölçüm aralıkları	100-150 µm
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gaussian
Örnekleme uzunluğu (λ)	0,25 – 0,8 – 2,5 (mm)
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 – 5,6 – 17,5 (mm)
Ölçülebilen parametreler	Ra, Rz, Rmax
Dil	Seçilebilir 10 Avrupa, 3 Asya dili
Güç kaynağı	Entegre, NiCdşarj edilebilir pil
Boyutlar	190 x 170 x75 mm
Yaklaşık ağırlık	90 gr

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerini araştırmak için, basınçlı döküm ile üretilmiş olarak gelen AZ91 magnezyum alaşımı kullanılmıştır. AZ91 magnezyum alaşımı üzerinde yapılan talaş kaldırma işleminde, dört faklı kesme hızı (200 m/min, 320 m/min, 512 m/min, 820 m/min), üç farklı ilerleme hızı (0,1 mm/rev, 0,2 mm/rev, 0,3mm/rev) ve üç farklı kesme derinliği (1 mm, 2 mm, 3 mm) kullanılarak deneyler gerçekleşmiş ve deney süresince her kesme işleminde yeni bir kesici takım kullanılmıştır.

Kullanılan kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği değerleri üretici firmanın önerileri ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir. Her bir deneyde kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere 75° yanaşma açısına sahip kare formda SNMG120412-NM4 kaplamalı (WSM10) karbür ve SNMG120412-NRT kaplamasız (WS10) karbür kesici takım kullanılarak 72 deney gerçekleştirilmiştir.

Deneyler neticesinde kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne ait sayısal veriler kaydedilmiş ve bu veriler ışığında asıl kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğüne ait grafikler elde edilerek yorumlanmıştır. Yapılan kesme işlemleri sırasında oluşan farklı talaş şekillerinden bazılarına ait talaşların resimleri ise EK-2, EK-3, EK-4 ve EK-5'de verilmektedir.

Bölüm içerisinde geçen kaplamalı karbür (TiNTiCN-TiN) kesici takımlar için WSM10, kaplamasız karbür kesici takımlar için ise WS10 ifadesi kullanılmıştır.

6.1. Kesme Kuvvetleri Açısından Değerlendirme

AZ91 magnezyum alaşımından üretilen döküm numuneler üzerinde yapılan talaş kaldırma işlemlerinde 36 tanesi WSM10 kesici takımlar ile 36 tanesi WS10 kesici takımlar ile olmak üzere iki ayrı takımla toplam 72 deney gerçekleştirilmiş ve kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Talaş kaldırma işlemleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri Çizelge 6.1'de ve Çizelge 6.2'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 6.1. WSM10 kesici takımlar ile elde edilen kesme kuvvet değerleri

Deney No	Kesme Derinliği a (mm)	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme Hızı f (mm/rev)	Kesme Kuvvetleri (N)		
				Fc	Fr	Ff
1	1	200	0,1	97,31	41,14	36,78
2			0,2	135,32	48,28	41,46
3			0,3	162,49	54,06	41,16
4	1	320	0,1	93,44	33,5	33,62
5			0,2	138,44	57,57	51,04
6			0,3	177,18	73,85	60,73
7	1	512	0,1	94,91	47,11	42,53
8			0,2	130,23	52,23	42,37
9			0,3	159,53	52,86	39,36
10	1	820	0,1	89,13	34,79	31,49
11			0,2	127,67	43,21	36,27
12			0,3	160,92	51,12	41,81
13	2	200	0,1	155,24	65,49	83,83
14			0,2	216,56	69,23	80,18
15			0,3	276,51	80,61	89,54
16	2	320	0,1	156,3	65,77	86,38
17			0,2	215,53	62,5	69,33
18			0,3	273,73	71,66	73,72
19	2	512	0,1	150,56	56,17	68,33
20			0,2	212,69	62,18	70,25
21			0,3	267,04	73,75	79,67
22	2	820	0,1	149,15	49,83	77,97
23			0,2	219,84	66,36	88,37
24			0,3	272,56	76,8	75,31
25	3	200	0,1	204,57	62,65	94,99
26			0,2	298,32	72,63	101
27			0,3	380,04	87,85	107,8
28	3	320	0,1	207,85	65,74	96,09
29			0,2	305,76	86,14	114,2
30			0,3	376,56	96,92	112,7
31	3	512	0,1	209,72	77,22	114,9
32			0,2	308,83	93,87	127,8
33			0,3	372,26	95,05	108,9
34	3	820	0,1	195,99	59,05	95,96
35			0,2	302,02	92,8	123,6
36			0,3	375,89	98,13	118,4

Çizelge 6.2. WS10 kesici takımlar ile elde edilen kesme kuvvet değerleri

Deney No	Kesme Derinliği a (mm)	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme Hızı f (mm/rev)	Kesme Kuvvetleri (N)		
				Fc	Fr	Ff
37	1	200	0,1	94,44	39,03	37,49
38			0,2	137,62	52,79	46,72
39			0,3	175,62	71,32	56,4
40	1	320	0,1	92,32	35,08	36,33
41			0,2	141,42	64,09	55
42			0,3	174,38	70,15	58,07
43	1	512	0,1	94,22	43,76	40,29
44			0,2	136,09	58,88	47,96
45			0,3	170,58	66,63	52,59
46	1	820	0,1	95,82	38,96	34,59
47			0,2	138,11	46,29	40,89
48			0,3	176,2	62,35	53,93
49	2	200	0,1	159,2	64,28	83,72
50			0,2	236,01	81,63	99,55
51			0,3	299,23	103,2	112,4
52	2	320	0,1	160,84	66,64	92,74
53			0,2	231,76	78,56	88,99
54			0,3	287,91	82,74	89,24
55	2	512	0,1	152,04	51,76	68,41
56			0,2	229,32	71,21	88,19
57			0,3	289,55	88,09	99,01
58	2	820	0,1	162,29	64,57	84,34
59			0,2	236,63	73,17	102,6
60			0,3	299	95,74	108,3
61	3	200	0,1	214,21	72,99	102,6
62			0,2	321,45	89,13	120,5
63			0,3	413,52	111,1	148,7
64	3	320	0,1	221,11	78,56	122,1
65			0,2	327,24	98,38	138,7
66			0,3	408,96	116,2	148,6
67	3	512	0,1	219,91	80,88	123,2
68			0,2	325,45	99,74	142,8
69			0,3	404,31	104,6	140,2
70	3	820	0,1	216	75,36	103,2
71			0,2	314,36	82,93	105,2
72			0,3	400,78	98,12	125,4

Yapılan çalışmada, kesme kuvvetleri değerlendirilirken, kesme mekaniğine bağlı olarak en yüksek kuvvet değerlerinin oluştuğu esas kesme kuvveti dikkate alınmıştır. Elde edilen kesme kuvvetlerine (Çizelge 6.1 ve 6.2) bakıldığında bütün takımlar için radyal kuvvet (Fr) ve ilerleme kuvveti (Ff) birbirine yakın olduğu görülmekte, esas kesme kuvveti (Fc) ise bu iki kuvvet değerlerinin yaklaşık 3 katı veya daha büyük olduğu görülmektedir.

Radyal kuvvet ile ilerleme kuvvetinin dağılımları kesici takım uç yarıçapına bağlı olarak farklılık göstermekte olup, bu farklılık deneylerde kullanılan kesici takım uç yarıçap değerinin altında olan ve kesme derinliğinin 1 mm olduğu durumlarda radyal kuvvet ilerleme kuvvetinden büyük çıkmıştır. Kesme derinliğinin 2 mm ve 3 mm olduğu durumlarda ise kesme derinliği, kesici takım uç yarıçapından büyük olduğu için ilerleme kuvveti radyal kuvvetten büyük çıkmıştır. Radyal kuvvetin ilerleme kuvvetinden büyük çıkmasının nedeni ise kesme derinliğinin takım uç yarıçapından küçük olmasına bağlıdır. Radyal kuvvet iş parçası ve takım da sehime yol açtığı gibi, rijitliğide olumsuz yönde etkilemektedir. Talaş kesiti, kesme derinliği ve ilerleme hızının arttırılması ile radyal kuvvette büyümekte ve talaş kesitinin büyümesi ile kesme kuvvetinin üç bileşeni de önemli ölçüde değişiklik göstermektedir [21, 80].

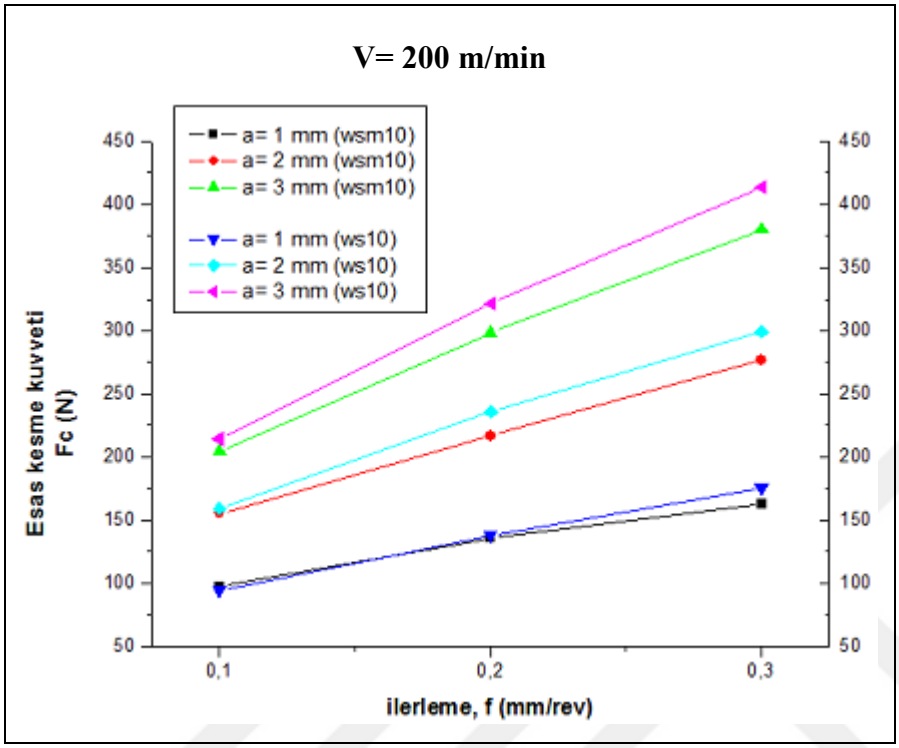
Esas kesme kuvvetini belirleyen en önemli etken ilerleme hızı tarafından oluşturulan talaş kesit alandır. Dolayısıyla ilerleme hızındaki artış ile beraber kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir durumdur. İlerleme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetinde artış eğilimi gözlenmiştir bunun nedeni artan ilerleme hızına bağlı olarak artan talaş kesitidir. Esas kesme kuvvetini düşürmek için ilerleme hızı değerinin azaltılması gerekmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda ilerleme hızının kesme kuvvetini doğrudan etkilediğini göstermektedir [107].

AZ91 magnezyum alaşımının WSM10 ve WS10 kesici takımlar kullanılarak 200 m/min, 320 m/min, 512 m/min 820 m/min kesme hızlarında yapılan deneylerde, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin esas kesme kuvveti üzerindeki değişimleri Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de grafik halinde verilmiştir.

Kesme hızları sabit tutularak yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, artan ilerleme hızlarına ve kesme derinliklerine bağlı olarak esas kesme kuvvetlerinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu eğilim iki farklı kesici takım olan WSM10 ve WS10 içinde aynıdır.

Grafikler incelendiğinde (Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4) 0,1 mm/rev ilerleme hızında 1 mm kesme derinliğinde ve 820 m/min olan en yüksek kesme hızında WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde en düşük kesme kuvveti 89,13 N olarak görülmektedir. En yüksek kesme kuvveti ise 0,3 ilerleme hızında, 3 mm kesme

derinliğinde ve 200 m/min olan en düşük kesme hızında WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 413,52 N olarak görülmektedir.

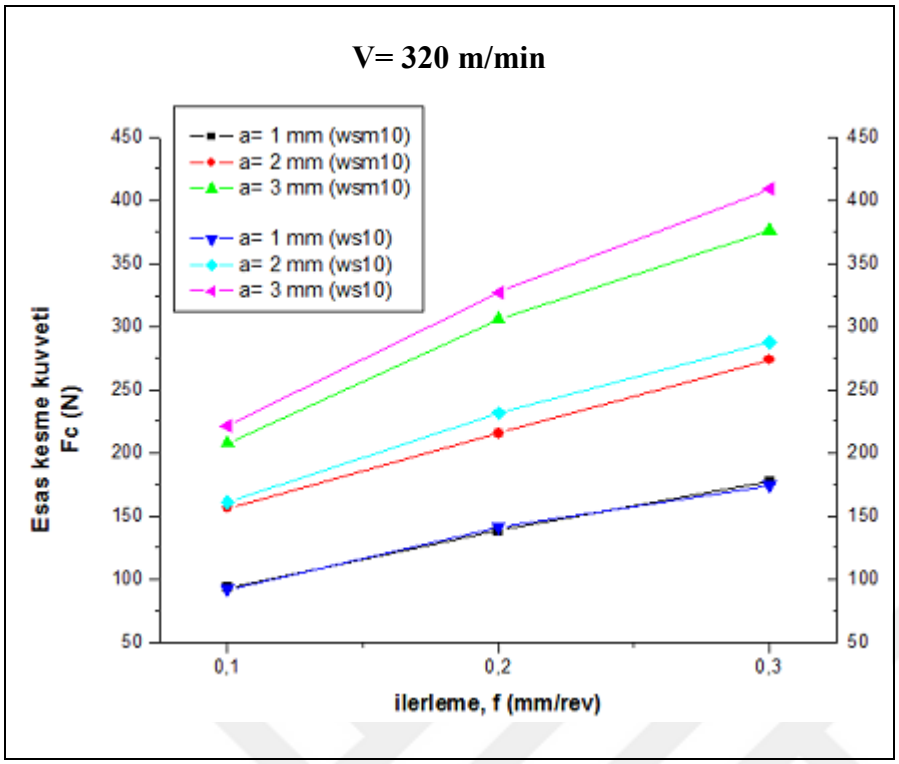


Şekil 6.1. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 200 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği

Şekil 6.1 'de 200 m/min sabit kesme hızında, en küçük kesme kuvvetleri 1 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 94,44 N iken, WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 97,31 N olarak saptanmıştır.

Kesme derinliği ve ilerleme hızının % 200 artması ile 2 mm kesme derinliğinde ve 0,2 mm/rev ilerleme hızında kesme kuvvetindeki değişim, WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak % 250 artarak 236,01 N'a ve WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 225 artarak 216,56 N'a yükseldiği görülmektedir.

En yüksek kesme kuvvetleri ise kesme derinliği ve ilerleme hızının % 300 artırılmasıyla 3 mm kesme derinliğinde ve 0,3 mm/rev ilerlemede WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde yaklaşık % 450 artarak 413,52 N'a WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 400 artarak 380,04 N'a yükseldiği görülmektedir.

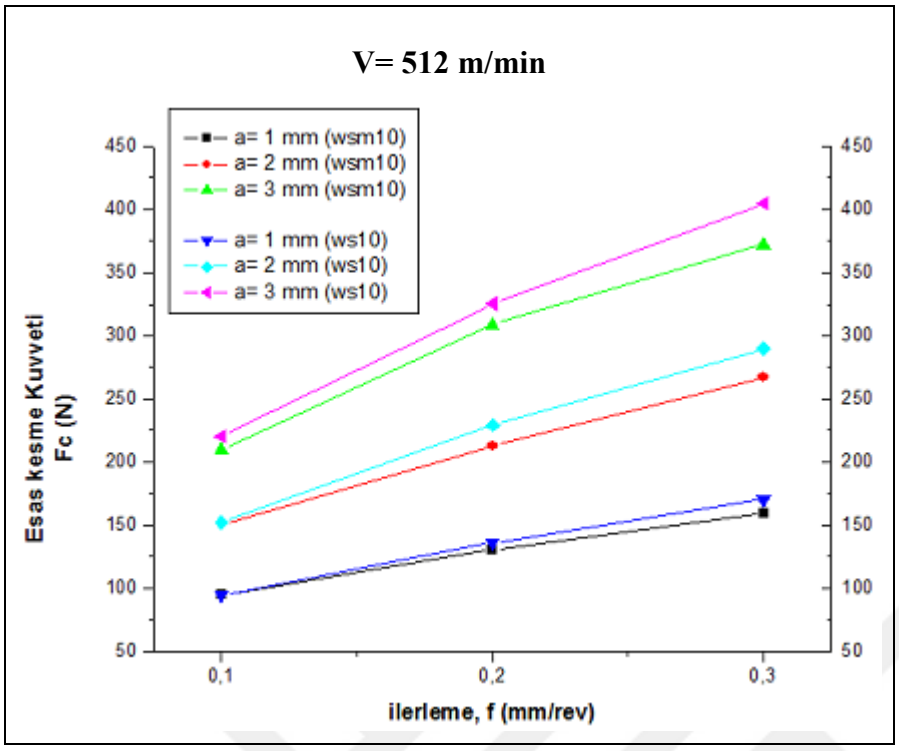


Şekil 6.2. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 320 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği

Şekil 6.2'de 320 m/min sabit kesme hızında, en küçük kesme kuvvetleri 1 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 92,32 N iken, WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 93,44 N olarak saptanmıştır.

Kesme derinliği ve ilerleme hızının % 200 artması ile 2 mm kesme derinliğinde ve 0,2 mm/rev ilerleme hızında kesme kuvvetindeki değişim WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak % 250 artarak 231,76 N'a ve WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 230 artarak 215,53 N'a yükseldiği görülmektedir.

En yüksek kesme kuvvetleri ise kesme derinliği ve ilerleme hızının % 300 artırılmasıyla 3 mm kesme derinliğinde ve 0,3 mm/rev ilerlemede WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde yaklaşık % 450 artarak 408,96 N'a WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 400 artarak 376,56 N'a yükseldiği görülmektedir.

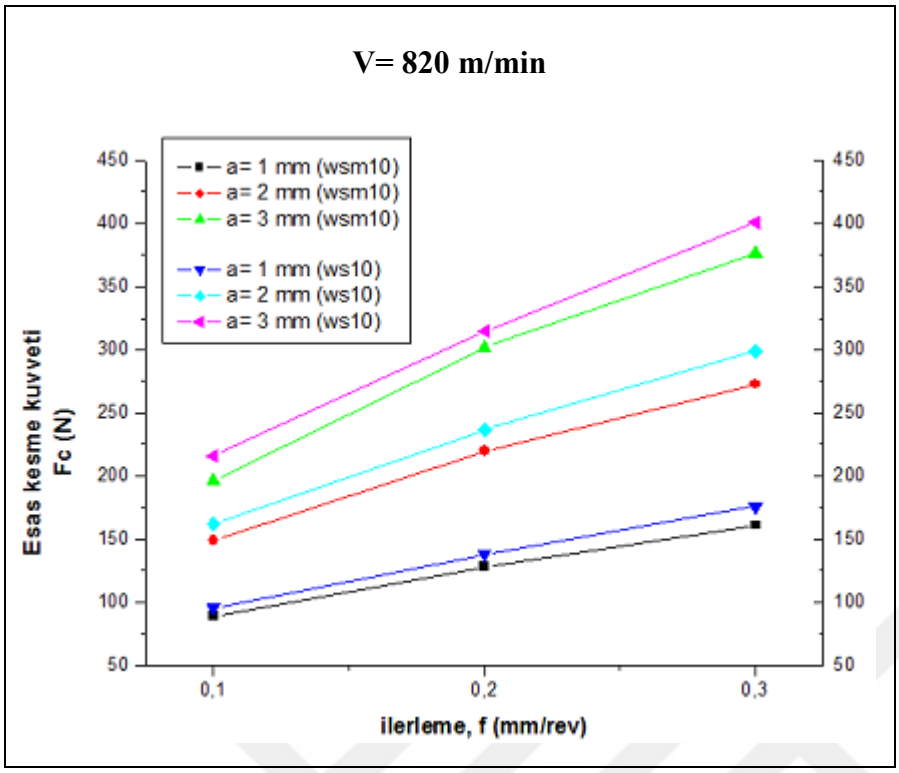


Şekil 6.3. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 512 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği

Şekil 6.3'de 512 m/min sabit kesme hızında, en küçük kesme kuvvetleri 1 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 94,22 N iken, WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 94,91 N olarak saptanmıştır.

Kesme derinliği ve ilerleme hızının % 200 artması ile 2 mm kesme derinliğinde ve 0,2 mm/rev ilerleme hızında kesme kuvvetindeki değişim WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak % 250 artarak 229,32 N'a ve WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 230 artarak 212,69 N'a yükseldiği görülmektedir.

En yüksek kesme kuvvetleri ise kesme derinliği ve ilerleme hızının % 300 artırılmasıyla 3 mm kesme derinliğinde ve 0,3 mm/rev ilerlemede WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde yaklaşık % 425 artarak 404,31 N'a WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 400 artarak 372,26 N'a yükseldiği görülmektedir.



Şekil 6.4. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 820 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği

Şekil 6.4'de ise 820 m/min sabit kesme hızında, en küçük kesme kuvvetleri 1 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 95,82 N iken, WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 89,13 N olarak saptanmıştır.

Kesme derinliği ve ilerleme hızının % 200 artması ile 2 mm kesme derinliğinde ve 0,2 mm/rev ilerleme hızında kesme kuvvetindeki değişim WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak % 250 artarak 236,63 N'a ve WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 250 artarak 219,84 N'a yükseldiği görülmektedir.

En yüksek kesme kuvvetleri ise kesme derinliği ve ilerleme hızının % 300 artırılmasıyla 3 mm kesme derinliğinde ve 0,3 mm/rev ilerlemede WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde yaklaşık % 425 artarak 400,78 N'a WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 425 artarak 372,26 N'a yükseldiği görülmektedir

Kullanılan WSM10 ve WS10 kesici takımları kıyasladığımızda ilerlemenin 0,1 mm/rev ve kesme derinliğinin 1 mm olduğu düşük ilerleme ve kesme derinliklerinde kaplamasız

kesici takımlar 820 m/min kesme hızı hariç (Şekil 6.4) diğer kesme hızlarının tamamında (Şekil 6.1Şekil 6.2 ve Şekil 6.3)WSM10 kesici takımlardan daha düşük kesme kuvvetleri olduğu tespit edilmiştir.

Her bir sabit kesme hızı değerinde 0,1 mm/rev ilerleme hızında 1 mm, 2 mm ve 3 mm kesme derinliklerinde WS10 ve WSM10 kesici takımlarla yapılan kesme işleminde kesme kuvveti değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. İlerleme hızının artması ile birlikte kesme kuvvetleri de artarak bu değerler birbirinden uzaklaşmış bütün kesme hızlarında (Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4) ve her kesme işleminde WSM10 kesici takımların WS10 kesici takımlardan daha düşük kesme kuvvetleri gösterdiği belirlenmiştir. Esas kesme kuvvetindeki bu azalmanın kesici takım kaplamasından meydana geldiği söylenebilir.

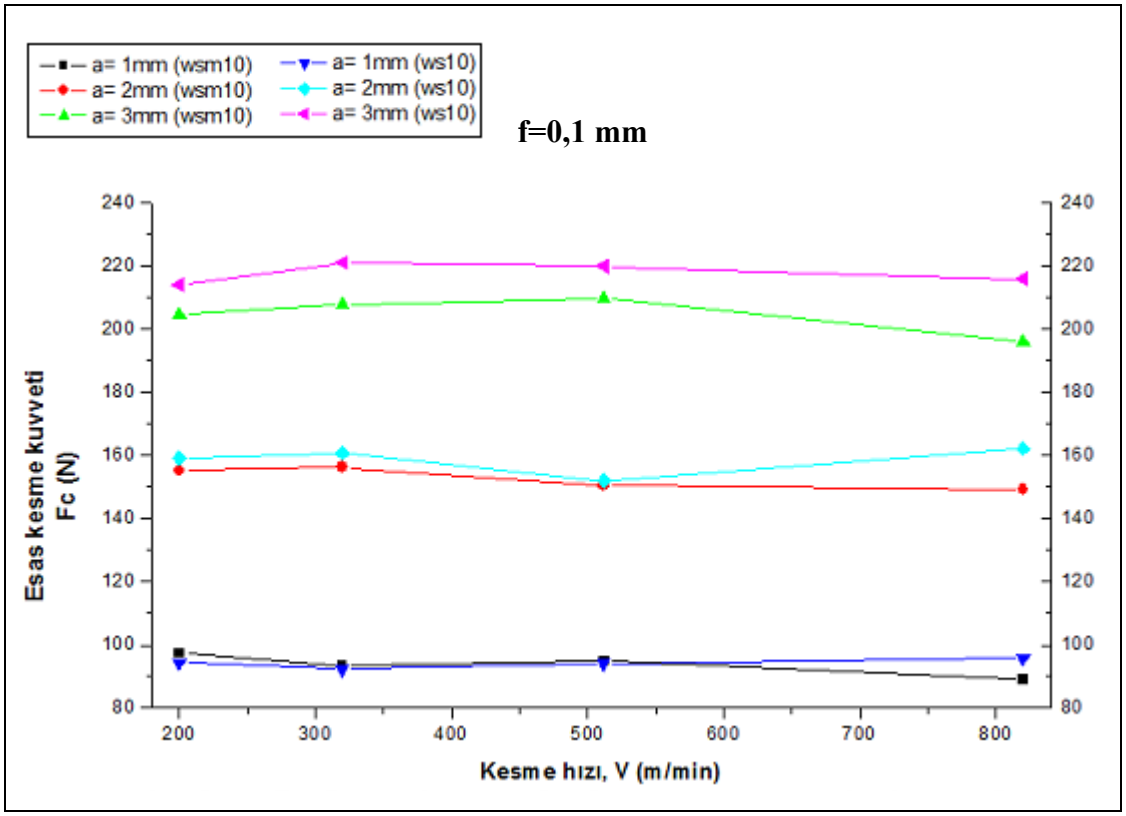
Kaplamasız kesici takımların, sürtünme katsayısının kaplamalı kesici takımlara nazaran fazla olmasından dolayı takım ile talaş arasında kaplamalı takımlara göre daha fazla sürtünme oluşmasına neden olmakta ve sürtünme katsayısı arttıkça kesme kuvvetleri yükseleceğinden her takımın sürtünme katsayısına bağlı olarak esas kesme kuvvetleri değişim göstermektedir [108].

Kesme derinliği ve ilerleme hızı arttıkça ve takım malzemesine bağlı olmaksızın kesme kuvvetlerindeki genel artış devam etmekte ve kesme derinliği ile ilerleme hızı bu kesme kuvvetlerindeki bu artışa doğrudan etki etmektedir. Bunun sebebi olarak birim zamanda kaldırılan talaş miktarındaki artış olarak açıklanabilir [24,37]. İlerlemenin artışı ile bütün kesicilerde kesme kuvvetlerinin arttığı görülmekte ve ilerleme hızı değerleri ile esas kesme kuvveti arasında artan bir ilişki olduğu görülmektedir.

Kullanılan WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile kesme hızlarının (200 m/min, 320 m/min 512 m/min, 820 m/min) ve kesme derinliklerinin her biri için (1 mm, 2 mm, 3 mm) ilerleme hızının 0,1 mm/rev'den 0,2 mm/rev'e çıkması ve daha sonra 0,2 mm/rev'den 0,3 mm/rev'e çıkması ile esas kesme kuvvetlerinde yaklaşık % 120-160 oranları arasında bir artış olduğu tespit edilmiştir.

AZ91 magnezyum alaşımının WSM10 ve WS10 kesici takımlar kullanılarak 0,1 mm/rev, 0,2 mm/rev, 0,3 mm/rev ilerleme hızlarında yapılan deneylerde, kesme hızı ve kesme

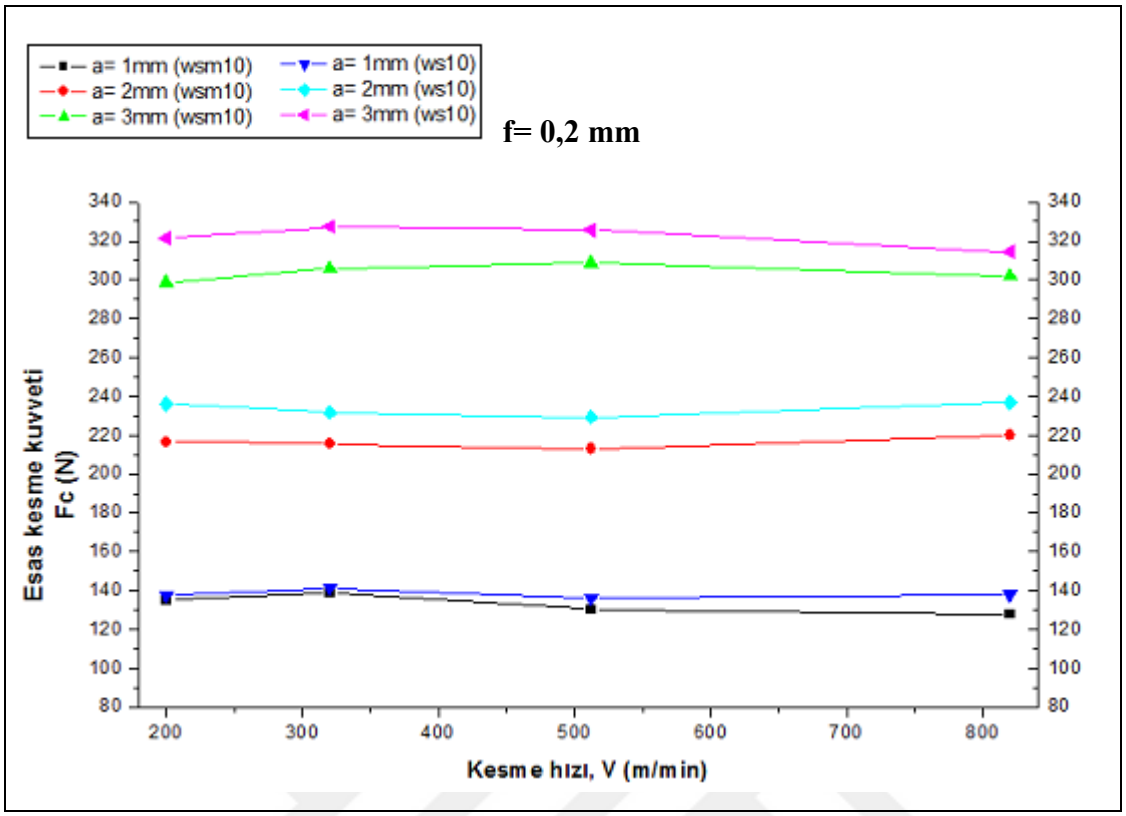
derinliğinin esas kesme kuvveti üzerindeki değişimleri Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7'de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 6.5. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 0,1 mm ilerleme hızında, kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği

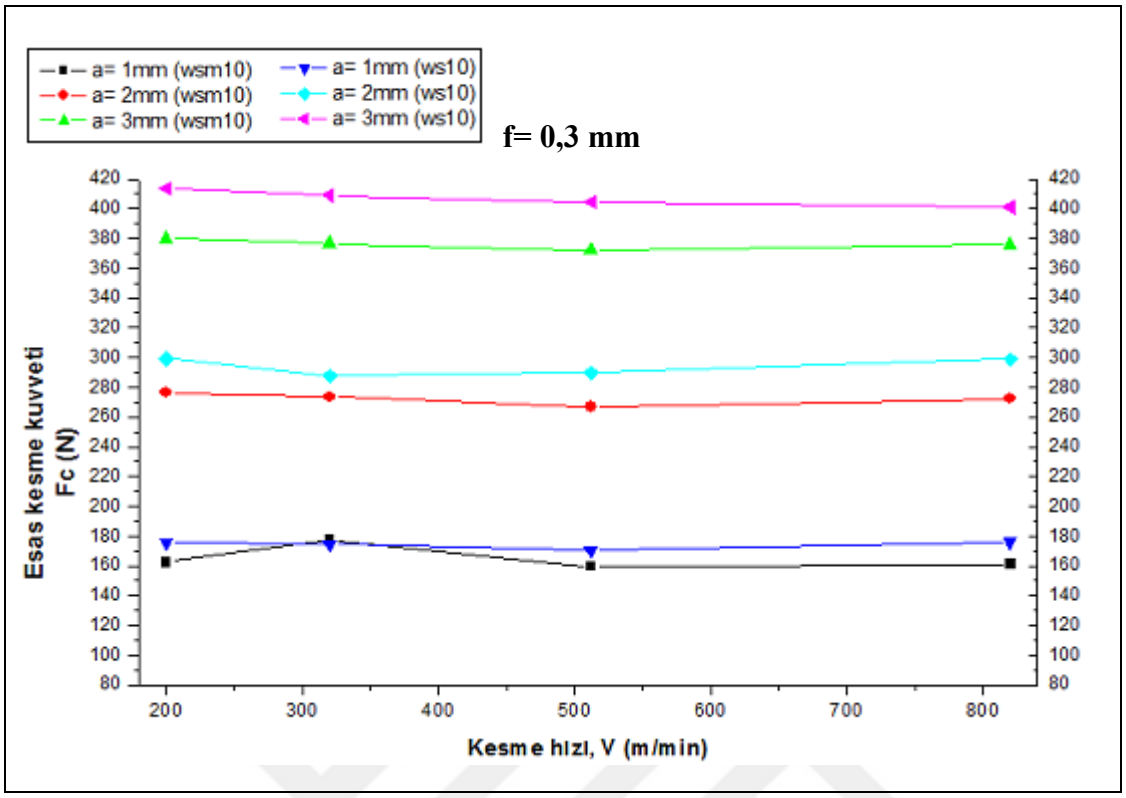
Grafiklere bakıldığında Şekil 6.5, Şekil 6.6, ve Şekil 6.7'de genel olarak kesme derinliği ve ilerleme arttığında asıl kesme kuvvetlerinin (Fc) arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte asıl kesme kuvvetlerinin azaldığı söylenebilir. İlerleme hızlarının arttırılması kesici takım aşınmasını arttırmakta ve dolayısıyla esas kesme kuvvetleri de bundan etkilenmektedir. Ortaya çıkan bu durum her iki kesici takım (WSM10 ve WS10) için de aynıdır.

Elde edilen en düşük kesme kuvvet değerleri, kesme derinliğinin en düşük olduğu 1 mm kesme derinliğinde ve WSM10 kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde 820 m/min ve 512 m/min olan en yüksek kesme hızlarında saptanmıştır. Kesme kuvvetindeki azalma miktarı kullanılan kesicinin türüne, malzeme çeşidine, çalışma koşullarına, çalışılan kesme hızı aralığına ve kesme derinliğine göre farklılık gösterebilir.



Şekil 6.6. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 0,2 mm ilerleme hızında, kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği

Grafiklerin tamamına bakıldığında Şekil 6.7 ‘de 0,3 mm/rev ilerleme hızı ve 320 m/min kesme hızı dışında, kesme hızlarının artışı ile birlikte kesme kuvvetlerinin genel olarak beklenen yönde azaldığı görülmektedir. Fakat ilerleme hızının 0,3 mm/rev ve kesme hızının 320 m/min olduğu Şekil 6.7‘de istisnai bir durum göze çarpmakta olup, esas kesme kuvvetinin beklenenin dışında arttığı görülmektedir. Bu durum basınçlı dökümden çıkan deney malzemelerinin yapısal hatalarından veya içindeki kalıntılardan (inklüzyonlar) kaynaklandığı düşünülmektedir. Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki kalıntılar (inklüzyonlar) ve malzemenin kimyasal bileşimidir [43, 44].



Şekil 6.7. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 0,3 mm ilerleme hızında, kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan esas kesme kuvvetinin grafiği

Üç farklı ilerleme hızı sonucu elde edilen ortalama esas kesme kuvveti değerleri incelendiğinde Şekil 6.5, Şekil 6.6, ve Şekil 6.7'de ilerleme değeri arttıkça esas kesme kuvvetinde artış olduğu tespit edilmiştir. 0.1 mm/rev ilerleme değerinde elde edilen en düşük esas kesme kuvveti 89,13 N, iken ilerleme hızının % 200 artırılmasıyla (0.2 mm/rev) en düşük esas kesme kuvveti yaklaşık % 150 oranında artarak 127,67 N'a ve ilerleme hızının % 300 artırılmasıyla (0.3 mm/rev) oluşan esas kesme kuvveti ise yaklaşık % 180 oranında artarak 159,53 N'a yükseldiği görülmektedir.

Kullanılan ilerleme hızı değerleri ile esas kesme kuvveti arasında ise artan bir ilişki görülmüştür. İlerleme hızı değerindeki artışa bağlı olarak, esas kesme kuvvetinde artış, beklenen bir özellik olup esas kesme kuvvetini düşürmek için ilerleme hızı değerinin azaltılması gerekmektedir [10,107].

Bu çalışmada, denenen değerler (200 m/min, 320 m/min, 512 m/min, 820 m/min) arasında kesme hızındaki artışa bağlı olarak, esas kesme kuvvet değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Esas kesme kuvvetini düşük değerde elde etmek için kesme hızının

arttırılması gerekmektedir. Esas kesme kuvvetinin, kesme hızının artışına bağlı olarak düşmesinin sebebi, akış bölgesindeki yüksek sıcaklık ve azalan temas yüzey alanıdır [80, 109].

İlerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasına bağlı olarak, talaş kesit alanı artacağından kesme kuvvetlerinin de artması beklenen bir neticedir. Kesme hızı artığında ise, sıcaklık artışıyla beraber talaş akma bölgesi (flow zone) oluşacağından talaş akışı kolaylaşmakta ve bu sebeple kesme kuvvetlerinde bir düşme meydana gelmektedir. Bu durum literatürle paralellik arz eder [10, 22, 24, 37].

İstisnai durumlar dışında grafikler incelendiğinde kesme parametrelerine bağlı olarak kesme kuvveti değişimleri üç ilerlemede de paralellik göstermekte ve kullanılan kesici takımlar arasında en düşük kesme kuvvetleri WSM10 takımlarla gerçekleştirilen kesme işlemlerinde elde edilmiştir.

WSM1O kesici takımların WS10 kesici takımlara göre esas kesme kuvvetindeki bu azalmanın kesici takım kaplamasından meydana geldiği söylenebilir. Kesici takım kaplamasının en üst katmanı TiN olduğu için takım ile malzeme arasındaki sürtünmeyi bu kaplama azaltarak kesme esnasındaki oluşan ısının takıma değil talaşa doğru transfer edilmesini sağlamış ve talaş oluşumunu kolaylaştırarak takım aşınmasını azaltmış bunların neticesinde ise esas kesme kuvveti düşmüştür [24, 37].

6.2. Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirme

AZ91 magnezyum alaşımının yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, için iki farklı kesici takımla 72 deney yapılmıştır. Her bir kesici takım ile talaş kaldırma işlemi sonucunda elde edilen işlenmiş yüzey üzerinde üç farklı bölgede ölçümler yapılmış ve aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri Çizelge 6.3 ve 6.4'de toplu halde verilmiştir.

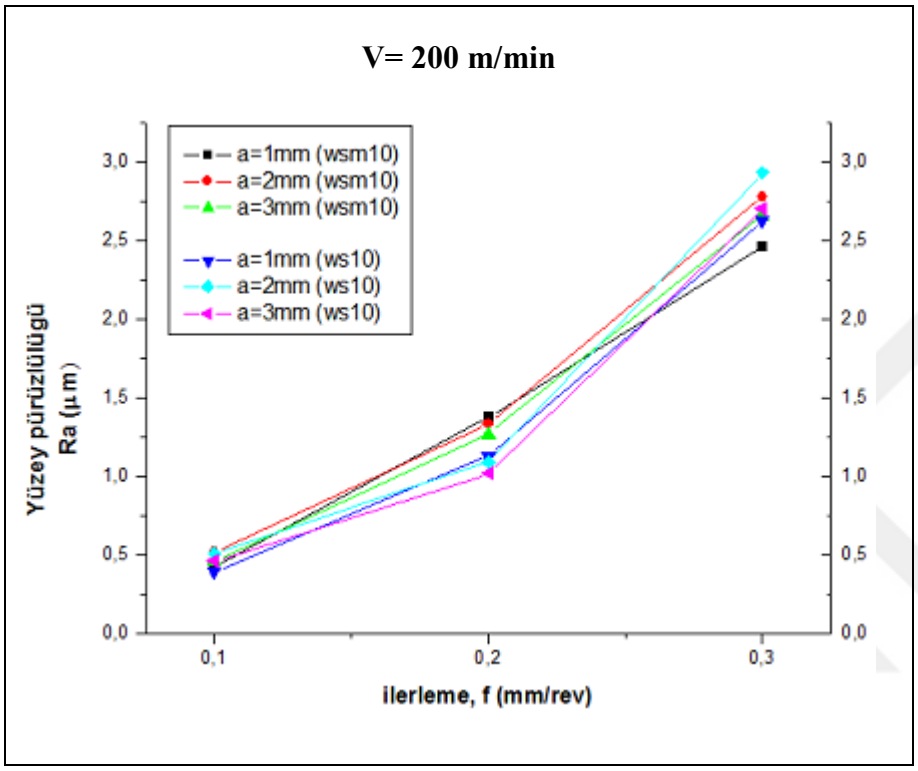
Çizelge 6.3. WSM10 kesici takımlar ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri

Deney No	Kesme Derinliği a (mm)	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme Hızı f (mm/rev)	Yüzey pürüzlülüğü (μm)			
				Ra(ort)	Ra1	Ra2	Ra3
1	1	200	0,1	0,419	0,432	0,348	0,479
2			0,2	1,377	1,342	1,388	1,401
3			0,3	2,456	2,326	2,526	2,517
4	1	320	0,1	0,359	0,389	0,353	0,336
5			0,2	1,433	1,514	1,386	1,398
6			0,3	2,689	2,637	2,67	2,76
7	1	512	0,1	0,42	0,442	0,414	0,404
8			0,2	1,121	1,111	1,145	1,106
9			0,3	2,718	2,73	2,574	2,851
10	1	820	0,1	0,479	0,484	0,491	0,462
11			0,2	1,539	1,556	1,529	1,533
12			0,3	2,405	2,408	2,381	2,426
13	2	200	0,1	0,513	0,594	0,447	0,499
14			0,2	1,332	1,311	1,373	1,312
15			0,3	2,778	2,761	2,843	2,729
16	2	320	0,1	0,535	0,538	0,488	0,579
17			0,2	1,293	1,217	1,367	1,294
18			0,3	2,651	2,855	2,487	2,61
19	2	512	0,1	0,455	0,457	0,497	0,412
20			0,2	1,08	0,951	1,097	1,191
21			0,3	2,268	2,459	2,079	2,267
22	2	820	0,1	0,714	0,674	0,629	0,838
23			0,2	1,229	1,295	1,181	1,211
24			0,3	2,776	2,783	2,758	2,786
25	3	200	0,1	0,462	0,465	0,497	0,423
26			0,2	1,267	1,171	1,178	1,453
27			0,3	2,658	2,735	2,71	2,53
28	3	320	0,1	0,51	0,456	0,513	0,561
29			0,2	1,446	1,401	1,377	1,559
30			0,3	2,721	2,823	2,513	2,828
31	3	512	0,1	0,523	0,527	0,567	0,475
32			0,2	1,477	1,448	1,441	1,541
33			0,3	3,017	3,073	3,011	2,968
34	3	820	0,1	0,492	0,513	0,521	0,442
35			0,2	0,999	1,18	0,977	0,841
36			0,3	3,098	3,148	3,183	2,963

Çizelge 6.4. WS10 kesici takımlar ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri

Deney No	Kesme Derinliği a (mm)	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme Hızı f (mm/rev)	Yüzey pürüzlülüğü (μm)			
				Ra(ort)	Ra1	Ra2	Ra3
37	1	200	0,1	0,393	0,344	0,367	0,467
38			0,2	1,129	0,936	1,189	1,261
39			0,3	2,623	2,693	2,488	2,688
40	1	320	0,1	0,509	0,596	0,448	0,482
41			0,2	1,183	1,251	1,168	1,131
42			0,3	2,332	2,118	2,429	2,448
43	1	512	0,1	0,422	0,432	0,421	0,412
44			0,2	1,074	0,969	1,241	1,011
45			0,3	2,793	2,637	2,748	2,993
46	1	820	0,1	0,421	0,445	0,409	0,408
47			0,2	0,875	0,856	0,871	0,899
48			0,3	2,389	2,309	2,666	2,192
49	2	200	0,1	0,506	0,527	0,528	0,462
50			0,2	1,091	1,126	1,113	1,033
51			0,3	2,931	2,992	2,825	2,976
52	2	320	0,1	0,469	0,535	0,425	0,448
53			0,2	1,48	1,539	1,402	1,498
54			0,3	2,63	2,527	2,566	2,798
55	2	512	0,1	0,675	0,727	0,643	0,654
56			0,2	1,465	1,495	1,33	1,57
57			0,3	2,471	2,442	2,627	2,344
58	2	820	0,1	0,591	0,625	0,622	0,525
59			0,2	1,51	1,605	1,566	1,358
60			0,3	2,607	2,534	2,665	2,622
61	3	200	0,1	0,459	0,491	0,442	0,443
62			0,2	1,016	1,045	1,064	0,94
63			0,3	2,7	2,784	2,807	2,508
64	3	320	0,1	0,6	0,517	0,645	0,637
65			0,2	1,18	1,257	1,146	1,137
66			0,3	2,973	2,912	3,053	2,955
67	3	512	0,1	0,465	0,488	0,478	0,428
68			0,2	1,056	1,172	0,919	1,077
69			0,3	2,886	2,941	2,875	2,843
70	3	820	0,1	0,432	0,463	0,486	0,348
71			0,2	1,049	1,024	1,203	0,92
72			0,3	2,422	2,368	2,374	2,524

AZ91 magnezyum alaşımının WSM10 ve WS10 kesici takımlar kullanılarak 200 m/min, 320 m/min, 512 m/min 820 m/min kesme hızlarında yapılan deneylerde, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülük (Ra) üzerindeki değişimleri Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de grafik halinde verilmiştir.



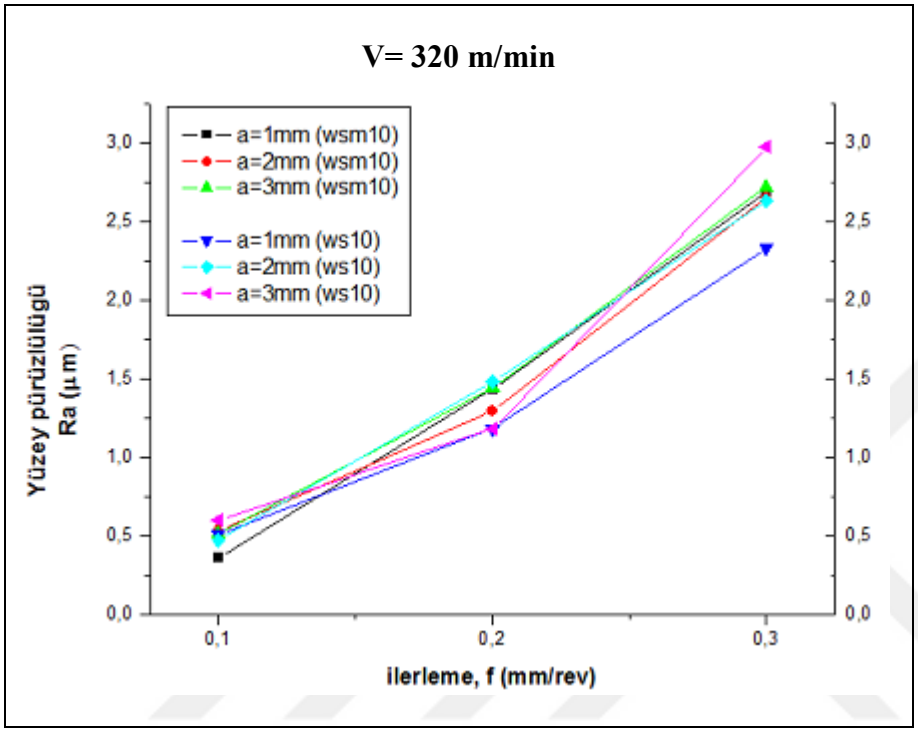
Şekil 6.8. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 200 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği

Şekil 6.8'de 200 m/min sabit kesme hızında, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) 1 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 0,393 µm iken, WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 0,419 µm olarak tespit edilmiştir.

Kesme derinliği ve ilerleme hızı % 200 artırılarak 2 mm kesme derinliğinde ve 0,2 mm/rev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde bu değerler, WS10 kesici takımla yaklaşık olarak % 275 oranında artarak 1,091 µm yükselmekte ve WSM10 kesici takımla ise yaklaşık % 325 oranında artarak 1,332 µm'ye yükseldiği görülmektedir.

En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ise kesme derinliği ve ilerleme hızının % 300 artırılmasıyla 3 mm kesme derinliğinde ve 0,3 mm/rev ilerleme hızında

WS10 kesici takım ile yaklaşık olarak % 700 artarak 2,7 µm'ye yükseldiği görülmekte iken WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 650 artarak 2,658 µm'ye yükseldiği tespit edilmiştir.



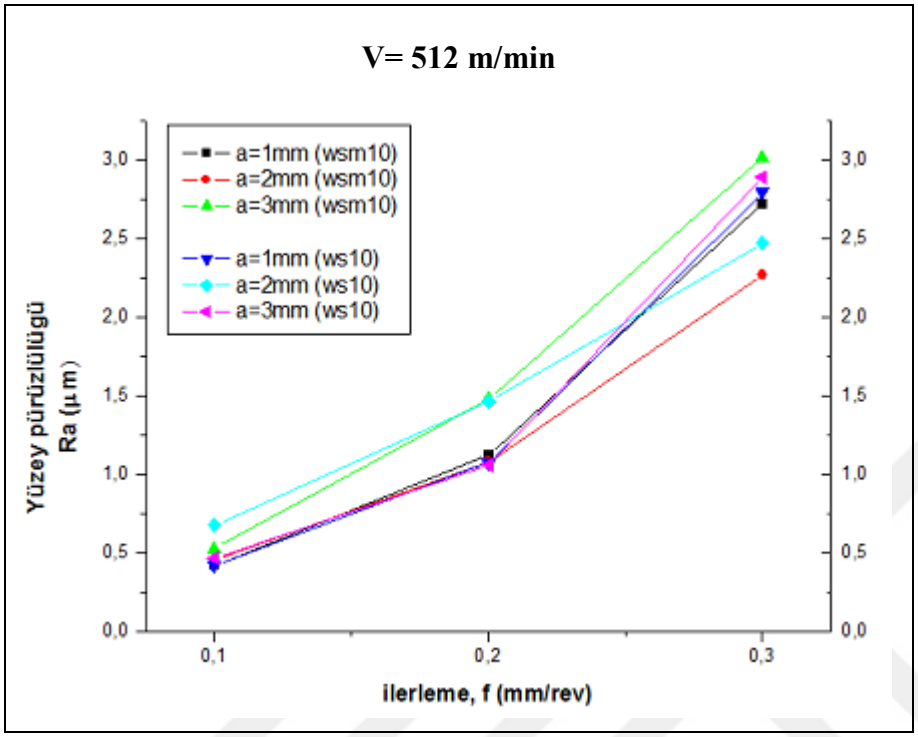
Şekil 6.9. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 320 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği

Şekil 6.9'da 320 m/min sabit kesme hızında, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) 1 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 0,509 µm iken, WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 0,359 µm olarak tespit edilmiştir.

Kesme derinliği ve ilerleme hızı % 200 artırılarak 2 mm kesme derinliğinde ve 0,2 mm/rev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde bu değerler, WS10 kesici takımla yaklaşık olarak % 300 oranında artarak 1,48µm yükselmekte ve WSM10 kesici takımla ise yaklaşık % 360 oranında artarak 1,293 µm'ye yükseldiği görülmektedir.

En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ise kesme derinliği ve ilerleme hızının % 300 artırılmasıyla 3 mm kesme derinliğinde ve 0,3 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yaklaşık olarak % 575 artarak 2,973 µm'ye yükseldiği görülmekte

iken WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde yaklaşık % 750 artarak 2,72 µm'ye yükseldiği tespit edilmiştir.



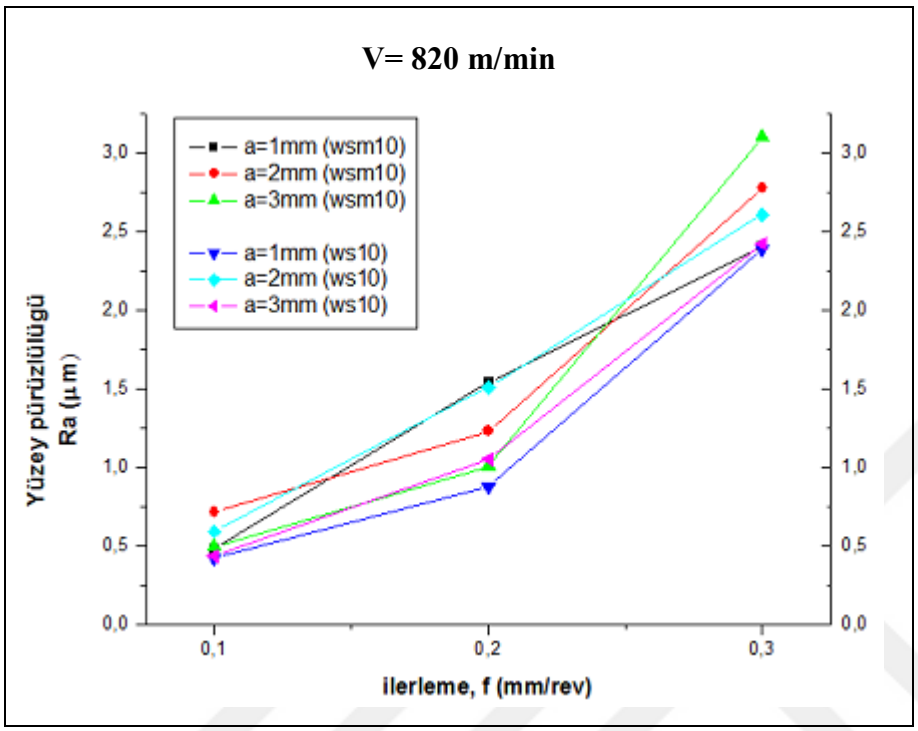
Şekil 6.10.WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 512 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği

Şekil 6.10'da 512 m/min sabit kesme hızında, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) 1 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 0,422 µm iken, WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 0,42 µm olarak tespit edilmiştir.

Kesme derinliği ve ilerleme hızı % 200 artırılarak 2 mm kesme derinliğinde ve 0,2 mm/rev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde bu değerler, WS10 kesici takımla yaklaşık olarak % 350 oranında artarak 1,465 µm yükselmekte ve WSM10 kesici takımla ise yaklaşık % 250 oranında artarak 1,08 µm'ye yükseldiği görülmektedir.

En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ise kesme derinliği ve ilerleme hızının % 300 artırılmasıyla 3 mm kesme derinliğinde ve 0,3 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yaklaşık olarak % 680 artarak 2,886 µm'ye yükseldiği görülmekte

iken WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 720 artarak 3,017 µm'ye yükseldiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.11.WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 820 m/min kesme hızında, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği

Şekil 6.11'de 820 m/min sabit kesme hızında, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) 1 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 0,421 µm iken, WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde 0,479 µm olarak tespit edilmiştir.

Kesme derinliği ve ilerleme hızı % 200 artırılarak 2 mm kesme derinliğinde ve 0,2 mm/rev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde bu değerler, WS10 kesici takımla yaklaşık olarak % 360 oranında artarak 1,51 µm yükselmekte ve WSM10 kesici takımla ise yaklaşık % 250 oranında artarak 1,229 µm'ye yükseldiği görülmektedir.

En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ise kesme derinliği ve ilerleme hızının % 300 artırılmasıyla 3 mm kesme derinliğinde ve 0,3 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile yaklaşık olarak % 575 artarak 2,422 µm'ye yükseldiği görülmekte

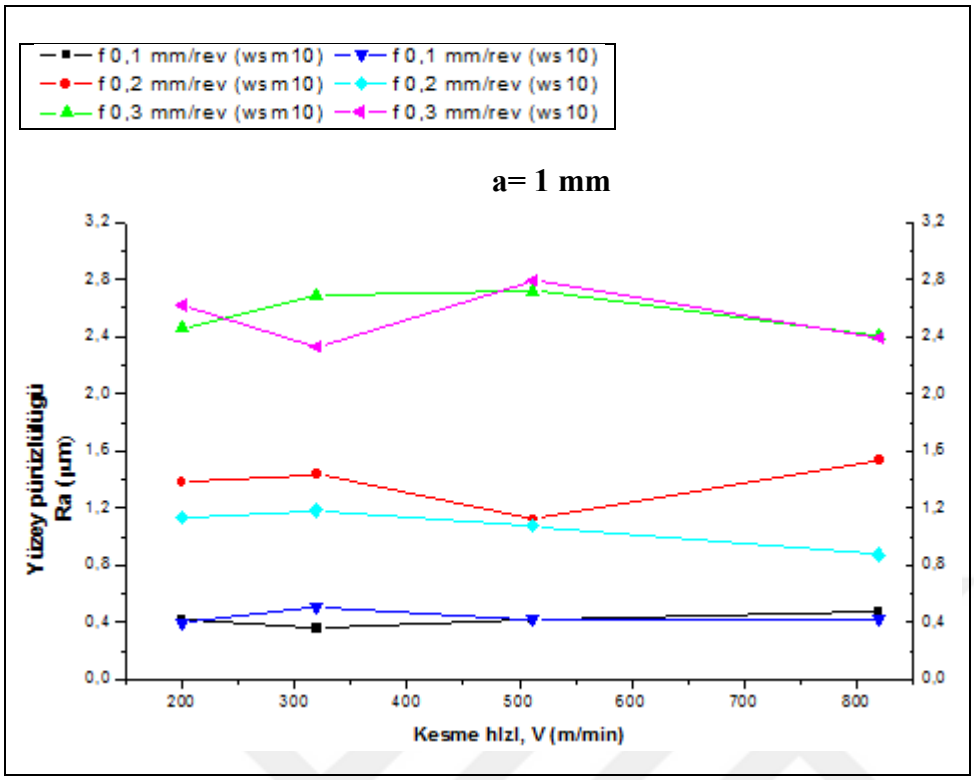
iken WSM10 kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise yaklaşık % 650 artarak 3,098 μm'ye yükseldiği tespit edilmiştir.

Grafiklerin tamamı incelendiğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) Şekil 6.9'da 320 m/min kesme hızında 0,1 mm/rev ilerlemede 1 mm kesme derinliğinde WSM10 kesici takım ile gerçekleştirilen kesme işleminde 0,359 μm olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) ise Şekil 6.11'de 820 m/min kesme hızında 0,3 mm/rev ilerlemede 3 mm kesme derinliğinde yine WSM10 kesici takım ile gerçekleştirilen kesme işleminde 3,098 μm olarak ölçülmüştür.

İdeal yüzey pürüzlülüğü 200 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile 0,393 μm olarak, 320 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde 0,1 mm/rev ilerleme hızında WSM10 kesici takım ile 0,359 μm olarak, 512 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde 0,1 mm/rev ilerleme hızında WSM10 kesici takım ile 0,42 μm olarak ve 820 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile 0,421 μm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4 'de verilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ile Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de ki grafikler incelendiğinde grafiklerin tamamı için değerlendirme yapılacak olursa WS10 kesici takımların WSM10 kesici takımlara nazaran özellikle düşük ilerleme hızlarında daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) sergilediği tespit edilmiştir. İlerleme hızının artırılmasıyla yüzey pürüzlülüğündeki değişimin arttığı açıkça görülmekte ve bu artış literatürdeki çalışmalarla paralellik göstermektedir [107, 108]. Kesme derinliğindeki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün kötüleşmesi ise artan talaş kesit alanına ve artan talaş yüküne atfedilmiştir [110].

AZ91 magnezyum alaşımının WSM10 ve WS10 kesici takımlar kullanılarak 1 mm, 2 mm, 3 mm kesme derinliklerinde yapılan deneylerde, kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülük (Ra) üzerindeki değişimleri Şekil 6.12, Şekil 6.13, ve Şekil 6.14'de grafik halinde verilmiştir.

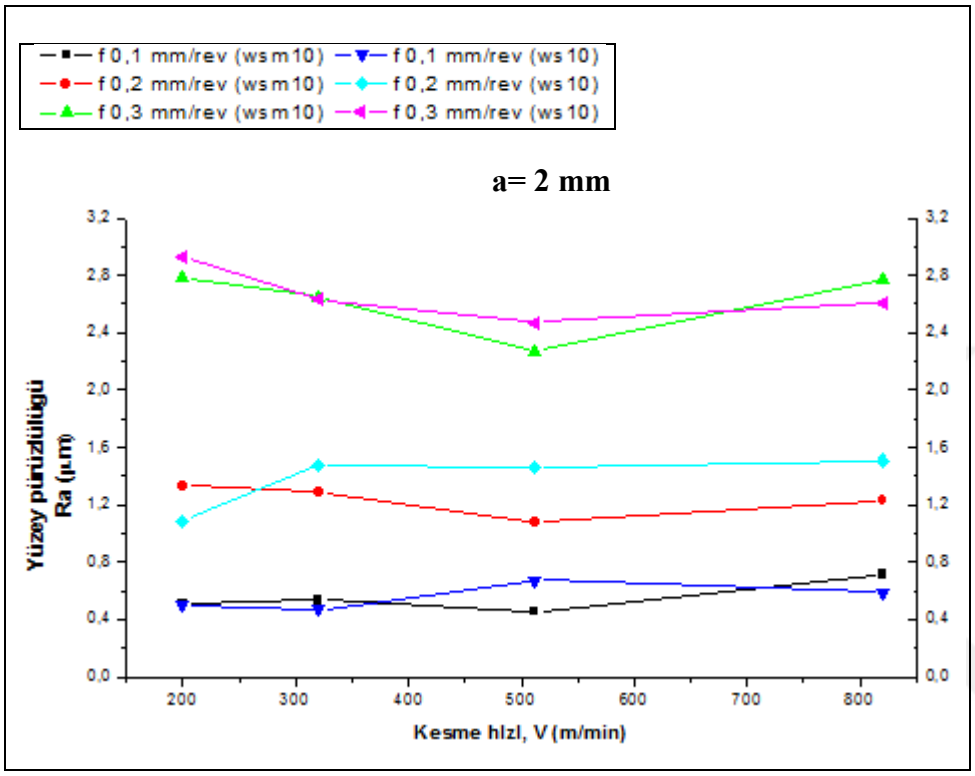


Şekil 6.12. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 1 mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği

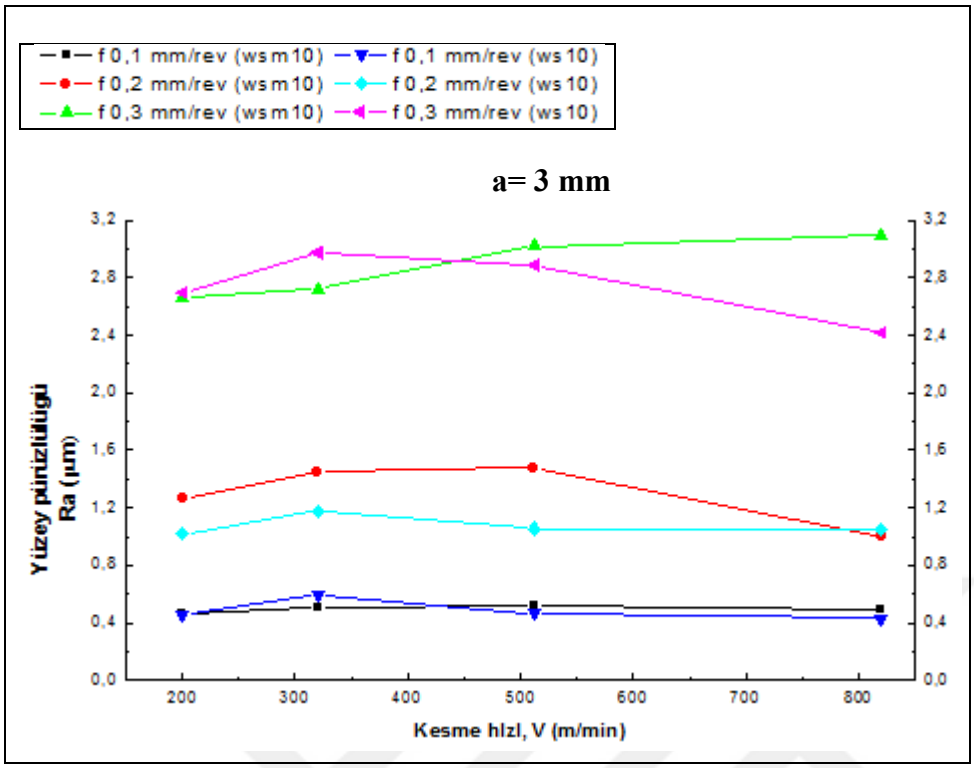
Grafikler incelendiğinde Şekil 6.12 Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'de genel olarak ilerleme hızının artan değerlerinde ortalama yüzey pürüzlülüğünün (Ra) arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte ortalama yüzey pürüzlülük değerindeki değişimin inişli çıkışlı olduğu görülmektedir. İlerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasına bağlı olarak, talaş kesit alanı artacağından, ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin artması beklenen bir neticedir. İlerleme hızlarının arttırılması, kesici takım aşınmasını da arttırmakta ve dolayısıyla yüzey pürüzlülük değerleri de bundan etkilenmektedir. Ortaya çıkan bu durum her iki kesici takım (WSM10 ve WS10) için de aynıdır [107, 108, 110].

Elde edilen en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri, talaş kesitinin en fazla olduğu 3 mm kesme derinliğinde WSM10 kesici takımlar ile 820 m/min kesme hızında 3,098 µm iken, WS10 kesici takımlar ile 320 m/min kesme hızında 2,97 µm olarak saptanmıştır. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri ise 1 mm kesme derinliğinde WSM10 kesici takımlar ile 320 m/min kesme hızında 0,359 µm iken, WS10 kesici takımlar ile 200 m/min kesme hızında 0,393 µm olarak tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, 200 m/min ile 820 m/min kesme hızı aralığında, kesme hızlarındaki değişime bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin inişli çıkışlı bir grafik gösterdiği

görülmüştür. Her bir ilerleme değerinde kesme hızındaki değişimlerin malzeme yüzey pürüzlülük değerlerini çok küçük oranlarda etkilediği ve bu etkinin imalat işlemlerinde dikkate alınmayacak değerlerde olduğu saptanmıştır.



Şekil 6.13. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 2 mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği



Şekil 6.14. WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile 3 mm kesme derinliğinde, kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiği

Üç farklı kesme derinliği sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde Şekil 6.12, Şekil 6.13, ve Şekil 6.14'de kesme derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. 1 mm kesme derinliğinde elde edilen en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 320 m/min kesme hızında 0,359 µm iken, kesme derinliğinin % 200 artırılmasıyla (2 mm) en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 512 m/min kesme hızında % 125 oranında artarak 0,455 µm'ye yükselmiştir. Kesme derinliğinin % 300 artırılmasıyla (3 mm) oluşan en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 820 m/min kesme hızında yaklaşık % 120 oranında artarak 0,432 µm'ye yükseldiği görülmektedir.

Kullanılan ilerleme hızı değerleri ile ortalama yüzey pürüzlülük değerleri arasında ise artan bir ilişki görülmüştür. Kesme hızı değişimlerinin ise, çalışmada kullanılan kesme hızı aralıklarında malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin dikkate alınmayacak kadar küçük değerlerde olduğu anlaşılmaktadır.

Grafikler incelendiğinde, ilerleme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişimler üç ilerlemede de paralellik göstermektedir. Kullanılan kesici

takımlar arasında en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri WSM10 takımlarla gerçekleştirilen kesme işlemlerinde elde edilmiştir. Grafiklerin tamamı incelendiğinde ise WS10 kesici takımlarla yapılan kesme işleminde ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

AZ91 magnezyum alaşımından üretilmiş silindirik deney malzemelerin kuru işleme şartlarında tornalanması ile WSM10 ve WS10 kesici takımlarla dört farklı kesme hızında (200 m/min, 320 m/min, 512 m/min, 820 m/min),üç farklı ilerleme hızında(0,1 mm/rev, 0,2 mm/rev, 0,3 mm/rev) ve üç farklı kesme derinliğinde (1 mm, 2 mm, 3 mm) kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin nasıl değiştiği deneysel olarak araştırılmıştır. Kullanılan kesme parametrelerinin, esas kesme kuvvetleri (Fc) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla deneyler yapılarak deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile en uygun kesme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar;

- Kaplamasız kesici takımların, sürtünme katsayısının kaplamalı kesici takımlara nazaran fazla olmasından dolayı takım ile talaş arasında kaplamalı takımlara göre daha fazla sürtünme oluşmasına neden olmakta ve sürtünme katsayısı arttıkça kesme kuvvetleri yükseleceğinden her takımın sürtünme katsayısına bağlı olarak esas kesme kuvvetleri değişim göstermektedir

- WSM10 kesici takım ve WS10 kesici takım üzerinde yapılan çalışmalar, takım kaplamasının, 0,1 mm/rev ve kesme derinliğinin 1 mm olduğu durumlarda tüm kesme hızlarında birbirine çok yakın kesme kuvvet değerleri görülmektedir. Bu değerler 89,13-97,31 N arasında değişiklik göstermekte olup ilerleme hızının ve kesme derinliğinin artmasıyla kaplamalı kesici takımların kaplamasız kesici takımlara nazaran talaş akışını kolaylaştırarak kesme kuvvetlerini düşürdüğünü göstermektedir.

- Yapılan deneylerde esas kesme kuvveti açısından en iyi kesme hızı 820 m/min, en iyi ilerleme ise 0,1 mm/rev olarak belirlenmiştir.

- Kullanılan WSM10 ve WS10 kesici takımlar ile kesme hızlarının (200 m/min, 320 m/min, 512 m/min, 820 m/min) ve kesme derinliklerinin her biri için (1 mm, 2 mm, 3 mm) ilerleme hızının 0,1 mm/rev'den 0,2 mm/rev'e çıkması ve daha sonra 0,2 mm/rev'den 0,3 mm/rev'e çıkması ile esas kesme kuvvetlerinde yaklaşık % 120-160 oranları arasında bir artış olduğu tespit edilmiştir.

- WSM10 kesici takımlar ile talaş kaldırmada oluşan esas kesme kuvveti değerlerinin WS10 kesici takımlara göre, kesme derinliğinin sabit tutulduğu durumlarda % 1-10 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

- Her bir sabit kesme hızı değerinde 0,1 mm/rev ilerleme hızlarında 1 mm, 2 mm ve 3 mm kesme derinliklerinde WSM10 ve WS10 kesici takımlarla yapılan kesme işleminde

esas kesme kuvveti değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. İlerleme hızının artması ile birlikte esas kesme kuvvetlerinde ki artış ile birlikte WSM10 ve WS10 kesici takımların kesme kuvveti arasındaki farkta artarak bu değerler birbirinden uzaklaşmış bütün kesme hızlarında (Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4) ve her kesme işleminde WSM10 kesici takımların WS10 kesici takımlardan daha düşük esas kesme kuvvetleri gösterdiği gözlenmiştir. Esas kesme kuvvetindeki bu azalmanın kesici takım kaplamasından meydana geldiği söylenebilir. Bu durum literatürde yapılan çalışmalar da kesici takım kaplamasının kesme kuvvetini doğrudan etkilediğini göstermektedir.

- Fr, Ff, Fc kesme kuvvetleri içinde en büyük kesme kuvvetinin esas kesme kuvveti olan Fc (Fz) yönünde oluştuğu anlaşılmıştır.

- Radyal kuvvet ile ilerleme kuvvetinin dağılımları kesici takım yarıçapına (1,2 mm) bağlı olarak farklılık göstermekte olup bu farklılık deneylerde kullanılan kesici takım yarıçap değerinin altında olan ve kesme derinliğinin 1 mm olduğu durumlarda radyal kuvvet ilerleme kuvvetinden büyük çıkmıştır, kesme derinliğinin 2 mm ve 3 mm olduğu durumlarda ise ilerleme kuvveti radyal kuvvetten büyük çıkmıştır. Radyal kuvvetin ilerleme kuvvetinden büyük çıkmasının nedeni kesme derinliğinin kesici takım yarıçapından küçük olmasına bağlıdır.

- Esas kesme kuvvetini belirleyen en önemli etken ilerleme hızı tarafından oluşturulan talaş kesit alandır. Dolayısıyla ilerleme hızındaki artış ile beraber kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir durumdur. İlerleme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetinde artış eğilimi olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni artan ilerleme hızına bağlı olan artan talaş kesitine bağlıdır. Esas kesme kuvvetini düşürmek için ilerleme hızı değerinin azaltılması gerekmektedir. Bu durum literatürlerle de paralellik arz etmektedir.

- Kullanılan WSM10 ve WS10 kesici takımlar kıyaslandığında ilerleme hızının 0,1 mm/rev ve kesme derinliğinin 1 mm olduğu düşük ilerleme ve kesme derinliklerinde WS10 kesici takımlar 820 m/min kesme hızı hariç (Şekil 6.4) diğer kesme hızlarının tamamında (Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3) WSM10 kesici takımlardan daha düşük kesme kuvvetleri göstermekte iken diğer tüm ilerleme hızlarında, kesme derinliklerinde ve kesme hızlarında WSM10 kesici takımlar WS10 kesici takımlardan daha düşük kesme kuvveti sergilediği göze çarpmaktadır.

- Esas kesme kuvveti grafiklerinin tamamına bakıldığında Şekil 6.7 ‘de 0,3 mm/rev ilerleme hızı ve 320 m/min kesme hızı dışında, kesme hızlarının artışı ile birlikte kesme kuvvetlerinin genel olarak beklenen yönde azaldığı görülmektedir. Fakat ilerleme hızının 0,3 mm/rev ve kesme hızının 320 m/min olduğu Şekil 6.7‘de istisnai bir durum göze çarpmakta olup, esas kesme kuvvetinin beklenenin dışında arttığı görülmektedir. Bu durum basınçlı dökümden çıkan deney malzemelerinin yapısal hatalarından veya

içindeki kalıntılardan (inklüzyonlar) kaynaklandığı düşünülmekte ve literatürle paralellik arz etmektedir.

- İstisnai durumlar dışında grafiklere bakıldığında (Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7) kesme parametrelerine bağlı olarak esas kesme kuvveti değişimleri üç ilerlemede de paralellik göstermekte ve kullanılan kesici takımlar arasında en düşük kesme kuvvetleri WSM10 kesici takımlarla gerçekleştirilen kesme işlemlerinde elde edilmiştir. WS10 takıma göre WSM10 takımla yapılan kesme işleminde esas kesme kuvvetindeki bu azalmanın kesici takım kaplamasından meydana geldiği anlaşılmaktadır.

- Kesme hızları sabit tutularak yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, artan ilerleme hızlarına ve kesme derinliklerine bağlı olarak esas kesme kuvvetlerinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu eğilim iki farklı kesici olan WSM10 ve WS10 kesici takımlar içinde aynıdır.

- Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu tespit edilerek bütün kesme hızlarında ilerleme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür.

- Ortalama yüzey pürüzlülük (Ra)grafiklerinde tüm kesme hızlarında ve 1 mm kesme derinliklerinde ilerleme hızının 0,1 mm/rev'den 0,2 mm/rev'e çıkması ile elde edilen yüzeylerin ortalama pürüzlülük değeri yaklaşık % 200-350 arasında bir artış göstermiştir. Yine ilerleme hızının 0,2 mm/rev'den 0,3 mm/rev'e çıkması ile yüzey pürüzlülüğünde yaklaşık %150-300 arasında bir artış olduğu tespit edilmiştir.

- En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) Şekil 6.9'da 320 m/min kesme hızında 0,1 mm/rev ilerlemede 1 mm kesme derinliğinde WSM10 kesici takım ile gerçekleştirilen kesme işleminde 0,359 μm olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) ise Şekil 6.11'de 820 m/min kesme hızında 0,3 mm/rev ilerlemede 3 mm kesme derinliğinde yine WSM10 kesici takım ile gerçekleştirilen kesme işleminde 3,098 μm olarak ölçülmüştür.

- İdeal ortalama yüzey pürüzlülüğü 200 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde 0,1 mm/rev ilerleme hızındaWS10 kesici takım ile 0,393 μm olarak, 320 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde 0,1 mm/rev ilerleme hızında WSM10 kesici takım ile 0,359 μm olarak, 512 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde 0,1 mm/rev ilerleme hızında WSM10 kesici takım ile 0,42 μm olarak ve 820 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde 0,1 mm/rev ilerleme hızında WS10 kesici takım ile 0,421 μm olarak ölçülmüştür.

- Kullanılan ilerleme hızı değerleri ile ortalama yüzey pürüzlülük değerleri arasında ise artan bir ilişki görülmüştür. Kesme hızı değişimlerinin ise, çalışmada kullanılan kesme hızı aralıklarında malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin dikkate alınmayacak kadar küçük değerlerde olduğu anlaşılmaktadır.

- Genel olarak kaplamasız kesici takımların kaplamalı kesici takımlara nazaran özellikle düşük ilerleme hızlarında daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri sergilediği tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışma sonuçlarına bağlı olarak ve literatürden farklı olmak üzere aşağıdaki çalışmaların yapılması önerilmektedir;

- Magnezyum alaşımları için malzeme katkı oranlarının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri tespit edilebilir.
- En iyi esas kesme kuvveti değerinin 820 m/min kesme hızında elde edildiği göz önünde bulundurulursa, daha büyük kesme hızlarında nasıl bir yol izleyeceği araştırılabilir.
- Takım ömrünün kesme ortamından nasıl etkilendiğinin tespiti için kuru kesme şartları yerine, kesme bölgesine soğutma sıvısı veya soğutulmuş basınçlı hava verilerek kesme işlemi yapılabilir.
- Takım geometrilerinin magnezyumun işlenmesine etkileri araştırılabilir.
- Talaş kaldırma sırasında açığa çıkan ısının kesme bölgesinde oluşturduğu sıcaklık ölçülerek kesici takım aşınma mekanizması araştırılabilir.
- Numune sayısına bağlı olarak, bu araştırmada işlenebilirlik kriterlerinden sadece esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. Numune sayısını arttırmak suretiyle takım aşınması, takım ömrü, talaş oluşumu, BUE eğilimi gibi kriterlerinde belirlenmesi yönünde çalışmalar yapılabilir.
- Enerji tüketimini daha da azaltabilmek adına 200 m/min kesme hızından daha düşük değerler için deneysel çalışmalar gerçekleştirilerek yüzey pürüzlülük değerine etkileri incelenebilir.
- Farklı takım geometrisi ve farklı takım sınıfı kullanılarak kesme parametrelerinin optimizasyonu için kriterler belirlenebilir.
- Talaş kaldırma esnasında meydana gelen titreşimlerde kesme kuvvetleri ile beraber ölçülebilir ve titreşimlerin etkisi araştırılabilir.

❖ Daha fazla talaş kaldırmak suretiyle BUE eğilimine bakılabilir.

KAYNAKLAR

1. Mavi, A., (2008). "Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** 1-22.

2. Suryanarayana, C., (2001). "Mechanical alloying and milling", *Progress in Materials Science,* 46: 1-184,

3. Karagöl , T., (2008). "Al 7075 Alaşım Malzemesinin Dlc Kaplamalı Kesici Takımlarla Cnc Torna Tezgâhında İşlenebilirliği", Yüksek Lisans Tezi, ***Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** 1-10.

4. Güral, A., Erdoğan M., Şeker U., Korkut İ., (2000). "Çift Fazlı Çeliklerde Martenzit Hacim Oranı ve Parçacık Boyutunun Kesici Uçta Aşınma ve Sıvanma (BUE) Oluşma Eğilimleri Üzerine Etkileri". ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,*** 13(3)(741).

5. Çini, A., (2010). "İnconel 718 Malzemesinin Tornalama İşleminde Yüksek Basınçlı Jet Soğutmanın Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi",Y. Lisans Tezi, ***A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,*** 57.

6. Mert, F., (2012). "Magnezyum Alaşımlarının İşlenmesi", **3.** ***Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu,*** 04-05 Ekim, Ankara, Türkiye 282-288.

7. Mills ,B., Redford , A.H., (1983). "Metals; Machinability" ***London and New York and New York***, NY, USA P: 1-174.

8. Avedesian, M. M. and Baker, H., (1999). "ASM Speciality Handbook, Magnesium and Magnesium Alloys", ASM International Materials Park, United States of America.

9. Kandemir, K., Can, A.Ç., (2003). "Otomotiv Endüstrisi İçin Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Potansiyeli", ***Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi,*** 9 (1) 37-45.

10. Şeker, U., (1997). "Takım Tasarımı Ders Notları", ***Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,*** Ankara, 1-133.

11. Korkut, I., Kasap, M., Çifçi, I., Seker, U., (2004). "Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel", ***Materials and Design,*** 25, pp. 303–305.

12. İşbilir, F., (2006). "Takım Ömrünün Sebep-Sonuç Diyagramları İle Açıklanması, Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Ömrüne Etkili Faktörlerin Analizi", Yüksek lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Estitüsü,*** Mayıs.

13. Kuşdemir, H., (2008). "AZ91 Magnezyum Alaşımının Korozyon Davranışları Üzerine İlave Alaşım Elementlerinin Etkisi", Yüksek lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Eylül.

14. Mert, F., Özdemir, A., Karataş, Ç., (2010). "Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Döküm Yöntemiyle Kalıplanabilirliğinin Değerlendirilmesi", ***Journal of Polytechnic***, Vol: 13 No: 3 pp. 165-176.

15. Jabbari Taleghani, M.A., Torralba, J.M., (2013). "Hot deformation behavior and workability characteristics of AZ91 magnesium alloy powder compacts-A study using processing map", ***Materials Science & Engineering*** A 580 : 142–149.

16. Ünal, M., (2008). "Magnezyum Alaşımlarının Döküm Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ocak.

17. Mohd, H.R., Norhamidi, M., Bakar, A. B., (2009). "A Review Of Workability Of Wrought Magnesium Alloys", ***Advanced Manufacturing Research Group,*** Malaysia.

18. Kaçar, İ., Öztürk, F., (2006). "Magnezyum Alaşımlarının Şekillendirilmesindeki Son Gelişmeler", ***TİMAK- Tasarım İmalat Analiz Kongresi*** 26-28 Nisan, Balıkesir.

19. Tönshoff, H.K., Winkler, J., (1997). "The influence of tool coatings in machining of magnesium", ***1997 Surface & Coatings Technology,*** Germany, pp. 610-616.

20. Sur, G., (2008). "Karma Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler Ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 101-117.

21. Coromant, S., (1994). "Modern metal cutting – A practical handbook", English Edition, ***Sandvik Coromant***, Sweden, 1-3: 35-120.

22. Trent, E.M., (1989). "Metal cutting", ***Butterworths Press, London,*** 1-171.

23. Shaw, M.C., (1984). "Mechanics Of Orthogonal Cutting", ***Metal Cutting Principles,Oxford University Pres***, London, 1-12.

24. Sahin, Y., (2003). "Talaş Kaldırma Prensipleri 1", ***Nobel Yayın Dagıtım***, Ankara, 125-150.

25. Groover , M.P., (1996). "Fundamentals Of Modern Manufacturing - Materials, Processes And System", ***Prentice-Hall Inc.***, New Jersey, 220-639.

26. Kocak, H., (2011). "Ggg 90 Küresel Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Yüzey Pürüzlülüğü Ve Takım Aşınması Açısından Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 1-104.

27. Mills, B., Redford, A.H., (1983). "Machinability Of Engineering Materials", ***Applied Science Puplishers Ltd,*** U.K., 107-108.

28. Kılıçkap, E., (2003). "Al Si7 Mg2/Sicp Metal Matriksli Kompozitlerin Talaşlı İşlenmesinin Araştırılması", Doktora Tezi, ***Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Elazığ, 53-56,

29. Özses, B., (2002). "Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik isleme kosullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü,*** Ankara, 6-25.

30. Bayrak, M., (2002). "Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karsılastırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü,*** Ankara, 1-35.

31. Hamamcı, M., (2012). "Yüksek Hızlı İşlemede Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi Açısından Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, ***Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Kayseri, 52-59.

32. Shaw, M.C., (1989). "Metal cutting principles", ***Oxford University Press,*** Oxford,1-9.

33. Gadelmavla, E.S., Koura, M.M., (2002). "Roughness parameter", ***Journal Of Material Processing Technology,*** 123: 133-145.

34. Oxley, P.L.B., (1989). "Mechanics of Machining: An Analytical Approach to Assessing Machinability", ***Halsted Press/John Wiley & Sons,*** New York, 7-228.

35. Şeker, U., Kurt, A. and Çiftçi, İ., (2002). "Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion", ***Materials and Design***, 23: 355-360.

36. De Garmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A., (1997). "Materials and processes in manufacturing", ***Prentice-Hall Inc***., New Jersey, 214–652.

37. Çakır, M.C., (2006). "Modern Talaşlı İmalatın Esasları", ***Nobel Yayın Dağıtım,*** Ankara,1-268.

38. Işık, Y., (2009). "Kesici Takım Teknolojisi" ***Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu***, 76.

39. Çevik, E., (2006). "Tornalama İşleminde Kesici Takım Ömrünün İyileştirilmesine Yönelik Alternatif Bir Yaklaşım", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 4-29.

40. Köksal, S, (2000). "Face milling of nickel-based superalloys with coated and uncoated carbide tools", ***PhD thesis, School of Engineering Coventry University***, England, Coventry, 1-60.

41. Lin, S.C., Lui, T.S., Chen, L.H. Song, J.M., (2002). "Effect of pearlite on thevibrationfracture behavior of spheriodal graphite cast irons under resonant conditions", ***Metallurgical and Materials Transactions,*** 33(A):223-230.

42. Kopaci, J., Bahor, M., (1999). **"**Interaction Of The Technological History Of A Workpiece Material And The Machining Parameters On The Desired Quality Of The Surface Roughness Of A Product", ***Journal Of Materials Processing Technology***, 92: 381-387,

43. Griffin, R.D., Li, H.J., Eleftheriou, E., Bates, C.E., (2008). "Machinability of Gray Cast Iron*,* ***American Foundry Society Report,*** Alabama, 1-20.

44. Günay, M., (2009). "Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş AL-Sİ/SiC_p Kompozitlerin Mekanik ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü****,* Ankara, 106-127.

45. Web:http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Magnezyum_ve_Magnezyum_Alasimlari.pdf, adresinden 22 Eylül 2013' alınmıştır.

46. Külekçi, M.K., (2007). "Magnesium and its alloys applications in automotive industry," ***International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, vol.39, pp. 851-865.

47. Mert, F., Özdemir, A., (2011). "Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümü ve Otomotivdeki Uygulamaları", ***6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11),*** 16-18 May, Elazığ, Turkey sayfa 1-55.

48. Society of Manufacturing Engineers, (1983). "Forces at the Cutting Tool", *Tooling and Manufacturing Engineers Handbook,* Vol.1, pp.11-19.

49. Norsk Hydro Datenbank , NHMg.db (ext.), Norsk Hydro Research Centre Porsgrunn, (1996).

50. Machining of Magnesium, Datasheet 254 Web, Magnesium Elektron, United Kingdom, (2009).

51. Metals Handbook, 9th Ed. Vol. 16, USA, (1989).

52. Kramer, A., , (2002). "Magnesium It's Alloys and Compounds", U.S Geological Survey Open-File Report, U.S.A, syf. 300-341.

53. Vanlı, A.S., (2006). "Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümünde İşlem Faktörlerinin Araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** İstanbul.

54. Atalay, O., (2006). "Magnezyum Ve Alaşımlarının Konstrüksiyon Malzemesi Olarak Otomotivde Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*****,** İstanbul,1-81.

55. Web: www.magnesium.com, adresinden 11 Ekim 2013'de alınmıştır.

56. Davies, G., (2003). "Magnesium materials for automotive bodies," *Elsevier*, pp. 91.

57. Froes, F.H., Eliezer, D. and Aghion, E., (1998). "The Science, Technology and Applications of Magnesium", ***Journal of the Minerals, Metals and Materials Society***, vol.5, pp. 30-34.

58. Mordike, B.L., Ebert, T., (2001). "Magnesium Properties-applications-potential," ***Materials Science&Engineering***, vol.302, pp. 37-45.

59. Zeytin, H. K., (1999). "Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği", Marmara Araştırma Merkezi, Gebze, Kocaeli.

60. Beffort, O., Hausmann, C., (1999). ''Das Leichtmetal Magnesium und seine egierungen''*, EMPA Mg seminar*, Thun, 15-22.

61. Vogel, M., (2002). "Mikrostruktur und Kriechverhalten von Magnesium Druckgusslegierungen im System Mg-Zn-Al-Ca", *Doktors , Max-Planck-Institut für Metallforschung*, Stutgart, 6-20.

62. Öztürk, F,. Kaçar, İ,. (2012). "Magnezyum Alaşımları ve Kullanım Alanlarının İncelenmesi", ***Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi****,* Cilt 1 Sayı 1, 12-20.

63. Friedrich, H., Schumann, S., (2001). "Research for a new age of magnesium in the automotive industry", ***Journal of Materials Processing Technology***, 117: 276-281.

64. Lindemann, A., Schmidt, J., Todte, M., Zeuner, T., (2002). "Thermal analytical investigations of the magnesium alloys AM 60 and AZ 91 including the melting range", ***Thermochimica Acta,*** 382 : 269–275.

65. Kainer, K., (2003). Magnesium Alloys and Technology, Institute for Materials Research, Center for Magnesium Technology, GKSS Research Center Geesthacht GmbH, Geesthacht, ISBN 3-527-30256-5, pp. 1, 23, 45, 56, 72, 90, 106, 218, 226, Ocak.

66. Gaines, L., Cuenca ,R., Stodolsky, F., WU, S., ,(1996). "Potential Automotive Technology Development", *Automotive Technology Development Conference, Conference Paper,* syf. 1-7, Kasım.

67. Barber, L.P., (2004). "Characterization of the Solidification Behavior and Resultant Microstructures of Magnesium-Aluminum Alloys", A Thesis of Master, ***Worcester Polytechnic Institute***, Worcester, 10-46.

68. Erdoğan, M., (2001). Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Demir Dışı Alaşımlar**,** ***Nobel Yayın Dağıtım***, Ankara.

69. ASM Specialty Handbook, Magnesium and Magnesium Alloys, ASM International Handbook Committee, United States of America, syf. 305- 415, 1999.

70. Ünver , G., (2011). "Az91 Magnezyum Alaşımına Ti Ve Cr Alaşım Elementlerinin İlavesinin Özelliklere Etkisinin İncelenmesi", Yüksek lisans Tezi, ***Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** 1-40.

71. Cizek, L., Greger, M., Dobrzanski, L.A., Juricka, I., Kocich, R., Pawlica, L., Tanski, T., (2006). "Mechanical Properties Of Magnesium Alloy AZ91 At Elevated Temperature", ***Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering***, 18 : 203-206.

72. King, J.F., (2006). "Technology of Magnesium and Magnesium Alloys", Magnesium Technology, 219-225.

73. Zhang, Z., (2000). "Development of Magnesium-Based Alloys for Elevated Temperature Applications", Doctor of These, ***Faculte Des Sciences Et De Genie Universite,*** Quebec-Canada, 2-75.

74. Wang, Q.D., Chen, W., Zeng, X., Lu, Y., Ding, W., Zhu, Y., Xu, X., (2001). "Effects of Ca addition on the microstructure and mechanical properties of AZ91 magnesiumalloy", ***Journal Of Materials Science***, 36: 3035-3040.

75. Mordike, B.L., Kainer, K.U., (1998). "Magnesium Alloys And Their Applications", ***Werkstoff-Informationsgeselllschaft***, Frankfurt, 34-47, 125-132, 289-294, 477- 482.

76. Wang, Q., Lu, Y., Zeng, X., Ding, W., Zhu, Y., Li, Q., Jie, L., (1999). "Study on the fluidity of AZ91+xRE magnesium alloy" ***Materials Science and Engineering***, 271: 109-115.

77. Lin, M.C., Tsai, C.Y, Uan, J.Y., (2007). "Converting hcp Mg-Al-Zn alloy into bcc Mg- Li-Al-Zn alloy by Electrolytic deposition and diffusion of reduced lithium atoms in a molten salt electrolyte LiCl-KCl", ***Scripta Materialia***, 56: 597-600.

78. Kang, D.H., Park, S.S., Oh, S., Kim, N.J., (2007). "Effect of nano-particles on the creep resistance of Mg-Sn based alloys", ***Materials Science & Engineering***, 449 (451): 318-321.

79. Cizek, L., Hanus, A., Sozanska, M., Tanski, T., Pawlica, L., (2007). "Structure Characteristics of Magnesium Alloys With Admixture of Aluminium, Silicon and Zirconium Acta Metallurgica Slovaca", 13: 531-538.

80. Çakır, M.C., (1999). "Modern Talaşlı imalatın Esasları", ***Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı,*** Bursa,

81. Davis, J. R., (1998). Edited By, Metals Handbook. 558-570 s. Second Edition. ASM International. ISBN: 0-87170-654-7.

82. Aghion, E., Bronfin, B., Eliezer, D., (2001). "The Role of Magnesium Industry in Protecting the Environment", ***Journal of Materials Processing Technology***, (117), 381-385.

83. Doege, E., Dröder, K., (2001). "Sheet Metal Forming of Magnesium Wrought Alloys Formability and Process Technology" , ***Journal of Materials Processing Technology***, 115, 14-19.

84. Hsiang, H., Liang, Kuo J., (2003). "An Investigation on the Hot Extrusion Process of Magnesium Alloy Sheet", ***Journal of Materials Processing Technology,*** 140, 6-12.

85. Çıtak, K., (2004). "Magnezyum alaşımları seçim ve kullanım kriterleri", ***Metal Dünyası Dergisi,*** Eylül, syf. 10-20.

86. Smith, W. F., Çeviren Kınıkoğlu, N.G., (2001). "Malzeme Bilimi ve Mühendisliği", *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, syf. 525-526.

87. Czerwinski, F., (2007). Magnesium Injection Molding, Springer.

88. Eliezer, D., Aghion, E., Froes, F.H., (1998). "Magnesium Science, Technology and Applications", ***Advanced Performance Materials***, 201-212.

89. Danışman, E,. (2003). "Basınçlı Döküm Yöntemi ile Magnezyum Alaşımlarından Otomobil Parçaları Üretimi," Yüksek Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*****,** İstanbul.

90. Watarai, H., (2006)."Trend of Research and Development for Magnesium Alloys", ***Science and Technology Trends***, 18: 84-97.

91. Blawert, C., Hort, N., Kainer, K.U., (2004). "Automotive Applications of Magnesium and Its Alloys", *Trans. Indian Inst. Met.* Vol. 57: 397-408.

92. Fent, A., (2005). "Aluminium/magnesium composite crankcase", BMW Landshut Plant report, Germany, syf. 5-20.

93. Simonds, G., (2009). "Using Mg to Reduce Weight in Automotive Power-Train Applications," *66th Annual Magnesium Conference*, California-USA,

94. Barth, A., (2004). "Mg application in the 7G Tronic gear," *61st Annual Magnesium Conference,* New Orleans-USA, pp.81-86.

95. Li, N., (2002). "SF6 and magnesium in automotive ındustry''. ***Int'l Conference on SF6,*** San Diego, CA, Nov 21-22,

96. Dobrzanski, L.A., Tanski, T., Cizek, L., and Brytan, Z., (2007). "Structure and properties of magnesium cast alloys'', ***Journal of Materials Processing Technology*****,** (192-193): 567-574.

97. Magnesium in Space, Magnesium Elektron, Elektron Wrought Alloys, 44, 2006

98. Moscovitch N., (2005)."Magnesium Castings for the Aviation Industry", *IMA Conference*, Berlin, May

99. Web: http://www.autozine.org/html/BMW/3er.html#R6, 1997-2005, Aralık (2007), adresinden 25 Ekim 2013' de alınmıştır.

100. Wendt, A., Weiß, K., (2004). "Gießsimulation für Magnesium-Leichtbauteile in der Flugzeugindustrie", Virtual Materials Processing, , Bayreuth, Germany, 02-03.11.

101. Web: http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/105t.htm, adresinden 5 kasım 2013'de alınmıştır.

102. Kainer, K.U., (2003). "Magnesium-Alloys and Technologies", Translation: Frank Kaiser, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA., p:152.

103. Anık, S., (1993). "Malzeme Bilgisi ve Muayenesi", *Birsen Yayınevi,* İstanbul, 4. Baskı, p: 339-340,

104. DTI, U. K., (2004). "Magnesium alloys and processing technologies for lightweight transport applications", Global watch mission report.

105. Froats, A., Aune, T. K., Hawke, D., Unsworth, W., Hillis, J., (1987). "Corrosion of Magnesium and Magnesium Alloys", **Corrosion,** ***Metals Handbook***, 13, 9th ed.

106. Majumdar, J.D., Manna, I., (2002). "A Mathematical Model to Predict the Thermal History and Microstructure Developed in Laser Surface Alloying", ***Laser. Eng***., 20, pp: 171-190.

107. Gökkaya, H,. (2006). "Aa5052 Alaşımının İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi" ***Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 295-301.

108. Koçak, H., (2011). "Ggg 90 Küresel Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınması Açısından Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*****,** 1-80.

109. Özçatalbaş, Y,. (1998). "Düşük Alaşımlı Çelikte Yığıntı Talaş Oluşumunun İşleme Özelliklerine Etkisi", ***8. Uluslararası Makine Tasarım İmalat Kongresi*** ODTÜ.

110. Gürbüz, H., Kafkas, F., Şeker, U., "Kesici Takıma Farklı Yöntemle Uygulanmış Kaplamaların Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması", ***Hacettepe üniversitesi, Gazi üniversitesi*** Ankara.

EKLER

EK-1. AZ91D Magnezyum alaşımının kimyasal bileşenleri (%)

XI'AN YUECHEN METAL PRODUCTS CO., LTD.
NO. 2, XINKE ROAD, XINCHENG HI-TECH INDUSTRY PARK, XI'AN 710043, SHAANXI, CHINA
TEL/FAX.: +86 29 82636374; Mobile: +86 189 6693 5266; E-mail: salesmanager@cnmagalloy.com;

TEST CERTIFICATE

No.: XYM/TC121126-01
Date: Nov. 25, 2012

Customer: **FORMAL ALUMINIUM INDUSTRY AND COMMERCE A.C.**

1. Chemical **Analysis**

Name of Product: **AZ91D Magnesium bar, Dia. 92×300mm**
Chemical **Composition (%)**

Heat No.	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Mg
523	8.8	0.68	0.18	0.003	0.017	0.0021	0.00061	Balance
Requirement	8.5-9.5	0.45-0.90	0.17-0.40	Max 0.004	Max. 0.08	Max. 0.025	Max. 0.001	Balance

2. Surface **quality, macrostructure and dimension checks are qualified.**

Signed by: 西安悦晨金属制品有限公司
XI'AN YUECHEN METAL PRODUCTS CO., LTD.

EK-2. Kaplamalı kesici takımlar ile 200 m/min kesme hızında, 3 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev 0,2 mm/rev 0,3 mm/rev ilerleme hızlarında oluşan talaş şekilleri



Resim 2.1. 0,1 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli



Resim 2.2. 0,2 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli



Resim 2.3. 0,3 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli

EK-3. Kaplamalı kesici takımlar ile 320 m/min kesme hızında, 3 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev 0,2 mm/rev 0,3 mm/rev ilerleme hızlarında oluşan talaş şekilleri



Resim 3.1. 0,1 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli



Resim 3.2. 0,2 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli



Resim 3.3. 0,3 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli

EK-4. Kaplamalı kesici takımlar ile 512 m/min kesme hızında, 3 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev 0,2 mm/rev 0,3 mm/rev ilerleme hızlarında oluşan talaş şekilleri



Resim 4.1. 0,1 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli



Resim 4.2. 0,2 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli



Resim 4.3. 0,3 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli

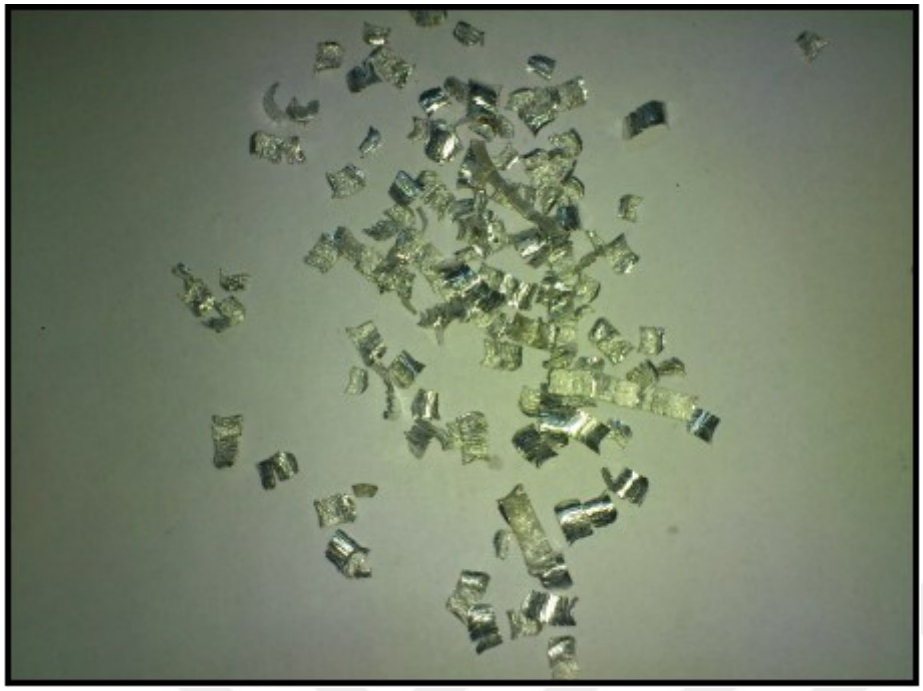
EK-5. Kaplamalı kesici takımlar ile 820 m/min kesme hızında, 3 mm kesme derinliğinde ve 0,1 mm/rev 0,2 mm/rev 0,3 mm/rev ilerleme hızlarında oluşan talaşların resmi



Resim 5.1. 0,1 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli



Resim 5.2. 0,2 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli



Resim 5.3. 0,3 mm/rev ilerleme hızında oluşan talaşın şekli

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MULLAAHMETOĞLU, Faruk
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.08.1983/ ELBİSTAN
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (544) 258 85 58
e-mail : farukmulla@hotmail.com.com

Eğitim Derecesi	**Okul/Proğram**	**Mezuniyet yılı**
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/İleri Teknolojiler	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/Talaşlı Üretim Öğrt.	2009
Lise	Elbistan Endüstri Meslek Lisesi	2002

İş Deneyimi, Yıl	**Çalıştığı Yer**	**Görev**
2008-2009	ER Makine Sanayi	Teknik Ressam
2009-2012	Gazi Meslek Yüksek Okulu	Öğretim görevlisi
2009-2013	Atatürk Meslek Yüksek Okulu	Öğretim görevlisi
2011-2013	G.Ü Teknik Eğitim Fak.	Öğretim görevlisi
2013-2014	G.Ü Ostim Meslek Yüksek Okulu	Öğretim görevlisi
2013-Halen	A.S.O 2. ve 3. OSB METES	Sınav Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, Yüzme, Kültür turları yapma, Kitap okuma