



**AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN FARKLI SOĞUTMA
ORTAMLARINDA İNCELENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Erdal ÇELİK

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa GÜNAY**

**AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN FARKLI
SOĞUTMA ORTAMLARINDA İNCELENMESİ**

Erdal ÇELİK

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa GÜNAY**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ağustos 2023**

Erdal Çelik tarafından hazırlanan “AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN FARKLI SOĞUTMA ORTAMLARINDA İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 31/08/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Nafiz YAŞAR (DPÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Erdal ÇELİK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN FARKLI SOĞUTMA ORTAMLARINDA İNCELENMESİ

Erdal ÇELİK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

Ağustos 2023, 94 sayfa

Bu çalışma, AA7075 alüminyum alaşımının işlenebilirliğini artırmak amacıyla farklı soğutma ortamlarının etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. AA7075 alaşımı, yüksek mukavemet ve hafiflik özellikleri nedeniyle birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Ancak, bu alaşımın yüksek kesme hızlarında işlenmesi zor olup, uygun soğutma stratejileri ile işlenebilirliğini artırmak önemlidir. Bu çalışma kapsamında, kuru ve ıslak (MQL) olmak üzere iki farklı soğutma ortamında AA7075 alaşımının işlenmesinde kesme parametrelerinin etkileri incelenmiştir. İşlenebilirlik değerlendirmeleri için yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, enerji tüketimi ve talaş morfolojisi analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, farklı soğutma ortamlarının işleme performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Kuru işlemede, genel olarak ıslak işleme ortamına kıyasla daha yüksek yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. En düşük takım aşınması MQL ortamında 350 m/dak kesme hızı, 0.2 mm/dev ilerleme hızında görülmüştür. MQL yöntemiyle elde edilen talaşlar daha küçük ve kıvrımlı bir yapıya sahip olup, bu durum enerji tüketimini olumlu yönde etkilemiştir. MQL

uygulamasý, kesici takım aşınmasının ve toplam enerji tüketiminin azalmasına katkı sağlayarak, sürdürülebilir işleme için vazgeçilmez yöntemlerden birisi olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Alüminyum Alaşımaları, AA 7075, İşlenebilirlik, Takım Aşınması, Enerji Tüketimi, MQL

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE INVESTIGATION OF MACHINABILITY OF AA7075 ALUMINUM ALLOY IN DIFFERENT COOLING ENVIRONMENTS

ERDAL ÇELİK

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. MUSTAFA GÜNAY

August 2023, 94 pages

This study aims to investigate the effect of different cooling environments to improve the machinability of AA7075 aluminum alloy. AA7075 alloy is used in many industrial applications due to its high strength and light weight properties. However, this alloy is difficult to machine at high cutting speeds and it is important to improve its machinability with appropriate cooling strategies. In this study, the effects of cutting parameters on the machining of AA7075 alloy in two different cooling environments, dry and wet (MQL), were investigated. Surface roughness, tool wear, energy consumption and chip morphology were analyzed for machinability evaluations. The data obtained reveals the effects of different cooling environments on machining performance. In dry machining, higher surface roughness was generally achieved compared to the wet machining environment. The lowest tool wear was observed in the MQL environment at a cutting speed of 350 m/min and a feed rate of 0.2 mm/rev. The chips obtained with the MQL method have a smaller and curved structure, which has a positive effect on energy consumption.

MQL application has been determined as one of the indispensable methods for sustainable machining by contributing to the reduction of cutting tool wear and total energy consumption.

Keyword : Aluminum Alloys, AA 7075, Machinability, Tool Wear, Energy Consumption, MQL

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamlanmasında emeği geçen herkese içtenlikle teşekkür etmek isterim. Tez sürecimde desteklerini esirgemeyen, öncelikle, her zaman yanımda olan ve sevgi dolu destekleriyle beni motive eden sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim. Annem ve babamın sürekli teővikleri sayesinde, bu çalıőmayı başarıyla tamamlamak için gerekli olan enerji ve kararlılığı buldum.

Eőim Nurgöl elik, hayatımın en büyük destekçisi ve en yakın arkadaőıdır. Sabrı, anlayıőı ve özverisi sayesinde bu yoğun süreçte daima yanımda oldu. Onun sayesinde zorlu zamanları aőmak daha da kolay hale geldi.

Tez çalıőmam boyunca yön gösterici rol üstlenen sayın hocam ve danıőmanım Prof. Dr. Mustafa Günay'a en derin teőekkürlerimi sunarım. Sadece bilgi ve uzmanlığıyla değil, aynı zamanda motive edici yaklaőımı ve yapıcı eleőtirileriyle de çalıőmamın kalitesini arttırdı.

Ayrıca, bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde katkıda bulunan tüm öğretim üyelerine ve destek veren Karabük Üniversitesi'ne teşekkür etmek istiyorum. Sağladıkları imkânlar sayesinde araőtirmalarımı sürdürebildim.

Son olarak, tüm sevdiklerime ve dostlarıma teşekkür ederim. Sizlerin moral dolu sözleri ve destekleyici tutumu, bu süreci daha da anlamlı kıldı.

Hepinize minnettarım.

Saygılarımla,

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	13
TEMEL KAVRAMLAR.....	13
3.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI.....	13
3.1.1. Döküm Alüminyum Alaşımları	16
3.1.2. Dövme Alüminyum Alaşımları.....	17
3.1.3. AA7075 Alüminyum Alaşımının Özellikleri.....	18
3.2. TORNALAMA.....	20
3.3. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ.....	23
3.3.1. Dik Kesme	24
3.3.2 Eğik Kesme.....	25
3.3.3. Talaş Türleri.....	25
3.4. TAKIM AŞINMASI VE TAKIM ÖMRÜ	28

3.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	35
3.5.1 Tornalama İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri	36
3.5.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler	36
3.5.3. Kesici Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	37
3.6. KESME SIVILARI.....	38
3.6.1. Kesme Sıvılarının Sınıflandırılması.....	39
3.6.2. Kesme Sıvılarının İnsan Sağlığına Etkisi	40
3.6.3. Minimum Miktarda Yağlama Yöntemi	43
BÖLÜM 4	46
MATERYAL VE YÖNTEM	46
4.1. İŞ PARÇASI VE TAKIM TEZGÂHI	47
4.2. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU.....	48
4.3. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA SİSTEMİ.....	49
4.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI	50
4.5. TAKIM AŞINMASININ ÖLÇÜLMESİ.....	50
4.6. KESME PARAMETRELERİ VE DENEY TASARIMI	51
BÖLÜM 5	52
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	52
5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	52
5.2. KESİCİ TAKIM AŞINMASI.....	59
5.3. ENERJİ TÜKETİMİ.....	77
5.4. TALAŞ MORFOLOJİSİ	79
BÖLÜM 6	87
SONUÇ VE ÖNERİLER	87
6.1. SONUÇLAR.....	87
6.2. ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çeşitli tornalama operasyonları.	20
Şekil 3.2. İşleme sırasında kullanılan parametreler.	21
Şekil 3.3. Talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kesitin görüntüsü.	24
Şekil 3.4. İki boyutlu görüntüde ortogonal kesme.	25
Şekil 3.5. Eğik kesme geometrisi.	25
Şekil 3.6. Kesintili talaş, Sürekli talaş, Yığma kenarlı sürekli talaş ve Yarı kesintili talaş gösterilen talaş tipleri	26
Şekil 3.7. (a) Birbirinin üzerinden kayan paralel serisi şeklinde talaş oluşumu, (b) plakalardan biri, kayma şekil değişimini göstermek için ayrılmıştır ve (c) kayma şekil değiştirme üçgeni.	27
Şekil 3.8. Tornalama işlemi sırasında çeşitli malzemelerden çıkan talaş türleri ve talaş ısı dağılımı	28
Şekil 3.9. Aşırı serbest yüzey aşınması.	29
Şekil 3.10. Plastik deformasyon.	30
Şekil 3.11. Krater aşınması.	30
Şekil 3.12. Plastik deformasyon (Çökme).	31
Şekil 3.13. Tanecik kopması.	32
Şekil 3.14. Talaş Yığılması.	33
Şekil 3.15. Kenarda çentiklenme aşınması.	34
Şekil 3.16. Termal çatlaklar.	34
Şekil 3.17. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili önemli parametreler.	35
Şekil 3.18. Kesme sıvılarının sınıflandırılması.	40
Şekil 3.19. MQL'nin dıştan ve içten püskürtülmesinin şematik gösterimi.	43

Şekil 3.20. Harici MQL sistem nozülü.	44
Şekil 3.21. Metal işlemede metal işleme sıvısı maliyetleri	45
Şekil 4.1. Deney numunesinin boyutları.	47
Şekil 4.2. Kullanılan takım tezgâhı.	48
Şekil 4.3. Kesici takım geometrisi.	48
Şekil 4.4. Kullanılan takım tutucu özellikleri.	49
Şekil 4.5. Werte StN 15 MQL sistemi ve nozul kısmı.	50
Şekil 4.6. Deney şeması.	51
Şekil 5.1. Kuru işleme yüzey pürüzlülük değerleri.	52
Şekil 5.2. MQL işleme yüzey pürüzlülük değerleri.	53
Şekil 5.3. Kuru ve ıslak işleme yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması.	53
Şekil 5.4. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (Kuru, $V=350$ m/dk, $f=0.40$ mm/dev). ...	55
Şekil 5.5. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (Kuru, $V=350$ m/dk, $f=0.40$ mm/dev). ..	55
Şekil 5.6. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (Kuru, $V=350$ m/dk, $f=0.40$ mm/dev). ..	56
Şekil 5.7. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (Kuru, $V=350$ m/dk, $f=0.40$ mm/dev). ...	56
Şekil 5.8 İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (MQL, $V=350$ m/dk, $f=0.40$ mm/dev).	57
Şekil 5.9. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (MQL, $V=350$ m/dk, $f=0.40$ mm/dev).	57
Şekil 5.10. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (MQL, $V=350$ m/dk, $f=0.40$ mm/dev)..	58
Şekil 5.11. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (MQL, $V=350$ m/dk, $f=0.40$ mm/dev)..	58
Şekil 5.12. Kesici takımların takım yolu sonucunda gözlemlenen aşınmalar (kuru ortam).	60
Şekil 5.13. Kesici takımların takım yolu sonucunda gözlemlenen aşınmalar (ıslak MQL ortam).	61
Şekil 5. 14. Kuru ortamda işlemede aşınma miktarları.	62
Şekil 5. 15. MQL ortamda işlemede aşınma miktarları.	63

Şekil 5.16. Kuru işlemde takım 1 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.....	63
Şekil 5.17. Kuru işlemde takım 1 için SEM görüntüsü (1000x).....	64
Şekil 5.18. Takım 1 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.....	65
Şekil 5.19. Kuru işlemde, 1 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).	65
Şekil 5.20. Kuru işlemde takım 1 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.....	66
Şekil 5.21. Kuru işlemde takım 2 için SEM görüntüsü (1000x).....	66
Şekil 5.22. Takım 2 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.....	67
Şekil 5.23. Kuru işlemde, 2 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).	67
Şekil 5.24. Kuru işlemde takım 3 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.....	68
Şekil 5.25. Kuru işlemde takım 3 için SEM görüntüsü (1000x).....	68
Şekil 5.26. Takım 3 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.....	69
Şekil 5.27. Kuru işlemde, 3 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).	69
Şekil 5.28. MQL işlemde takım 4 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.....	70
Şekil 5.29. MQL işlemde takım 4 için SEM cihazında görüntüsü (1000x).....	70
Şekil 5.30. Takım 4 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.....	71
Şekil 5.31. MQL işlemde, 4 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).....	72
Şekil 5.32. MQL işlemde takım 5 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.....	72
Şekil 5.33. MQL işlemde takım 5 için SEM görüntüsü (1000x).	73
Şekil 5.34. Takım 5 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.....	74
Şekil 5.35. MQL işlemde, 5 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).....	74
Şekil 5.36. MQL işlemde takım 6 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.....	75

Şekil 5.37. MQL işlemde takım 6 için SEM görüntüsü (1000x).	75
Şekil 5.38. Takım 6 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.	76
Şekil 5.39. MQL işlemde, 5 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).	76
Şekil 5.40. Kuru işlemde f'ye göre enerji tüketimi grafiği.	77
Şekil 5.41. MQL işlemde f'ye göre enerji tüketimi grafiği.	78
Şekil 5.42. Takım 1 ile kuru kesmede oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x.	80
Şekil 5.43. Takım 2 ile kuru kesmede oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b)	81
Şekil 5.44. Takım 3 ile kuru kesmede oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x.	82
Şekil 5.45. Takım 4 ile MQL ortamda oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x.	83
Şekil 5.46. Takım 5 ile MQL ortamda oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x.	84
Şekil 5.47. Takım 6 ile MQL ortamda oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x.	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Faklı koşullarda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.	5
Çizelge 3.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri.	13
Çizelge 3.2. Alüminyumun imalat yöntemine göre mukavemet özellikleri,	14
Çizelge 3.3. Alüminyumun başlıca özelliklerinin farklı metallerle karşılaştırılması. 15	
Çizelge 3.4. Alüminyum 7075-T6 Kimyasal Bileşimi	18
Çizelge 4.1. Deney numunesinin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.	47
Çizelge 4.2. İşleme parametreleri.....	51
Çizelge 5. 1. Takım 1, üzerindeki elementlerin oranları.....	64
Çizelge 5.2. Takım 2, üzerindeki elementlerin oranları.....	67
Çizelge 5.3. Takım 3, üzerindeki elementlerin oranları.....	69
Çizelge 5.4. Takım 4, üzerindeki elementlerin oranları.....	71
Çizelge 5.5. Takım 5, üzerindeki elementlerin oranları.....	73
Çizelge 5.6. Takım 6, üzerindeki elementlerin oranları.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Cr	: Krom
Si	: Silisyum
Mg	: Magnezyum
O	: Oksijen
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Ti	: Titanyum
μm	: Mikrometre
db	: Desibel
F	: Kuvvet
V	: Kesme Hızı
f	: İlerleme Miktarı
Ra	: Yüzey Pürüzlülüğü
Mpa	: Çekme Dayanımı
W/mK	: Termal iletkenlik
W	: Watt (Enerji)
Φ	: Kayma Düzlem Açısı

KISALTMALAR

DRY : Kuru Ortam

MQL : Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)

CNC : Bilgisayarlı Sayısal Kontrol

HSS : High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)

DoE : Design of Experiment (Deney Tasarımı)

TAM : Termal Destekli İşleme

BUE : Built-up Edge (Yığılma Kenar Oluşumu)

PVD : Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Salınımı)

CVD : Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Salınımı)

EDS : Energy Dispersive Spectrometry (Enerji Dağılım Spektrometresi)

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çelikten sonra günümüz endüstrisinde en yaygın kullanılan malzemeler, alüminyum alaşımlarıdır. Bu alaşımların tercih edilme nedenleri arasında yüksek dayanım/ağırlık oranları, iyi korozyon ve yorulma direnci, yüksek talaş kaldırma oranı, arttırılabilir ısı ve elektrik iletkenliği ve mukavemet özellikleri bulunur. Özellikle hafif ama dayanıklı olmaları nedeniyle havacılık ve uzay endüstrisinde güçlendirilmiş yapılar için, savunma sanayinde darbe emilimi için ve mekanik özelliklerinden dolayı yakıt tankları, deniz ve taşımacılık uygulamaları, yağ ve yakıt hatları gibi çeşitli alanlarda yaygın şekilde kullanılırlar. Bu yaygın kullanım, alüminyum alaşımlarının işlenebilirlik çalışmalarını oldukça popüler hale getirmiştir.

Bu alaşımların işlenmesi sırasında, yumuşak olmaları ve yüksek talaş kaldırma oranlarına izin vermeleri nedeniyle işleme süresi genellikle düşüktür. Ancak, kesici takımında talaş yığılması ve iş parçasındaki çapaklanma gibi sorunlar kaçınılmazdır. Bu nedenle, alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalarda, takım aşınması, takım ömrü ve kesme kuvveti gibi faktörlerin yanı sıra yüzey pürüzlülüğü, talaş yığılması, çapak oluşumu ve talaş kaldırma oranı gibi kalite karakteristiklerine odaklanılmaktadır. Bu parametrelerin kontrol altına alınması, işlenen parçaların kalitesini ve performansını artırmak için önemlidir.

Bu çalışmada, alüminyum alaşımlarından Al 7075 T6 511 alaşımı incelenmektedir. Bu alaşım, yüksek mukavemet oranına sahip olmasıyla birlikte yorulma ve korozyon direnci de yüksektir. Aynı zamanda, talaş kaldırma oranı, ısı ve elektrik iletkenliği gibi özellikleri de oldukça iyidir ve mukavemet özellikleri arttırılabilir. Al 7075 alaşımı, üstün yüzey kalitesine sahip olması ve birçok diğer avantajı sayesinde tercih edilmektedir.

Çalışmada, PVD kaplamalı sementit karbür takım kullanılarak Al 7075 alaşımının işlenebilirliği incelenmiştir. İşleme, CNC torna tezgâhında hem kuru hem de ıslak ortamlarda gerçekleştirilmiştir. Bu iki farklı ortamda talaş oluşumu, yüzey kalitesi, çapaklanma ve takım performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir.

Bu araştırma, alüminyum alaşımlarının önemli bir temsilcisi olan Al 7075 alaşımının farklı işleme koşullarında performansını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu değerlendirme, ileride bu alaşımın endüstriyel uygulamalarda daha etkin bir şekilde kullanılmasına ve işlenmesine yönelik faydalı bilgiler sağlamayı hedeflemektedir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aşağıda alüminyum alaşımları ve özellikle A7075 alaşımının talaşlı imalat proseslerinde, farklı işleme parametrelerinde ve farklı soğutma ortamlarında yüzey pürüzlülüğü, yıgıntı talaş oluşumu, talaş kaldırma oranı, titreşim, takım performansı ve geometrik doğruluk gibi parametreler üzerindeki etkileri inceleyen çalışmalar değerlendirilmiştir.

Imbrogno ve arkadaşları, havacılık alanında yaygın olarak kullanılan 7075-T6 alüminyum alaşımının yüksek hızlı tornalama işleminde işlenebilirliği incelenmiştir. Çalışma, kesme parametreleri ve soğutma stratejileri değiştirilerek gerçekleştirilen bir dizi deney ile yapılmıştır. İncelenen kesme parametreleri şunlardır; 1-Kesme Hızı: 1000m/dak, 1250m/dak ve 1500m/dak, 2- İlerleme Hızı: 0.1mm/dev ve 0.3mm/dev. İncelenen soğutma stratejileri şunlardır; 1- Kuru (Sulu olmayan) işleme, 2- Minimum Miktarda Yağlama (MQL): Kesme bölgesine sınırlı miktarda yağ püskürtme, 3- Kriyojenik: Düşük sıcaklıkta çalışan kriyojenik sıvı kullanma. Araştırmada, bu değişkenlerin kesme kuvvetlerine, sıcaklığa, talaş morfolojisine ve takım aşınmasına etkileri incelenmiştir. Bulgular şunlardır:

- Kesme hızı arttıkça ana kesme bileşeni (kesme kuvveti) azalmaktadır.
- İlerleme hızı arttıkça yem bileşeni (besleme kuvveti) artmaktadır.
- Soğutma stratejileri, talaş aşınması üzerinde etkilidir ve özellikle yüksek ilerleme hızında önemli bir rol oynamaktadır.
- Sıcaklık düştükçe besleme kuvvetleri artmaktadır.
- Kriyojenik soğutma, malzeme davranışını kırılğan hale getirirken, kuru işleme daha yüksek termal gradyana neden olmaktadır.
- Kesme sıcaklığı, MQL ve kriyojenik işlemede daha düşük seviyede olmuştur.

Takım aşınması ve talaş üzerindeki analizler, soğutma tekniklerinin ve kesme parametrelerinin önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Yan yüzey aşınması ise öncelikle kesme parametrelerinden etkilenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, 7075-T6 alüminyum alaşımının yüksek hızlı tornalama işleminin işlenebilirliği üzerine değerli bilgiler sunmaktadır. Kesme parametreleri ve soğutma stratejilerinin seçiminin, işleme kalitesi ve takım ömrü açısından önemli olduğu vurgulanmaktadır [1].

Javidikia ve arkadaşları, AA6061-T6 alüminyum alaşımının tornalanması sırasında farklı ortamlarda yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırmıştır. Deneysel çalışmalar yapılarak elde edilen veriler, istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Araştırmanın ana odak noktası yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkilerdir. İlerleme hızı, bu parametreler üzerindeki en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, tüm modlarda (farklı ortamlarda) ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi vurgulanmıştır. Özellikle Ra ve Rt gibi önemli pürüzlülük parametrelerinde ilerleme hızının belirleyici olduğu görülmüştür. Optimizasyon sonuçlarına göre, en düşük yüzey pürüzlülük değerleri için ilerleme hızının DoE'deki (Deney Tasarımı) en düşük değeri olan 0,07 mm/dev'e yaklaştığı belirlenmiştir Çizelge 2.1. Bu bulgu, işleme performansının ve yüzey kalitesinin optimize edilmesi açısından önemli bir yönlendirme sunmaktadır.

Ayrıca, kuru modda yapılan tornalama işleminin en küçük yüzey pürüzlülük parametrelerine ulaşmak için en uygun olduğu belirtilmiştir. Bu durum, diğer soğutma ortamlarının (yağlama, sulu soğutma, vb.) pürüzlülük üzerinde kuru mod kadar etkili olmadığı anlamına gelmektedir. Özetle, bu çalışma AA6061-T6 alüminyum alaşımının tornalanması sırasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörleri araştırmakta ve ilerleme hızının bu parametreler üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Optimizasyon sonuçları, en iyi yüzey kalitesinin düşük ilerleme hızı ve kuru tornalama modunda elde edilebileceğini göstermektedir [2].

Çizelge 2.1. Farklı koşullarda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.

	V (m/min)	f (mm/rev)	D (mm)	R_a (μm)	R_t (μm)
DRY	808	0.07	1.07	0.150	1.105
MQL	923	0.07	0.756	0.301	1.425
WET	1012	0.07	1.417	0.364	2.471

Abas ve arkadaşları, alüminyum alaşımı 6026-T9'un kuru ve minimum miktarlı yağlama (MQL) koşullarında işlenebilirliğinin incelendiği bir araştırmayı ele almaktadır. Araştırma, yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve malzeme kaldırma hızı gibi önemli performans ölçütleri üzerine odaklanmaktadır. Sonuçlar, işleme parametreleri arasında en önemli faktörün ilerleme hızı olduğunu göstermiştir. Kuru ve MQL koşullarında, en iyi sonuçları elde etmek için optimal kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve pozitif takım açısı belirlenmiştir. Ayrıca, MQL'nin kuru işleme ortamına göre daha iyi performans gösterdiği ve takım aşınmasını azalttığı görülmüştür. SEM ve EDX analizleri, işlenmiş yüzeyin ve takımın topografyası ve malzeme analizine daha derin bir bakış sunmuştur. Sonuç olarak, alüminyum alaşımı 6026-T9'un işlenmesiyle ilgili önemli veriler sağlanmış ve MQL'nin daha etkili bir işleme yöntemi olduğu gösterilmiştir. Gelecekteki araştırmalarda, kesme kuvvetleri ve boyutsal doğruluk gibi diğer yanıtların incelenmesi ve diğer yağlama yöntemleriyle karşılaştırma yapılması önerilmiştir. Ayrıca, kesici kenar yarıçapının etkisi ve diğer kesme parametreleri de dikkate alınmalıdır [3].

Kulkarni ve arkadaşları, çalışmada yüzey frezeleme işlemi için Minimum Miktarlı Yağlama (MQL) tekniğinin kullanımının incelenmiştir. Bu yöntem, soğutma sıvısı beslemesinin azaltılması ve nano parçacıkların eklenmesiyle uygulanmıştır. Bu sayede, soğutma sıvısının termal iletkenliği artmış ve ısının daha iyi dağılmasına katkıda bulunmuştur. Nanoakışkan MQL soğutma sıvısı tekniği, yüzey frezeleme sırasında sıcaklık değerlerini düşürmüştür.

Bu yöntemin uygulanmasıyla, Alüminyum 7075 T6 için öngörülen yüzey kalitesi sınırları içinde elde edilmiştir. Yapılan deneylerde, iş mili hızı ve ilerleme hızının yüzey frezelemesinde en önemli faktörler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, iş mili hızı ve kesme derinliğinin de üretilen ısı üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, yüksek hız, düşük ilerleme hızı ve orta kesme derinliğinin uygun bir

kombinasyonunun Alüminyum 7075-T6 levhaların MQL destekli yüzey frezelemede daha iyi yüzey kalitesine yol açabileceği belirlenmiştir. Bu çalışma, alüminyum havacılık alaşımlarının yüzey frezelemesi için MQL tekniğinin kullanımının olumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Kakde ve Shinde, AA 7075 alüminyum alaşımının yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık üzerinde farklı giriş kesme parametrelerinin etkisini incelemektedir. Kesme ve soğutma işlemleri, imalat operasyonlarında önemli bir rol oynamaktadır. İşleme parametreleri ve kullanılan yağlayıcılar, nihai iş parçasının kalitesini iyileştirebilir. Kuru işleme yöntemi, sınırlı soğutma kapasitesine sahip olup daha fazla ısı üretebilir ve takımın özel kaplama malzemesine ihtiyaç duymasından dolayı maliyetli olabilir. Bu nedenle, ıslak işleme yöntemi daha iyi bir alternatif olarak görülmektedir.

Araştırmacılar, bitkisel yağlar ile MQL işlemi kullanarak en iyi sonuçları elde etmiştir. Geleneksel yağdan atık oluşumunu azaltan bitkisel yağlar, kesme sıcaklığını %10 ila %30 ve kesme kuvvetini %5 ila %28 oranında azaltabilecek performans göstermiştir. Ayrıca, MQL kullanımı ile kesme talaşı daha kolay yıkanabilir ve kuru işleme ile kıyaslandığında daha ince talaş boyutları elde edilmiştir. MQL, çevresel ve ekolojik fayda sağlayarak daha iyi bir performans sergilemiştir. Diğer yandan, ıslak işleme yöntemi pahalı olabilir, ancak iyi yağlama özelliklerine sahiptir ve çevre için daha az tehdit oluşturur. Literatüre dayanarak, MQL işleme yönteminin ortalama maliyetle ıslak yağlama yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışma, bitkisel yağların kullanıldığı MQL işleminin yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık üzerindeki etkilerini inceleyerek, ıslak işleme yöntemlerine kıyasla daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, çevre dostu olması ve atık oluşumunu azaltması gibi avantajları da vurgulanmaktadır [4].

Karabuğa ve arkadaşları, AA7075-T6 alüminyum alaşımının farklı kesme hızları ve ilerleme oranları altında CNC Freze tezgâhında işlenmesini ve bu işlemlerin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, malzeme yapısı ve işleme sırasındaki gürültü değerleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Deneyler kuru şartlar altında, Minimum Miktarla Yağlama (MMY) yöntemi ile ve MMY'nin Termal Destekli İşleme (TAM) ile birlikte uygulandığı şartlarda yapılmıştır.

Çalışma sonuçlarına göre, kesme hızının yüzey kalitesine etkisi önemli olup, 200 m/dak'dan 240 m/dak'a çıkıldığında yüzey kalitesinde %80'e varan iyileşmeler görülmüştür. Ancak, 240 m/dak'dan 290 m/dak'a çıkıldığında iyileşme oranı daha düşük olmuştur. İlerleme oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi kesme hızı kadar belirgin değildir. Yüksek kesme hızları (240-290 m/dak) için Minimum Miktarla Yağlama ile Termal Destekli İşleme birlikte uygulandığında, yüzey pürüzlülüğünün diğer deneylere göre düşük olduğu tespit edilmiştir. En iyi yüzey kalitesinin, MMY ile TAM'ın birlikte uygulandığı 9. deneyde ($V_c=290$ m/dak, $F_z=0.2$ mm/diş) elde edildiği görülmüştür ($R_a=0.153$).

Kuru şartlardaki deneylerde, alüminyum alaşımının ısı altında takıma yapışarak krater oluşturduğu gözlemlenmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde, en düşük takım aşınmasının MMY+TAM deneyinde olduğu görülmüştür. Ayrıca, MMY ile yapılan deneylerin yüksek gürültü (86 dB) oluşturduğu belirlenmiştir. MMY sisteminde yağın basınç ile püskürtülmesi, gürültü seviyesini arttırmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma AA7075-T6 alüminyum alaşımının işlenmesinde farklı parametrelerin ve soğutma yöntemlerinin etkilerini değerlendirmiştir. Yüksek kesme hızları ve MMY ile TAM'ın birlikte kullanıldığı durumların daha iyi yüzey kalitesi sağladığı tespit edilmiştir. Ancak, MMY'nin yüksek gürültüye neden olduğu da belirtilmiştir. Bu bulgular, alüminyum alaşımlarının işlenmesinde en uygun parametrelerin seçilmesine ve uygun soğutma yöntemlerinin kullanılmasına yönelik bilgiler sağlamaktadır [5].

Pul, AA2024, AA6061 ve AA7075 alüminyum alaşımlarını farklı ilerleme değerleri ve kesme hızları altında CNC torna tezgâhında işlemiştir. İlerleme değerinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. Ancak, ilerleme değerinin %60 artışına karşılık, pürüzlülük değerlerinde %280'lik bir artış görülmüştür. Bu nedenle, 0.400 mm/devir ilerleme değerinin bu alüminyum alaşımları için yüksek olduğu ve tavsiye edilemeyeceği belirlenmiştir. Kullanılan kesici takımın 0.8 mm olan köşe yarıçapının bu yüksek ilerleme değeri için yeterli olmadığı ve daha büyük köşe yarıçapına sahip takımın kullanılmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

Al 2024 alaşımını hariç diğer alaşımlarda takım yan yzeyelelerinde 6nemli bir yanak aşınmasının oluşmadığı tespit edilmiştir. Al 6061 alaşımında az miktarda yanak aşınması meydana gelmiş olsa da, genel olarak takım yan yzeyelelerinde kayda değer bir yanak aşınmasının oluşmadığı belirtilmiştir. Al 2024 alaşımındaki yanak aşınmasının nedeni olarak, alaşımın diğerlerine g6re daha yzkksek oranda silikon iğermesi g6sterilmiştir. Sonuç olarak, ęalıřmada farklı alzminyum alaşımlarının işlenmesinde ilerleme değerleri, kesme hızı ve takım seçiminin yzzey p6r6zlezl6l6đz ve takım aşınması zzerindeki etkisi incelenmiştir [6].

H6zeyinoğlu, AA7075 alaşımının frezeleme işleminde farklı soğutma y6ntemleri, takım cinsleri, devir sayıları ve ilerleme hızlarının iş paręası yzzey p6r6zlezl6l6đz zzerindeki etkisini incelemiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1. Soğutma Tekniği: MSS (1/10) ve geleneksel soğutma y6ntemi, yzzey p6r6zlezl6l6đz (Ra) değerleri açısından ęok yakın sonuçlar vermiştir. Ancak, daha az soğutma sıvısı kullanıldığı için MSS (1/10) soğutma tekniği tercih edilebilir bir seğenek olarak 6ne ęıkmıřtır.
2. Takım Cinsi: Karb6r takımlar, TiN ve HSS takımlara g6re daha d6şzkk yzzey p6r6zlezl6l6đz değerleri sağlamıştır. D6şzkk devirlerde TiN takımların yzzey p6r6zlezl6l6đz değerleri daha k6t6 iken, yzkksek devirlerde TiN takımların yzzey p6r6zlezl6l6đz değerleri HSS takımlardan daha iyi sonuçlar vermiştir.
3. İlerleme Hızı: Tezg6ha verilen ilerleme hızı arttıķa yzzey p6r6zlezl6l6đz değerlerinin arttığı g6zlenmiştir.
4. Devir Sayısı: Kullanılan t6m kesici takım malzemeleri ve soğutma y6ntemleri için yapılan deneylerde devir sayısı arttıķa yzzey p6r6zlezl6l6đz değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak, frezeleme işlemlerinde en uygun matkap cinsi olarak karb6r matkaplar kullanılması 6nerilmiştir. Soğutma y6ntemi olarak MSS (1/10) tercih edilebilirken, d6şzkk ilerleme hızı ve yzkksek devir sayısı seğilerek frezeleme işlemlerinin yapılması daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. HSS matkapların daha uygun maliyetli olması nedeniyle, karb6r takımın performansına yakın performans g6steren

HSS takımların kullanılması da önerilmiştir. HSS matkap kullanılacaksa, MSS (1/10) soğutma tekniği ve yüksek devir sayısı ile düşük ilerleme hızı tercih edilmelidir [7].

Çakır, AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının kaplamasız karbür takımlarla delinmesi sürecinde farklı kesme parametreleri ve soğutma şartları kullanarak deneyler yapmıştır. Deneylerin sonucunda, deliklerde ölçülen yüzey pürüzlülüğü (Ra), çaptan sapmalar, dairesellikten sapmalar (ovalite) ve silindirik sapmalar (eksenel kaçıklık) ile takıma etki eden ilerleme kuvveti (Ft) ve moment değerleri değerlendirilmiştir.

Ana deneylerde soğutma yöntemleri karşılaştırılmış ve basınçlı havayla soğutma yönteminin geleneksel soğutma yöntemine göre daha yüksek ilerleme kuvvetleri ve momentlere neden olduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapmalar, dairesellikten sapmalar ve silindirik sapmalar açısından da basınçlı havayla soğutma yönteminde daha yüksek değerler elde edilmiştir. Ayrıca, AA2024 alaşımında AA7075 alaşımına göre tüm sonuçlarda daha yüksek artışlar gözlenmiştir. İlerleme hızı ve kesme hızındaki artışlar genelde sonuçları artırmıştır, ancak bazı parametrelerde kesme hızının artışı sonuçları azaltmıştır. Soğutma yöntemi, ilerleme ve kesme hızı gibi işlem parametreleri sonuçlar üzerinde önemli etkiler göstermiştir.

Kuru kesme şartlarında yapılan ek deneylerde de soğutma yöntemlerine ve tezgâh türüne bağlı olarak sonuçlar değişmiştir. Farklı takım tezgâhları, kesme parametreleri ve iş parçası malzemelerinin etkileri de incelenmiş ve sonuçlar arasında farklılık olduğu tespit edilmiştir. Sinyal/Gürültü (S/N) testleri sonucunda optimum işleme şartları belirlenmiş ve en uygun parametreler elde edilmiştir. Bu çalışma, AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının delinmesi sürecinde kullanılan farklı işlem parametrelerinin ve soğutma yöntemlerinin delik kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirerek, en uygun işleme şartlarının belirlenmesine yardımcı olmuştur [8].

Rasul, 6061-T6 alüminyum alaşımının frezeleme işlemi sırasında kesici takım, soğutma yöntemi, ilerleme hızı ve kesme hızının performans özellikleri (yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneylerde farklı kesici takımlar (HSS ve WC), farklı soğutma yöntemleri (kuru, MQL ve nano kesme

sıvısı), farklı kesme hızları (180, 200 ve 220 m/dak) ve farklı ilerleme hızları (0.05, 0.06 ve 0.07 mm/dev) kullanılarak tam faktöriyel deney tasarımı yöntemi uygulanmıştır. Rasul'un çalışmasında elde ettiği sonuçlar şunlardır:

1. Yüzey pürüzlülüğü ve takım yanağı aşınması, kesme hızı ve ilerleme hızının artmasıyla birlikte artmıştır.
2. Kuru işlemede maksimum yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması elde edilmiştir. Ancak, işleme sırasında nano kesme sıvısı kullanıldığında hem iş parçası yüzey pürüzlülüğü hem de takım aşınması daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir.
3. Nano kesme sıvısına nanopartikül eklenmesi, performans özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması nano kesme sıvısı kullanıldığında elde edilmiştir.
4. İş parçasının kuru işlemede, tüm kesme hızlarında ve ilerleme hızlarında ilk paso sonunda takım üzerine kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, kuru işleme sırasında karbür takımla yapılan işlemlerde takım aşınması ölçülemez.
5. Karbür takımlarda yüzey pürüzlülüğü ve takım yanağı aşınması, HSS takımlara göre daha düşük seviyelerdedir.
6. En iyi yüzey kalitesi, 180 m/dak kesme hızı, 0.05 mm/dev ilerleme hızı, karbür takım ve nano kesme sıvısı kullanılarak elde edilmiştir. En kötü yüzey kalitesi ise 220 m/dak kesme hızında, 0.07 mm/dev ilerleme hızında, HSS takım ve kuru işleme sırasında elde edilmiştir.

Bu çalışma, 6061-T6 alüminyum alaşımının frezeleme işleminde, farklı parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Optimal performansı elde etmek için nano kesme sıvısı kullanımının ve uygun kesme ve ilerleme hızlarının önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Karbür takımların HSS takımlardan daha iyi performans gösterdiği de dikkate alınmalıdır [9].

Pınarbaşı, CNC frezeleme işlemi kullanılarak 7075 serisi alüminyum malzemenin işlenmesi üzerine odaklanmıştır. İşlem sırasında değişen işlem parametrelerinin (ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği) yüzey pürüzlülüğü ve kesme enerjisi

üzerindeki etkileri incelenmiştir. Taguchi metodu kullanılarak 9 adet deney yapılmış ve bu deneylerin sonuçlarına göre işlem parametrelerinin etkileri ve optimum seviyeleri belirlenmiştir. Çalışmanın elde ettiği bulgular şunlardır:

1. Taguchi yöntemi kullanılarak, daha az deney yapılarak en uygun işlem parametreleri belirlenmiştir. Bu, maliyet ve zaman açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.
2. Yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuç, 6 no'lu deneyde elde edilmiştir. Bu deneyde ilerleme hızı 200 mm/dak, kesme hızı 2000 dev/dak ve kesme derinliği 0,5 mm olarak belirlenmiştir.
3. En kötü yüzey pürüzlülüğü ise 5 no'lu deneyde elde edilmiştir. Bu deneyde ilerleme hızı 200 mm/dak, kesme hızı 1500 dev/dak ve kesme derinliği 1,5 mm olarak belirlenmiştir.
4. İlerleme hızı, yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametre olmuştur.
5. Kesme hızı ise yüzey pürüzlülüğüne en az etki eden parametre olmuştur.
6. Şebeke üzerinden çekilen akım miktarı ve işlem süresi kullanılarak tüketilen enerji miktarı hesaplanmış ve en az enerji tüketen parametreler belirlenmiştir.
7. İlerleme hızının düşük, kesme hızının yüksek ve kesme derinliğinin düşük olduğu durumlarda işlem sırasında tüketilen enerji miktarının en az olduğu tespit edilmiştir.
8. Yapılan çalışmanın ışığında, farklı malzemeler ve işlemler için benzer çalışmaların yapılması önerilmiştir.

Sonuç olarak, 7075 serisi alüminyum alaşımının frezelenmesinde işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme enerjisi üzerindeki etkilerini incelemiş ve en uygun işlem parametrelerini belirlemiştir. Bu çalışma, talaşlı imalatta verimliliği artırmak ve enerji tüketimini azaltmak isteyen endüstrilere katkı sağlayabilir. Ayrıca, farklı malzemeler ve işlemler için benzer çalışmalar yapmak, geniş kapsamlı bir araştırma alanı sunmaktadır [10].

Zainol ve Yazid, MQL yöntemiyle 100 mL/saat akış hızında ve düşük kombinasyonlu işleme parametrelerinde kuru kesime kıyasla takım ömrünü uzatabileceğini sonuçlandırmıştır. Takım ömrü %55 oranında önemli ölçüde

artmaktadır. MQL 100 mL/saat ve kuru kesim için deneysel işlem yapılmadan önce kesici takım ömrünü tahmin etmek için deneysel model geliştirilmiştir. Her iki sıvı yaklaşımından elde edilen talaş, helisel formda testere dişine benzeyen bir talaş yapısı oluşturmuştur. Kesme hızı arttıkça ve ilerleme hızı azaltılmış, talaş oluşumunda belirgin bir değişiklik olmuştur. Bu bağlamda, talaş morfolojisi neredeyse kesme hızına bağlı olmamakla birlikte ilerleme hızıyla yakından ilişkilidir [11].

Akhtar ve arkadaşları, 7075 alüminyum alaşımının CNC tornalama işleminde, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. L27 deneysel tasarımı kullanılarak talaş kaldırma oranı, işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkiler araştırılmış ve Taguchi yöntemi kullanılarak önemli sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda şu önemli bulgulara ulaşılmıştır:

1. Maksimum malzeme kaldırma oranı, 1600 rpm hızında ve 2 mm kesme derinliği ile 0,25 mm/dak ilerleme hızında elde edilmiştir.
2. En düşük yüzey pürüzlülüğü, 12 numaralı numune için 1200 rpm hız ve 1 mm kesme derinliği ile 0,25 mm/dak ilerleme ile elde edilmiştir.
3. Mümkün olan en düşük kesme kuvveti, 27 numaralı numune için 1600 rpm hız ve 0,25 mm/dak ilerleme ile 2 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir.
4. Tüm bu sonuçları dikkate alarak, numune 27 için en iyi koşullar 1600 rpm hız, 0,25 mm/dak ilerleme ve 2 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir, en yüksek malzeme kaldırma oranı ve en az yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerlerine sahip.

Bu çalışma, Alüminyum 7075 alaşımının tornalanması için en uygun işleme parametrelerini belirlemekte ve işleme performansını en üst düzeye çıkarmak için önemli bilgiler sağlamaktadır. Ayrıca, Taguchi yöntemi gibi deneysel tasarım tekniklerinin, işleme optimizasyonunda etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir [12].

BÖLÜM 3

TEMEL KAVRAMLAR

3.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Hafif metaller grubunun en önemli üyesi olan alüminyum, teknik alanda çok kullanılan bir metaldir. Hafif metaller sınıfına dâhil olan elementlerin birim hacminin ağırlığı $3,8 \text{ gr/cm}^3$ 'ten küçüktür. Bu sınıfta alüminyum, magnezyum, potasyum, berilyum ve lityum bulunmaktadır. Hafif metallere en önemlileri Alüminyum ve magnezyumdur. Alüminyum, hafif olmasının yanı sıra yüksek elektrik ve ısı iletimi, korozyona dayanıklılık, kolay imalat özelliği ve diğer metallerle yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilme yeteneği sayesinde önem kazanmaktadır. Ayrıca, ısıyı ve ışığı iyi yansıtıran manyetik özelliği bulunmamaktadır [13]. Alüminyumun fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de görülebilir.

Çizelge 3.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellik	Değeri
Atom ağırlığı, r (gr)	26,97
Dökme Alüminyumun özgül ağırlığı, ρ (gr/cm ³)	2,65-2,69
Hadde Alüminyumun özgül ağırlığı, ρ (gr/cm ³)	2,7
Ergime noktası (°C)	658
Kaynama noktası (°C)	1800
Isı geçirgenlik katsayısı, k (W/mK)	173
Sıcaklık tesiri ile uzama, ϵ (mm/m)	
0-50°C	1,17
100°C	2,38
200°C	4,94
400°C	0,60
500°C	13,70
Kendini çekme miktarı (dl/l) (%)	1,7-1,8
Katı halden sıvı hale geçerken meydana gelen hacim büyümesi (%)	6,5

Alüminyum alaşımlarından bazıları, yumuşak çelikle karşılaştırıldığında daha dayanıklıdır. Alüminyum, sıfır derecenin altında şekil değiştirebilir [13]. Alüminyum, haddelenebilir, bükülebilir, preslenebilir, bükülüp uzatılabilir, çekilebilir ve rulo haline getirilebilir. Ayrıca, ısıtılarak çekiçle dövülüp, işlenebilir veya kalıptan çekme işlemi sonucu farklı şekiller verilebilir [14]. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında olumlu neticeler elde etmek için alüminyum ve alaşımlarının özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının mukavemet özellikleri, malzemenin saflığına ve imalat yöntemine bağlı olarak farklılıklar gösterebilir. Alüminyumun mukavemet özellikleri, imalat yöntemine göre Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Alüminyumun imalat yöntemine göre mukavemet özellikleri.

Özellikler	Dökme Al	Çekme Al	Isıl işlem uygulanmış Al
Çekme mukavemeti kg/mm ²	9-12	18-28	7-11
Akma mukavemeti kg/mm ²	3-4	16-24	5-8
Uzama	18-25	3-5	30-45
Büzülme	40-55	60-85	80-95
Sertlik Brinell	24-32	45-60	15-25
Elastik modülü kg/mm ²		600-700	

Alüminyumun çok farklı alanda yoğun kullanılmasını sağlayan özelliklerinden biri, korozyona karşı yüksek dayanım direnci göstermesidir. Bu özelliği sayesinde kimya ve gıda sanayisinde, inşaat sektöründe ve ev eşyalarında geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Alüminyumun bu özelliği, onu çelik yerine tercih etmemizdeki temel sebeplerden biridir. Ayrıca, alüminyumun en önemli mekanik özelliği esneklik katsayısıdır ki bu değer çeliğinkinin 1/3'üne eşittir. Bu nedenle, çelik yerine alüminyum kullanılacak alanlarda, esneme miktarının çeliğe oranla üç misli daha yüksek olacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Alüminyumun önemli özellikleri, farklı metallerle karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.3’de belirtilmiştir [15].

Çizelge 3.3. Alüminyumun başlıca özelliklerinin farklı metallerle karşılaştırılması.

Özellik	Al	Cu	Fe	Zn	Mg
Özgül ağırlık (g / cm ³)	2,7	8,94	7,87	4,1	1,74
Elektrik direnci(Ohm.mm ² /2).10 ²	2,66	1,68	9,8	6,0	4,46
Isı i (cal/ cm ² /cm ² °C	0,52	0,92	0,19	0,27	0,37
Isıl genleşme katsayısı (mm/mm°C).).10 ⁻⁵	24	16,7	11,9	33	25,7
Ergime sıcaklığı °C	660	1083	1535	420	651
Yanma ısı (kcal/kg)	6970	-	1600	1270	6000
Uzama (%)	43	50	48	-	-
Sertlik (BHN)	19	25	70	-	-

Alüminyum, oksijenle çok güçlü bir etkileşime sahiptir. Hava ile temas sonucunda, kısa sürede oksijenle birleşerek alüminyum oksit (Al₂O₃) oluşturur. Bu nedenle yüzeyinin tamamı renkli bir alümin tabakasıyla kaplanır. Alüminyum, korozyona karşı direncini artıran bu özelliklere sahiptir [13]. Oluşan bu oksit tabakası suyla yıkanarak çıkarılamaz. Bu özellik, alüminyumun kullanım alanını yaygınlaştırmıştır. Soğuk şekil verme, korozyon direncini azaltır. Alüminyumun saflığı düştüğünde de korozyon direnci azalır. Korozyon direncini yabancı maddeler azaltmaktadır.

Sıcak ve soğuk şekil değiştirme, yeniden kristalleşme sıcaklığıyla açıklanır: Yeniden kristalleşme sıcaklığının altında gerçekleştirilen şekil değiştirme soğuk şekil değiştirmedir; sıcak şekil değiştirme ise yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde gerçekleşen şekil değiştirmedir [14]. Soğuk şekil değiştirme sonrasında tanecik yapısı bozulmuş olarak kalır; sıcak şekil değiştirme sonrasında ise tanecikler tekrardan düzgün bir şekilde oluşur. Alüminyum normal koşullarda soğuk şekil değiştirme yeteneğine sahiptir, bu nedenle çekme ve akma mukavemeti artabilir. Ancak uzama miktarı ve şekil değiştirme yeteneği azalır [14]. Bu artma ve azalmayı belirleyen haddeme derecesidir. Soğuk şekil değiştirmiş sert alüminyum, yumuşak alüminyuma göre daha düşük bir korozyon dayanımına sahiptir. Daha önceden soğuk şekillendirilmeye uğramış bir sert alüminyum parçası sıcak şekil değiştirilebilir. Ancak mukavemeti azalır. Sıcak şekil verme sıcaklığı 300-450°C arasındadır.

Alüminyuma katılan alaşım elementleri, mukavemetini artırır. Başlıca alaşım elementleri şunlardır: Magnezyum (Mg), bakır (Cu), çinko (Zn) ve bazen kurşun (Pb), nikel (Ni), mangan (Mn), silisyum (Si), ve titanyum. Alaşım elementleri, alaşım içerisinde üç farklı şekilde bulunabilir:

1. Elementle alüminyum içerisinde katı halde eriyebilirler. (Katı çözelti oluşumu)
2. Katı halde alüminyumda erimezler veya sınırlı bir şekilde eriyerek mekanik bir karışım oluştururlar.
3. Metal-metal ya da kimyasal bileşik oluştururlar.

Alüminyum alaşımları, imal edildikleri yöntemlere göre iki gruba ayrılır:

Haddelene alaşımları (dövülme sonucu oluşan alaşımlar): Bu alaşımlar, ısıl işlem sonunda sertleşen ve doğal sert alaşımlar olarak ikiye ayrılır. Döküm, dövme, çekme, haddelene ve ekstrüzyon gibi mekanik işlemler, istenilen dış şekillerin oluşturulması için kullanılırken, ısıl işlem genelde iç yapının değiştirilerek sertlik, süneklik, mukavemet vb. mekanik özellikleri değiştirmek amacıyla kullanılır.

Döküm alaşımlarının önemli olanları şunlardır: AlCu, AlSiNi, AlSiMg, AlMg, AlMgSi, AlZnCu, AlCuNi, AlSi.

3.1.1. Döküm Alüminyum Alaşımları

Alüminyum döküm alaşımlarının ergime sıcaklıkları genellikle düşüktür ve gaz çözünürlükleri hidrojen dışında düşüktür. Bu alaşımların döküm özellikleri, işlenebilirlikleri, yüzey kalitesi, korozyon direnci, termal ve elektriksel iletkenlik gibi birçok olumlu özelliği bulunmaktadır. Ancak, metalin katılma sürecinde %3,5-8,5 oranında hacimsel olarak çekme göstermesi nedeniyle bazı sorunlar ortaya çıkar. Bu nedenle, çekme boşluklarının önlenmesi, sıcak yırtılmaların engellenmesi ve yüksek boyutsal hassasiyetin sağlanması için kalıp tasarımı son derece önemlidir. Alüminyum döküm alaşımları, mekanik özelliklerini artırmak için ısıl işlem uygulanarak daha yüksek değerlere çıkarılabilir [16]. Döküm alaşımlarını dört rakam ile ifade edilmektedir. Döküm parçalarının veya dökümhanelerde kullanılacak ingotların ifadesinde, noktadan sonraki üçüncü rakam oldukça önemlidir. Bu belirleyici rakam, söz konusu alaşım grubunu gösterir. Yukarıdaki ifadede vurgulandığı gibi, döküm işlemlerindeki bu rakam oldukça belirleyici ve öncüdür [17].

- 1xxx Alüminyum %99 oranında bulunduğu alaşımdır.
- 2xxx Ana alaşım elementi Cu'dur.

- 3xxx Cu, Si ve/veya Mg elementi ilavesi ile oluşur.
- 4xxx Ana alaşım elementi Si dir.
- 5xxx Ana alaşım elementi Mg dir.
- 6xxx yaygın kullanılmayan alaşımlar
- 7xxx Ana alaşım elementi Zn dir.
- 8xxx Ana alaşım elementi Sn dir.
- 9xxx Diğer elementleri içermektedir.

3.1.2. Dövme Alüminyum Alaşımları

Dövme alaşımları, çeşitli soğuk ve sıcak işlemlerle belirli şekil ve formlara dönüştürülebilen malzemelerdir. Alüminyum dövme alaşımlarının üretim süreci, öncelikle kütük (ingot) dökümüyle başlar ve sonrasında bu kütükler plastik şekil verme işlemleriyle ürün haline getirilir. Alüminyum dövme alaşımları, dövme, haddeleme ve ekstrüzyon gibi çeşitli plastik şekil verme yöntemleri kullanılarak üretilebilir. Bu yöntemlerle alüminyum alaşımları çeşitli şekillerde işlenerek farklı ürünler elde edilebilir [18]. Bu malzemelerin kolayca şekillendirilebilmesi ve iyi plastik deformasyon özellikleri taşıması sayesinde folyo, levha, sac, farklı profiller, boru ve tel gibi çeşitli ürünler dövme alüminyum alaşımlarından üretilmektedir [19]. Dövme alaşımları da dört rakam ile ifade edilir. Dövme alaşımlarında aşağıda verildiği gibi ilk rakam bileşikteki ana elementi belirtir.

- 1xxx: Alüminyum %99 oranında veya daha fazla bulunduğu alaşımdır
- 2xxx: Ana alaşım elementi Cu dur.
- 3xxx: Ana alaşım elementi Mg dir.
- 4xxx: Cu, Si ve/veya Mg elementi ilavesi ile oluşur.
- 5xxx: Ana alaşım elementi Mg dir.
- 6xxx: Ana alaşım elementleri olarak Mg ve Si içerir.
- 7xxx: Ana alaşım elementi Zn dir.
- 8xxx: Diğer elementleri içermektedir.
- 9xxx: Pek fazla yaygın olarak kullanılmayan seridir.

3.1.3. AA7075 Alüminyum Alaşımının Özellikleri

Alüminyum, düşük yoğunluğa sahip olmasına rağmen, alüminyum alaşımları düşük çeliklere göre daha fazla mukavemetli olabilir. Ayrıca, iyi elektriksel ve ısı iletkenlik özelliklerine ve yüksek ısı ve ışık yansıtma kapasitesine sahiptir. Alüminyum, çoğu hizmet koşulunda iyi bir korozyon direncine sahiptir ve aynı zamanda zehirsiz bir metaldir. Alüminyum, dökülebilir ve birçok şekillendirme yöntemiyle istenen şekle getirilebilir. Aynı zamanda geniş bir yüzey kalitesi aralığı sağlayabilir [20].

Alüminyumun bu değerli özellikleri sayesinde, mühendislik malzemesi olarak büyük önem kazanmıştır. AL 7075'in kullanımı uzay, uçak ve otomotiv endüstrisinde her geçen gün artmaktadır [21].

Al 7075 alaşımı birçok çeşit element içeren kimyasal bileşime sahiptir. Bu kimyasal bileşim (Çizelge 3.4.), Alüminyum 7075'in özellikle yüksek mukavemet ve dayanıklılık gerektiren uygulamalarda tercih edilen bir alaşım olmasını sağlar.

Çizelge 3.4. Alüminyum 7075-T6 Kimyasal Bileşimi.

Bileşenler	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Diğer	Al
Ortalama % Miktar	5,60	2,50	1,60	0,50	0,40	0,30	0,23	0,20	0,15	88,52

Al 7075, yüksek mukavemetli bir Al-Zn-Mg-Cu alaşımıdır ve çeşitli ürün formlarında bulunabilir. Ayrıca T6, T73 ve T76 gibi çeşitli sertleşme tiplerinde mevcuttur. T6 sertleşme tipi en yüksek mukavemete sahip olmasına rağmen, en düşük tokluk ve gerilme-korozyon çatlama karşı dirence sahiptir. Tokluk sıcaklığın azalmasıyla azaldığından, T6 sertleşme tipi genellikle kriyojenik uygulamalar için önerilmez [22].

T6 termal işlemi, alaşımlı malzemelerin ticari ısı işlem yöntemleri içinde en yüksek direnç seviyesini sağlayan bir süreçtir. Özellikle 7000 serisi alaşımlarda, maksimum dayanım düzeyine ulaşmak için tercih edilen bir ticari yöntemdir. Geleneksel T6

işlemi, malzemelerin suyla yaşlandırılması ile 24 saat boyunca muamele edilerek elde edilir. AL alaşımları, T6 ısıt işleme uygulanarak özellikleri geliştirilebilen malzemeler arasındadır. Bu işlem sonucunda çekme dayanımı 223 MPa'dan 575 MPa'e, akma dayanımı 102 MPa'dan 505 MPa'e yükselmekte ve sertlik değeri de 601 BSD'den 151 BSD'e kadar artmaktadır.

AL7075'in belirli özellikleri şunlardır:

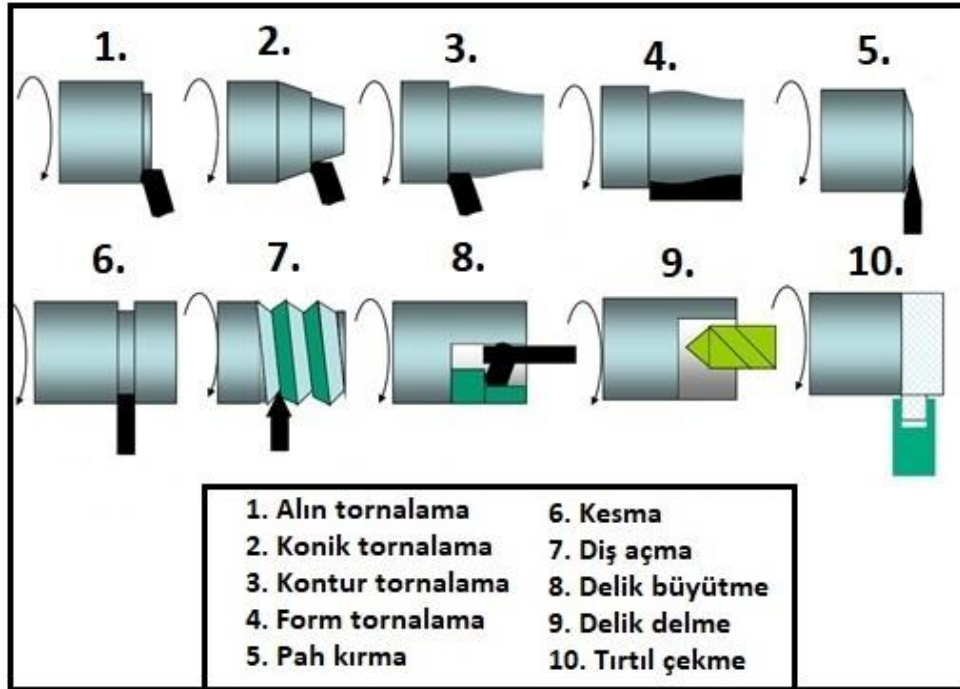
- Yüksek mukavemet: AL7075, yüksek dayanıklılık özelliği taşıy ve yapısal uygulamalarda kullanım için uygundur.
- Düşük yoğunluk: Alüminyumun doğal olarak düşük yoğunluğuna ek olarak, AL7075'in kullanımıyla daha hafif bileşenler elde edilebilir.
- İyi işlenebilirlik: AL7075, işleme işlemleri sırasında kolayca şekillendirilebilir ve işlenebilir.
- Korozyon direnci: Bu alaşımın korozyon direnci oldukça iyidir, bu da uzun ömürlü ve dayanıklı uygulamalar için avantaj sağlar.
- Termal ve elektriksel iletkenlik: AL7075, iyi termal ve elektriksel iletkenlik özelliklerine sahiptir.

Faaliyet Alanları.

- Uçak ve savunma sanayinde yüksek mukavemet gerektiren bileşenler
- Plastik ve kauçuk kalıplar
- Kayak direkleri ve bağlantılarında
- Yüksek mukavemet gerektiren makine parçaları
- Otomotiv sanayi ve parçalarında
- Perçin ve pimlerde
- Nükleer uygulamalarda [23].

3.2. TORNALAMA

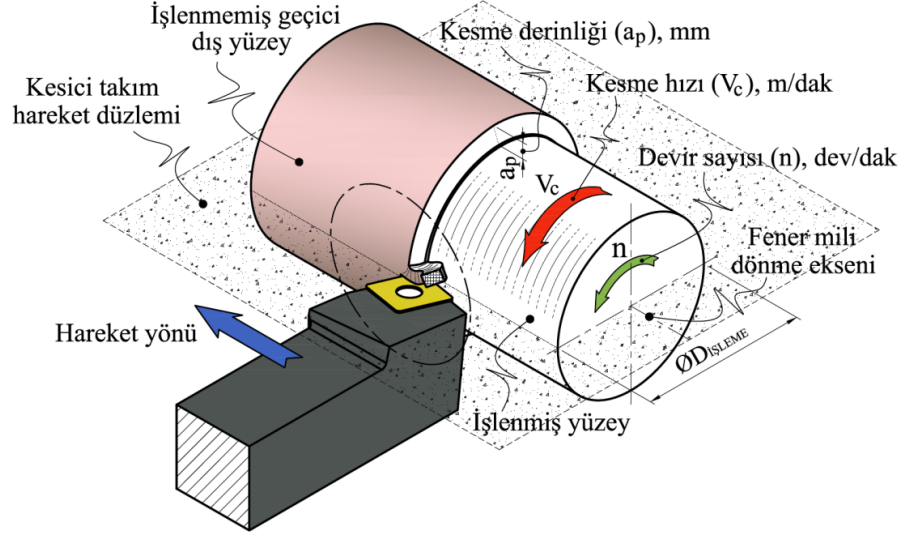
Tornalama, iş parçasının dönme hareketi sağlanarak yüzeylerin dış ve iç bölgelerinin işlendiği bir takım işleme operasyonudur. Bu işlem, bir takım tezgâhı olan torna tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilir ve genellikle silindirik yüzeylerin işlenmesi için kullanılır. Tornalama işlemi sırasında ilk hareket, iş parçasının dönme ekseninde dönme hareketidir. İkinci hareket ise besleme hareketi, yani ilerleme hareketidir. Modern CNC torna tezgâhında yapılan çeşitli tornalama işlemleri Şekil 2'de gösterilmektedir [24].



Şekil 3.1. Çeşitli tornalama operasyonları.

Tornalamada, daha verimli sonuçlar elde etmek için kesici takımın dayanımı ve yüzey pürüzlülüğü önemlidir. Kesici takımın geometrisi parametreleri, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği gibi kesme parametreleri ile iş parçası özellikleri ve kesme sıvısının türüne dikkat edilerek aşınma miktarı azaltılabilir. Kesici takım tipi de tornalama işlemine göre seçilmelidir. Tornalama işlemine ait bölümler Şekil 2'de gösterilmiştir [25].

Tornalama işlemi sırasında, verimlilik ve iyi bir yüzey bitirme için talaşların kırılması son derece önemlidir. Doğru talaş kırma işlemi, talaş derinliği ve takım geometrisinin dikkatlice dengelenmesinin bir sonucudur [26].



Şekil 3.2. İşleme sırasında kullanılan parametreler.

Kesme hızı (V), malzemenin yüzeyindeki kesici kenardan geçme hızını ifade eder ve metre/dakika olarak ölçülür. İlerleme (f), iş parçasına veya takıma sağlanan hareketi temsil eder ve birincil dönme hareketine eklenerek tekrarlanan veya sürekli talaş kaldırma ve istenen işlenmiş yüzeyin oluşmasını sağlar. İlerleme, kesme takımının bir devirde iş parçasına doğru ilerlediği mesafeyi ifade eder ve milimetre cinsinden devir başına (mm/dev) ölçülür [24]. Kesme derinliği (a), malzeme yüzeyinden kaldırılan iş parçasının derinliğini temsil eder ve malzeme eksenine dik olarak ölçülür.

Torna tezgâhlarında sağlıklı ve doğru bir işlemin gerçekleştirilmesi için devir sayısı, kesme hızı ve ilerleme gibi kavramların iyi anlaşılması gereklidir. Bu parametreler, ideal tornalama operasyonlarının gerçekleştirilmesi için büyük önem taşır. Bu parametrelerin doğru şekilde ayarlanmaması durumunda, işlenen parçanın yüzey kalitesi, operasyon süresi, kesici uç ve takımlarının ömrü, tezgâhın verimli ve sağlıklı bir şekilde çalışması olumsuz etkilenebilir. Bu önemli nedenlerden dolayı, parametrelerin doğru bir şekilde hesaplanması gereklidir [27].

Tornalama operasyonlarında, işlenen parçanın çevresini torna kalemi bir dakika içinde ne kadar kat ettiği metre cinsinden ifade edilen değere kesme hızı denir. Alternatif bir tanımlamayla, bir dakika içinde oluşan talaşın doğrusal uzunluğudur. Kesme hızı hesabı genellikle imalatçı firmaların katalog verilerine göre belirlenir. HSS kesiciler için genellikle 25-50 m/dakika aralığında, sert malzemelerde ise 250-500 m/dakika aralığında bir kesme hızı kullanılır.

Kesme hızını etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır:

- İş parçasının malzeme tipi, kesme hızına önemli bir etki yapar.
- Kesici takımın malzeme tipi, kesme hızı üzerinde belirleyici bir faktördür.
- İşlenen parçanın bağlantı metodu, kesme hızını etkileyen diğer bir parametredir.
- Tezgâhın güç unsuru, kesme hızının belirlenmesinde rol oynayan faktörlerden biridir.
- Talaşın derinliği, kesme hızına göre ayarlanması gereken önemli bir faktördür.
- İşleme metodu, kesme hızını belirlemede göz önünde bulundurulması gereken bir etkidir.
- Kesici ucun ilerleme oranı, kesme hızını etkileyen önemli parametrelerden biridir.

Tüm bu faktörler, kesme işleminin verimliliği, iş parçasının kalitesi ve takımın dayanıklılığı üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle, doğru kesme hızının belirlenmesi, başarılı bir işleme süreci için kritik öneme sahiptir.

Kesici takımın iş parçasının eksenine doğrultusunda bir dakika içinde mm cinsinde kat ettiği mesafenin uzunluğuna ilerleme denir. İlerlemeyi etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır:

- Talaşın derinliği, ilerlemenin belirlenmesinde önemli bir rol oynar.
- Talaşın kaldırılma türü, ilerlemenin seviyesini etkileyen diğer bir parametredir.

- İstenilen yüzey kalitesi, ilerlemenin ayarlanmasında dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.
- Kullanılacak olan kesme sıvısının tipi, ilerlemenin belirlenmesinde etkili olan diğer bir etmen olarak öne çıkar.

Bu faktörler, işleme sürecindeki talaş yönetimi ve yüzey kalitesi hedeflerine ulaşmak için ilerlemenin doğru şekilde belirlenmesini sağlar. İş parçasının özelliklerine ve kesme koşullarına uygun ilerleme ayarı, başarılı bir işleme işlemi için kritik önem taşır.

İlerleme, iki farklı şekilde belirtilebilen bir parametredir: mm/devir veya mm/dakika olarak ifade edilir. CNC tezgâhlarında ilerleme hızı genellikle mm/devir cinsinden verilirken, konvansiyonel tezgâhlar için mm/dakika cinsinden verilir. CNC tezgâhlarında ilerleme hızının mm/devir cinsinden belirtilmesinin nedeni, iş parçasının çapının sürekli olarak değişmesi ve bu nedenle devir sayısının da ayarlanması gerekliliğidir. Buna bağlı olarak, ilerleme oranlarının da ayarlanması gerekmektedir. Bu nedenle, ilerleme miktarı mm/devir cinsinden ifade edilir [28].

3.3. TALAŞ KALDIRMA MEKANİZMASI

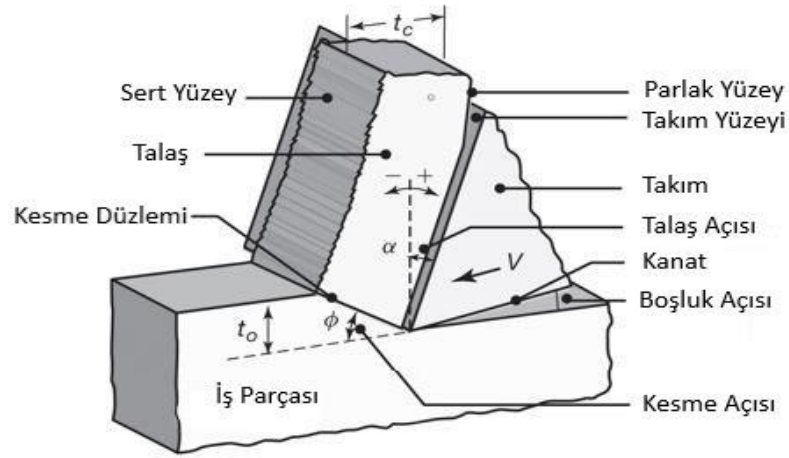
İstenilen şekil, boyut ve yüzey kalitesine sahip bir iş parçası elde etmek için, iş parçasından daha sert bir kesici takım kullanılarak güç uygulanarak malzeme kaldırma işlemine talaş kaldırma denir. Şekil 3.3.

Talaş kaldırma işlemi sonucunda iş parçasından ayrılan malzeme tabakası talaş olarak adlandırılır. Talaş kaldırma işlemi, takım ve iş parçasının birbirine göre izafi hareketleriyle gerçekleştirilir. Fiziksel olarak talaş kaldırma süreci, elastik yapıda meydana gelen değişimlere bağlı olarak gerçekleşir. Bu süreçte sürtünme nedeniyle ısınma meydana gelir ve talaş kırılıp büzülür. İşlem sırasında, işlenen parçanın yüzey sertliği ve takım ucundaki korozyon oluşumu gibi faktörler de talaş kaldırma olayına katkı sağlar ve işlemi kompleks bir yapıya dönüştürür [29].

Talaş oluşumu, kesici takımın işlenmekte olan parçadan daha sert olması ve aşınmaya karşı yüksek bir dirence sahip olması gereklidir. Ayrıca, kesici takımın

talaş derinliği ve işlenen parçanın ilerleme yönünde yeterli kuvvetle direncini aşabilmesi önemlidir ve kesici takım ile işlenen parça arasında belirli bir kesme hızına sahip olması ve sabit hareketin oluşması gerekmektedir [30].

Dik (Ortogonal) kesme ve Eğik (Oblique) kesme, talaşlı imalatta kullanılan yöntemlerdir. Talaşlı imalatta birincil öncelik, parçayı istenilen şekle getirmektir. Bu nedenle, kusursuz bir talaş oluşturmak için kesici takım ve iş parçası üzerinde meydana gelebilecek hasarları önlemek ve oluşan ısıyı kontrol etmek oldukça önemlidir.

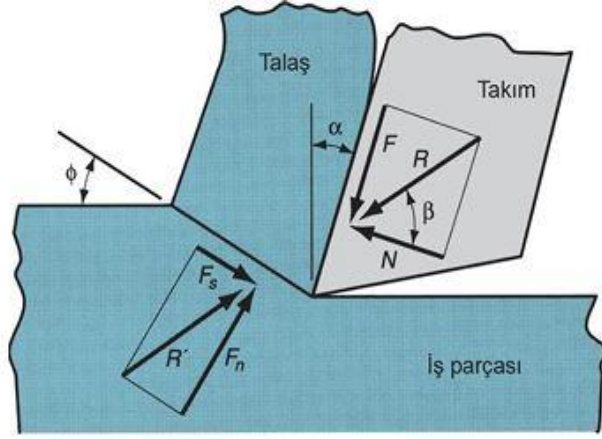


Şekil 3.3. Talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kesitin görüntüsü.

3.3.1. Dik Kesme

Kesici takım kenarının kesici takım hareket hızı doğrultusuna dik yönlü olduğu duruma "ortogonal kesme" denir. Pratikte oldukça kullanışlı olan iki boyutlu ortogonal kesme modeli (Şekil 3.4), üç boyutlu karmaşık talaşlı imalat geometrisini basitleştirerek, talaş kaldırma mekaniğini iyi bir şekilde tanımlar.

Bu modelde, kullanılan kesici takımın kenarı kesme hızına dik olarak yer alır ve uygulanan kuvvet ile iş parçası yüzeyi arasında bir açı olan kesme düzlemi boyunca malzeme kesme deformasyonuna ve mekanik enerji harcanarak plastik deformasyona uğratılır, böylece talaş kaldırılır. Ana malzemedan kaldırılan talaşlar kesici takımın keskin kenarında bozulmaya neden olur [31]. Kayma düzlemi ile malzeme yüzeyi arasındaki açı, kayma düzlemi açısı (Φ)' dır.

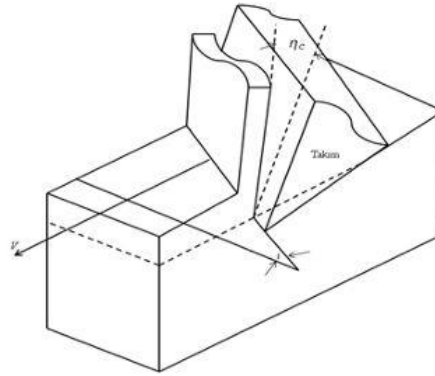


Şekil 3.4. İki boyutlu görüntüde ortogonal kesme.

Ortogonal kesme modelinde talaş üzerine etkiyen kuvvetler, sürtünme kuvveti (F) ve normal kuvvet (N) olarak iki dik bileşene ayrılır.

3.3.2 Eğik Kesme

Eğik (oblique) kesme kenarının, kesici takımın hareketine göre iş parçası üzerinde açı yapması durumuna denir (Şekil 3.5). Talaşlı imalatta genellikle açılı kesme kullanılmaktadır, ancak bu modelin hesaplanma zorluklarından dolayı pratikte dik kesme yöntemleri tercih edilmektedir.

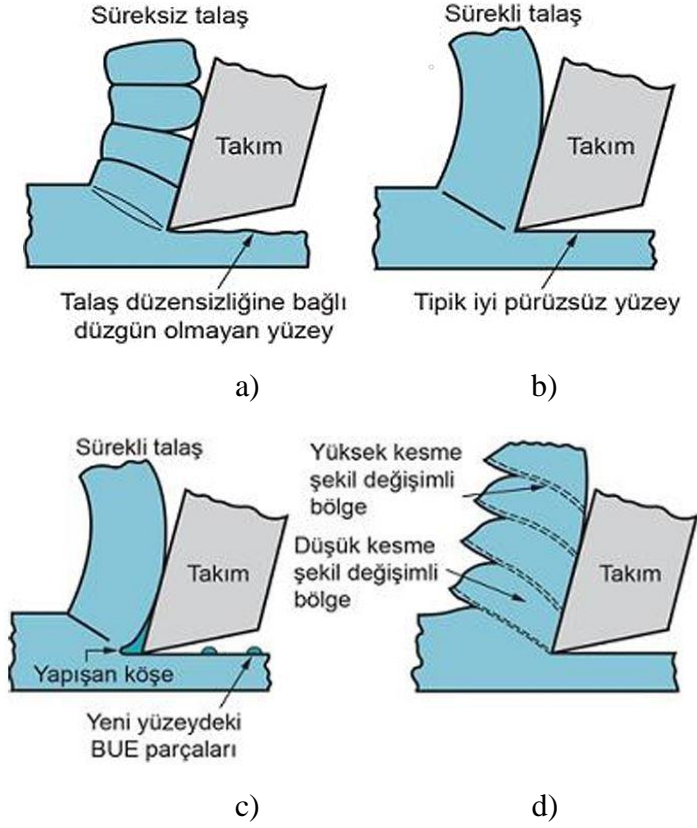


Şekil 3.5. Eğik kesme geometrisi [32].

3.3.3. Talaş Türleri

Talaş kaldırma işlemleri sırasında farklı tiplerde talaşlar oluşur. Talaşın kalitesi, deformasyon miktarına, sıcaklığa ve uygulanan kuvvete bağlı olarak değişebilir.

Malzeme içinde akma sınırına ulaşan gerilmeler, elastik ve plastik deformasyonlara neden olur. Farklı malzemelerde farklı talaş tipleri meydana gelir. Bu tipler kesintili talaş (a), sürekli talaş (b-c) ve yarı kesintili talaşlardır (Şekil 3.6). Talaş kırma işlemi sırasında gereken enerjinin büyük bir kısmı kayma düzlemi boyunca harcanır. Talaşın takım yüzeyi boyunca akmasını sağlamak için kesici uç işlenen parçaya doğru bastırılır ve talaşın kayması sağlanır. Parçanın kayma düzlemi üzerindeki plastik davranışı, talaşın ve kesici takımın kenar yüzeyinin şekil değiştirme sertleşmesine etki eder. Deformasyon sertleşmesi, kesme kuvvetinde bir artışa neden olur. Bu da kayma açısını azaltır ve kalın talaşın kesici takımın yüzeyinden akmasına yol açar. Talaş açısı, deformasyon miktarıyla ilişkilidir.



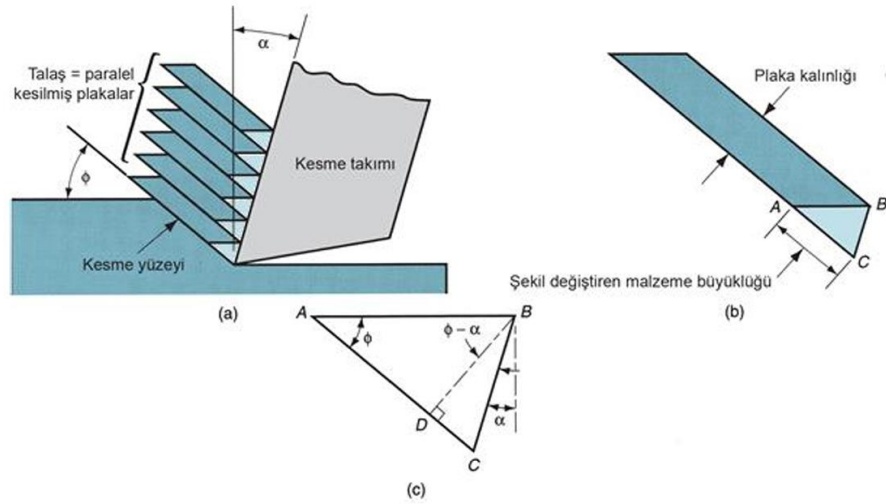
Şekil 3.6. Kesintili talaş, Sürekli talaş, Yığılma kenarlı sürekli talaş ve Yarı kesintili talaş gösterilen talaş tipleri [33].

İş parçasından kaldırılan talaşın oluşturduğu düzleme "kayma düzlemi" denir. Talaş oluşumu, takım ile talaş ara yüzeyi arasındaki etkileşim sonucunda gerçekleşir. Bu oluşum, temas miktarı ve kayma açısı tarafından etkilenir. Talaşın temas uzunluğu

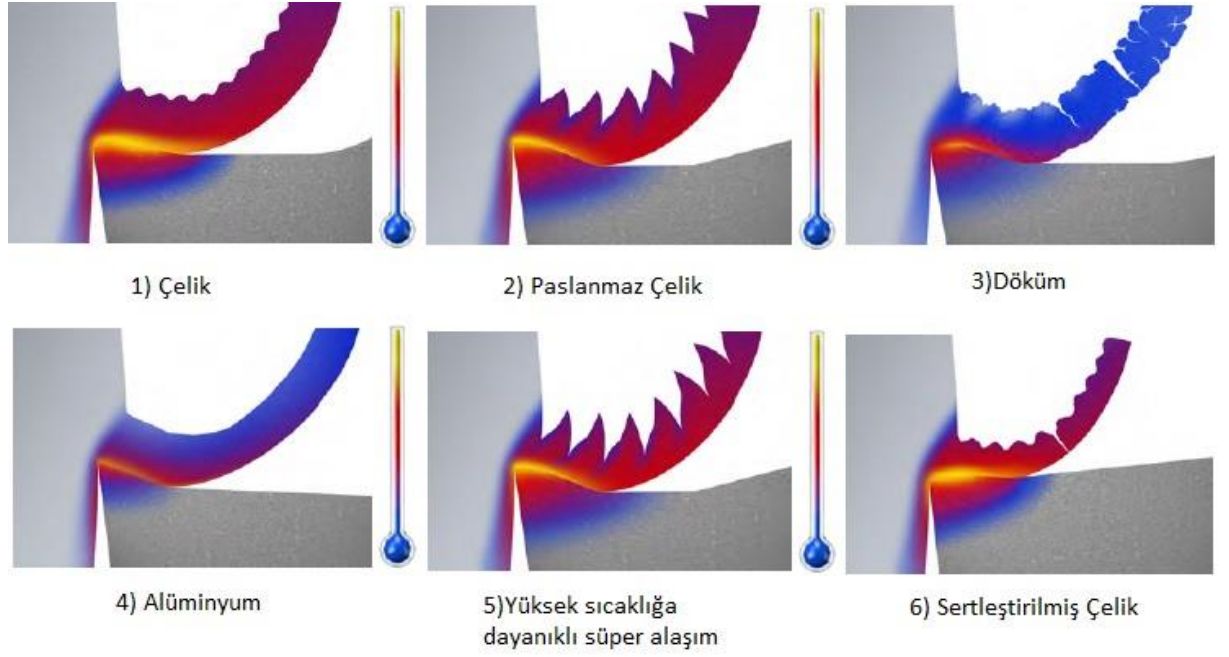
boyunca takımın yüzeyindeki hareketin niteliği, talaş oluşumu sırasında önemli bir faktördür.

Takım yüzeyi ile talaş arasındaki temas uzunluğu, kayma açısını belirleyen bir etkendir ve bu temas yüzeyinde oluşan kuvvetler ve sıcaklık, kesici takımın performansını önemli ölçüde etkiler. Kayma kuvvetinin büyüklüğü, kayma açısının küçük olmasına bağlıdır. Büyük bir talaş açısı, talaşın daha büyük bir yarıçap etrafında daha az bükülerek ve daha düşük kuvvetlerle oluşmasına neden olur. Çoğu talaş kaldırma işleminde, temel kesme kenarına dik olmayan belirli bir açıyla eğik kesme gerçekleştirilir. Bu durum, takımın geometrisini ve talaşın akış yönünü değiştirir [33].

Talaş oluşumu sürecinde kesme şekil değişimi, birbirinin üzerinden kayan paralel plaka serileri şekil (a) da ki gibi gösterilir. Bu plakalardan bir tanesi (b) üzerinde şekil değiştiren malzeme üçgen (c) şeklinde ifade edilirse, metal kesmede şekil değişimi.



Şekil 3.7. (a) Birbirinin üzerinden kayan paralel serisi şeklinde talaş oluşumu, (b) plakalardan biri, kayma şekil değişimini göstermek için ayrılmıştır ve (c) kayma şekil değiştirme üçgeni [33].



Şekil 3.8. Tornalama işlemi sırasında çeşitli malzemelerden çıkan talaş türleri ve talaş ısı dağılımı [34].

3.4. TAKIM AŞINMASI VE TAKIM ÖMRÜ

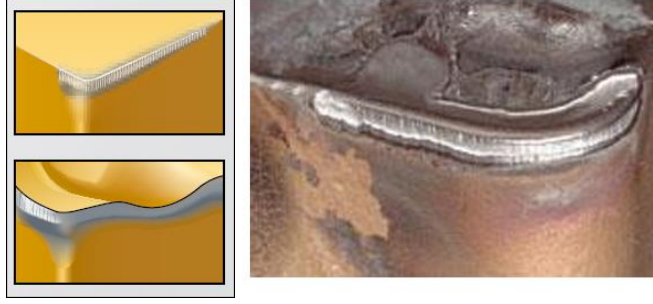
Takım aşınması, imalat sürecinde kesici takımın iş parçasını istenilen bir geometriye ulaşana kadar, iş parçasının takıma zarar verme durumunu ifade eder. Takımın ömrü, evrensel standartlar tarafından belirlenen değerlerin altına düşerse takımın bu süreçten sonra artık kullanılmaması gerekmektedir.

Takımlarda görülen aşınma çeşitleri arasında krater aşınması, abrasif (aşındırıcı) aşınma, yığılma kenar oluşumu (BUE), ısıl çatlaklar, kırılma, parça kopması ve mekanik yorulma bulunmaktadır. Bu aşınma tiplerinin her biri takımların performansını olumsuz yönde etkileyebilir ve takımın işlevini yerine getirememesine neden olabilir. Dolayısıyla, takımların düzenli olarak kontrol edilmesi ve aşınma belirtileri gösterdiğinde değiştirilmesi önemlidir [35].

Takım Aşınma Tipleri:

Aşırı serbest yüzey aşınması; bir dizi faktörden kaynaklanabilir. Yüksek kesme hızı, yetersiz aşınma direncine sahip takım kalitesi ve tok bir malzeme yapısı gibi

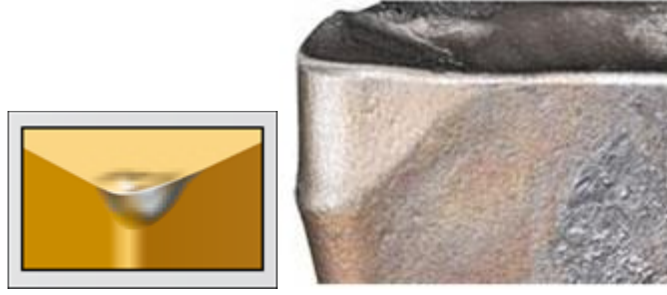
nedenler aşınmanın artmasına yol açabilir. Ayrıca, kesme sıvısı kullanımının yetersiz olması da aşınmayı etkileyebilir. Bu sorunların çözümü için ise kesme hızının düşürülmesi, daha dayanıklı bir takım kalitesinin seçilmesi ve kesme sıvısı beslemesinin iyileştirilmesi önerilebilir. Bu önlemler, aşırı serbest yüzey aşınmasının kontrol altına alınmasına yardımcı olabilir.



Şekil 3.9. Aşırı serbest yüzey aşınması.

Plastik deformasyon; plastik deformasyon, kesme işlemi sırasında ortaya çıkabilen bir sorundur. Bu deformasyonun nedenleri arasında yüksek kesme sıcaklığı ve yetersiz kesme sıvısı beslemesi yer alır. Yüksek kesme sıcaklığı, malzemenin plastik hale gelmesine ve istenmeyen deformasyonlara neden olabilir. Ayrıca, yetersiz kesme sıvısı da sürtünmeyi artırabilir ve plastik deformasyonu tetikleyebilir.

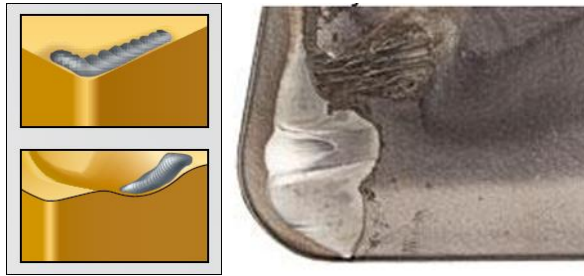
Bu sorunun çözümü için bazı adımlar gerçekleştirilebilir. İlk olarak, kesme hızı veya ilerlemeyi düşürmek, kesme sıcaklığını kontrol altında tutabilir ve plastik deformasyonu azaltabilir. Ayrıca, aşınmaya karşı daha dayanıklı bir takım kalitesinin seçilmesi de deformasyon riskini azaltabilir. Kesme sıvısı beslemesinin iyileştirilmesi de önemlidir. Yeterli miktarda kesme sıvısı sağlamak ve sürtünmeyi azaltmak için kesme sıvısı besleme sistemi optimize edilebilir. Bu önlemler, plastik deformasyon sorununu kontrol etmek ve iş parçasının istenilen şekli korumasına yardımcı olabilir [34].



Şekil 3.10. Plastik deformasyon.

Krater aşınması; Krater aşınması, bu aşınma türünün temel nedenleri arasında çok yüksek kesme hızı ve/veya ilerleme hızı ile tok bir malzeme kalitesi bulunur. Yüksek kesme hızı veya ilerleme hızı, takımın temas ettiği bölgede yoğun bir sürtünme ve ısınma oluşmasına neden olarak krater aşınmasını tetikler. Ayrıca, tok bir malzeme kalitesi, takımın yüzeyine daha fazla baskı uygulayarak krater aşınmasını artırır.

Bu sorunun çözümü için öncelikle, kesme hızını veya ilerleme hızını azaltarak sürtünme ve ısınmayı kontrol altına almak, krater aşınmasını azaltmada etkili olacaktır. Pozitif bir kesici uç geometrisi seçmek, takımın malzemeyi daha etkili bir şekilde kesmesine yardımcı olarak krater aşınmasını azaltabilir. Ayrıca, aşınmaya karşı daha dayanıklı bir takım kalitesi seçmek de önemlidir. Bu önlemler, krater aşınması sorununu kontrol altına alarak takımın daha uzun süre dayanmasına yardımcı olur. Bu şekilde, kesme işlemi daha verimli ve daha kaliteli hale gelir [34].



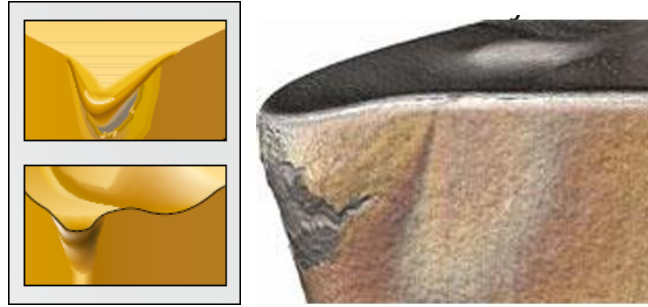
Şekil 3.11. Krater aşınması.

Plastik deformasyon (çökme); Plastik deformasyon, bu deformasyonun temel nedenleri, yüksek kesme sıcaklığı ve yetersiz kesme sıvısı beslemesidir. Yüksek

kesme sıcaklığı, malzemenin plastik hale gelmesine ve istenmeyen deformasyonlara yol açabilir. Ayrıca, yetersiz kesme sıvısı beslemesi, sürtünmeyi artırarak plastik deformasyonu tetikleyebilir.

Bu sorunun engellemek için birkaç adım atılabilir. İlk olarak, kesme hızını düşürmek veya ilerlemeyi azaltmak, kesme sıcaklığını kontrol altında tutarak plastik deformasyonu azaltabilir. Aynı zamanda, aşınmaya karşı daha dayanıklı bir takım kalitesinin seçilmesi de deformasyon riskini azaltabilir. Bunun yanı sıra, kesme sıvısı beslemesini iyileştirmek de önemlidir. Kesme sıvısı besleme sisteminin optimize edilmesi ve yeterli miktarda kesme sıvısı kullanılması, sürtünmeyi azaltarak plastik deformasyonu önleyebilir.

Bu gibi önlemler, takımda plastik deformasyon sorununu azaltarak kontrol altına alınmasını ve iş parçasının istenilen şeklini korumasını sağlamış olur [34].

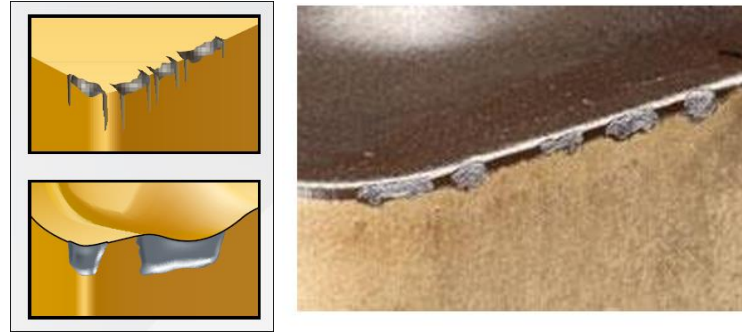


Şekil 3.12. Plastik deformasyon (Çökme).

Tanecik kopması; Tanecik kopması aşınması nedenleri arasında dengesiz koşullar, çok sert bir malzeme kalitesi ve çok zayıf bir geometri bulunur. Dengesiz koşullar, takımın iş parçasıyla uyumsuz bir şekilde temas etmesine ve tanecik kopmasına yol açabilir. Çok sert bir malzeme kalitesi, takımın malzemeyi kesme yeteneğini zorlaştırarak tanecik kopmasını tetikleyebilir. Ayrıca, çok zayıf bir geometri, takımın yetersiz desteklenmesine ve tanecik kopmasına neden olabilir.

Bu aşınmanın gerçekleşmemesi için ilk olarak, daha tok bir malzeme kalitesinin seçilmesi, takımın daha iyi dayanabilmesini sağlayarak tanecik kopmasını azaltabilir. Ayrıca, daha yüksek ilerleme alanı için bir takım geometrisi seçmek, takımın daha

etkili bir şekilde malzemeyi kesmesine yardımcı olabilir. Kullanma mesafesinin azaltılması da takımın daha sağlam bir destek almasını sağlayarak tanecik kopmasını önleyebilir. Son olarak, eksen yüksekliğinin kontrol edilmesi, takımın doğru bir şekilde hizalanmasını sağlayarak tanecik kopmasını engelleyebilir. Bu önlemler, tanecik kopmasını kontrol etmeye yardımcı olabilir ve kesme işleminin daha istikrarlı ve başarılı olmasını sağlayabilir [34].

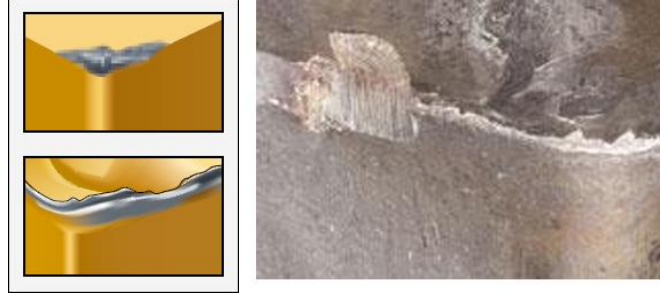


Şekil 3.13. Tanecik kopması.

Talaş yığılması; Talaş yığılması (BUE - Built-Up Edge), kesme işlemi sırasında çok karşılaşılan aşınma türlerindedir. Bu aşınmanın nedenleri arasında çok düşük kesme sıcaklığı ve aşındırıcı iş parçası malzemesi bulunur. Çok düşük kesme sıcaklığı, talaşların uygun şekilde oluşmamasına ve birikerek tıkanmalarına neden olabilir. Aşındırıcı iş parçası malzemesi de talaş oluşumunu zorlaştırabilir ve birikmeye yol açabilir.

Bu aşınmanın çözümü, kesme hızını veya ilerlemeyi artırmak, talaş oluşumunu iyileştirerek talaş yığılmasını azaltabilir. Daha yüksek kesme hızı veya ilerleme, talaşların daha etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar. Ayrıca, daha keskin ve kenar geometrisine sahip bir kesici takım seçmek de talaş oluşumunu kolaylaştırır ve birikmeyi azaltır.

Bu önlemler, talaş yığılmasını kontrol etmeye ve kesme işleminin daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olabilir [34].



Şekil 3.14. Talaş Yığılması.

Kenarda çentikleme aşınması; kesici takımın kenarında oluşan çentikler ve aşınma nedeniyle performansının düşmesine yol açan bir sorundur. Bu durum, bazı nedenlere bağlı olarak ortaya çıkabilir.

Nedenler:

1. Kararsız Koşullar: Tornalama işlemi sırasında kararlı olmayan işleme koşulları, takımın kenarında çentiklerin oluşmasına ve aşınmanın artmasına neden olabilir.
2. Malzeme Kalitesi: İşlenen malzeme çok sert veya çok gevrek olabilir. Bu tür malzemeler, kesici takımın kenarında çentiklere ve aşınmaya yol açabilir.
3. Kaplama Kalınlığı: Kesici takımın kaplaması (örneğin, CVD kaplama) çok kalın olabilir ve bu da kenar hattı pullanmasına neden olabilir.

Çözümler:

1. Tezgâh Koşullarını Stabil Hale Getirin: Tornalama işlemi sırasında tezgahın koşullarını kararlı hale getirerek titreşimi azaltın ve kesme koşullarını optimize edin.
2. Daha Tok Bir Kalite Seçin: Daha tok ve dayanıklı bir kesici takım malzemesi seçerek kenarda çentikleme aşınmasını azaltabilirsiniz.
3. Daha Güçlü Bir Geometri Seçin: Kesici takımın kenar geometrisini güçlendirerek dayanıklılığını artırın ve çentikleme aşınmasını önleyin.
4. Daha İnce Kaplamaya Sahip Bir Kalite Seçin: Eğer kaplama kalınlığı çentikleme aşınmasına yol açıyorsa, daha ince kaplamalı bir kesici takım seçerek bu sorunu çözebilirsiniz [34].



Şekil 3.15. Kenarda çentiklenme aşınması.

Termal çatlaklar; kesici takımın yüzeyinde veya kenarında oluşan çatlaklardır ve genellikle değişken kesme kenarı sıcaklıkları, darbeli kesimler, kesme sıvısı kullanımı ve kalite hassasiyeti gibi nedenlere bağlı olarak meydana gelir.

1. Kesme sıvısını kesin veya bol miktarda uygulayarak dengeli sıcaklık seviyesi elde edin: Kesme sıvısının kesici takıma yeterli miktarda uygulanması, sıcaklık değişimlerini dengeleyerek termal çatlakları önleyebilir.
2. Kesme hızını azaltın: Kesme hızını düşürmek, kesici takımın ısınmasını azaltarak termal çatlakların oluşma riskini azaltabilir.
3. Daha ince kaplamaya sahip bir kalite seçin (PVD): Kalın kaplamalı kalitelerin termal çatlaklara yol açma riskini azaltmak için daha ince kaplamalı kesici takım kaliteleri tercih edilebilir.

Bu çözümler, termal çatlakların oluşumunu engellemeye ve kesici takımın dayanıklılığını artırmaya yardımcı olacaktır [34].



Şekil 3.16. Termal çatlaklar.

3.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaş kaldırma işlemi, parçaların belirli bir doğruluk derecesine uygun olarak geometri, boyut ve yüzey açısından imal edilmesini amaçlar. İşlem kalitesi olarak adlandırılan bu özellik, talaş kaldırma işleminin bugün en önemli unsurlarından biridir. Boyut kalitesi, parçanın gerçek boyutlarıyla izin verilen sapmalar arasındaki farkları ifade eder. Bu sapmalar, boyut toleransları kullanılarak belirlenir ve imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Geometri kalitesi, izin verilen şekil ve konum sapmalarını içerir. Bu sapmalar, ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksenel sapmalar olarak üç gruba ayrılır [36]Şekil 3'te yüzey pürüzlülüğü ile ilgili önemli parametreler ISO 4287 standardı esas alınarak verilmiştir



Şekil 3.17. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili önemli parametreler

Orta çizgi: Örnekleme uzunluğu boyunca yüzeye ait girinti ve çıkıntıların alanlarının eşitlendiği elemandır.

Ra (Ortalama yüzey pürüzlülüğü): En çok kullanılan yüzey pürüzlülük parametresidir. Örnekleme uzunluğu boyunca orta çizgiden itibaren gerçekleşen sapmaların aritmetik ortalaması olarak ifade edilmektedir.

Rq (RMS pürüzlülüğü): Örnekleme uzunluğu boyunca orta çizgiden itibaren gerçekleşen sapmaların geometrik ortalamasıdır.

Rt (Toplam yüzey pürüzlülüğü): Örnekleme uzunluğu boyunca en yüksek tepe noktası ile en derin çukur arasında kalan sapma mesafesidir [37].

3.5.1 Tornalama İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

İşleme kalitesini etkileyen faktörler dört farklı grupta incelenir.

- İlk olarak, takım tezgâhına ait sapmalar işleme kalitesini etkiler. Bu sapmalar, tezgâhın kinematik mekanizmasında mevcut hatalardan, ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmamasından, tezgâhın mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki sapmalardan ve boşluklardan kaynaklanır. Ayrıca, gövde ve ana milin yeterince rijit olmaması da bu sapmalara neden olabilir.
- İkinci olarak, takım sistemiyle ilgili hatalar işleme kalitesini etkiler. Bu hatalar, ana elemanların imalat hatalarından, tertibatın yeterince rijit olmamasından ve ana elemanlarda meydana gelen aşınmalardan kaynaklanır.
- Üçüncü olarak, takımın kendisiyle ilgili hatalar işleme kalitesini etkiler. Takımın yanlış bir şekilde konumlandırılması, kesme kuvvetlerinin etkisi altında şekil değiştirmelerin meydana gelmesi ve takımın aşınması gibi faktörler bu hatalara örnek olarak verilebilir.
- Son olarak, ortamın etkisi altında meydana gelen hatalar işleme kalitesini etkiler. Sıcaklık nedeniyle oluşan şekil değişiklikleri ve diğer tezgâhlardan gelen titreşimler gibi faktörler, işleme kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir.

3.5.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

- İlerleme hızı, kesme hızı ve talaş derinliği gibi parametreler,
- Kesici takımın geometrisi ve kesici uç üzerinde oluşan talaş yapışması,
- Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu ve aralarındaki titreşimler,
- Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesme kenarlarında meydana gelen izler ve aşınmalar,

- İş parçasının talaş kaldırılan yüzeyine yakın, 100 µm'lik derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikleri,
- Talaşın plastik akışı ve bu akışın yüzeye etkisi.

Tüm bu faktörler, işleme sürecindeki koşullar ve malzemeler arasındaki etkileşimlerle birlikte yüzeyin son pürüzlülük düzeyini belirler.

3.5.3. Kesici Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Talaş kaldırma işlemi sırasında takım aşınması, göz önünde bulundurulması gereken önemli bir parametredir. Özellikle serbest yüzey aşınması, üretilen parçanın çapını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Takımın aşınma durumunun tespit edilmesi, üretim sürecinin kesintiye uğramadan devam ettirilmesi için temel amaçtır. Modern üretim tezgâhlarında, adaptif kontrol mekanizmaları geliştirilerek bu hedefe yönelik adımlar atılmıştır. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrü tamamlanmadan önce değiştirilmesi gereklidir. Aksi takdirde, üretim sırasında elde edilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayabilir. Kesici uç ve serbest yüzeyde oluşan aşınma, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir ve takım değişimi gecikirse, üretim ve takım maliyetleri artar. Bu nedenle, etkin takım aşınma izleme ve değiştirme stratejileri, verimli üretim ve kaliteli parça üretimi için önem taşır [38].

Kesme Kuvvetlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri; Talaş kaldırma işlemi sırasında, oluşan dirençlerin üstesinden gelmek için gereken talaş kaldırma kuvveti üç farklı bileşene ayrılır: kesme kuvveti (F_s), radyal kuvvet (F_r) ve ilerleme kuvveti (F_v). Bu kesme kuvvetleri, takım ve parça üzerinde şekil değişikliklerine neden olarak takım-parça konumunu etkiler ve işleme kalitesini değiştirir. Temel olarak, parça-takım-tezgâh zinciri esnek bir sistemdir. Bu nedenle, talaş kaldırma işlemi sırasında kesme kuvvetinin değişken olması titreşimlere yol açabilir. Bu titreşimler, şiddetli olduğunda tırlama olarak adlandırılan ve yüzey kalitesini olumsuz etkileyen bir olayın meydana gelmesine neden olabilir.

3.6. KESME SIVILARI

Kesme sıvısı, talaşlı imalat işlemlerinde önemli iki görevi üstlenir: yağlama ve soğutma. Metal işleme teknikleri, makine tasarımları ve kesici takım malzemelerinin teknik gelişmelerinin zamanla ilerlemesiyle birlikte, kesme sıvılarının gelişimi ve kullanımını da paralel olarak günümüze kadar devam ettirmektedir.

Soğutma, kesme işlemi sırasında ortaya çıkan ısıyı çevreye dağıtarak sıcaklığı düşürmeyi amaçlar. Bu şekilde, ısı miktarı azaltılır ve iş parçasının ve kesici takımın aşırı ısınması önlenir. Öte yandan, yağlama işlevi, talaşlı imalat sırasında kesici takım ile işlenen yüzey arasına girerek sürtünmeyi azaltmayı ve kesici takımın aşınmasını engellemeyi hedefler. Kesme sıvıları, takım ve iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltarak daha kaliteli iş parçalarının üretilmesine katkıda bulunur ve kesici takımın ömrünü uzatarak sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Bu nedenle, talaşlı imalatta kesme sıvıları hem kaliteli iş parçalarının elde edilmesine yardımcı olur hem de makine ve takımın uzun ömürlü olmasını sağlayarak çevresel açıdan sürdürülebilir bir yaklaşım sunar [39].

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesme sıvılarından beklenen özellikler şunlardır:

1. Soğutma özelliği: İşlem sırasında ortaya çıkan ısıyı etkili bir şekilde dağıtarak iş parçasının ve kesici takımın aşırı ısınmasını önlemelidir.
2. Yağlama özelliği: Kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltarak aşınmayı engellemeli ve işlemin daha verimli olmasını sağlamalıdır.
3. Uzun süreli özelliklerini koruyabilme: Kullanım süresince kalitesini ve etkinliğini uzun süre boyunca muhafaza etmelidir.
4. Paslanmaya yol açmamalı: Malzemelerde paslanma oluşturmamalı ve işlenen yüzeyin kalitesini korumalıdır.
5. Makineye zarar vermemeli: Kullanıldığı makine ve ekipmana herhangi bir şekilde zarar vermemelidir.
6. İyi ısı transfer yeteneği: Isıyı etkin bir şekilde transfer ederek işlemin güvenli ve verimli olmasına katkı sağlamalıdır.

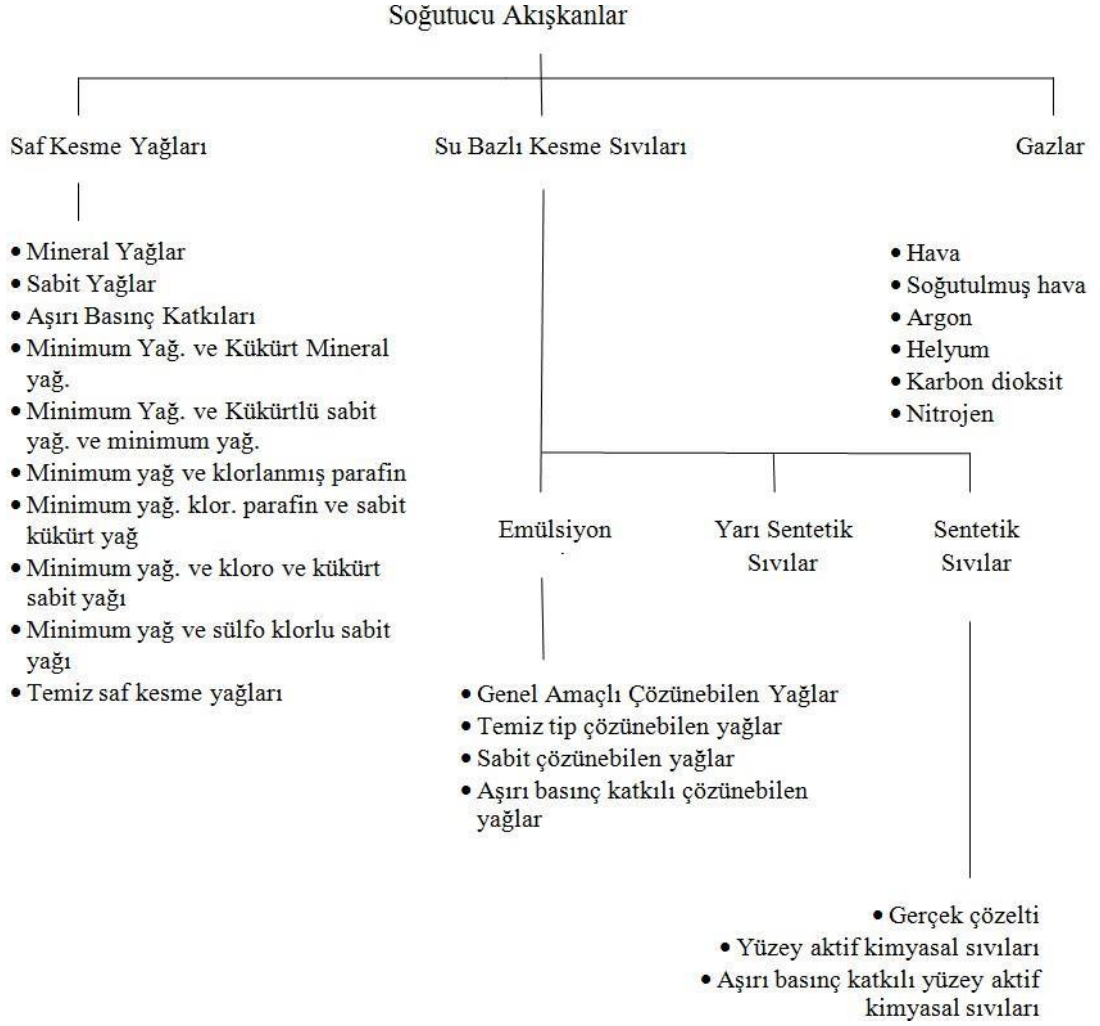
7. Uçucu olmamalı: Kolay buharlaşmamalı ve işlem boyunca dengeli bir yapıda kalabilmelidir.
8. Köpürmemeli: Köpük oluşumunu minimum seviyede tutmalı ve işlemin stabilitesini sağlamalıdır.
9. Ateşleme tehlikesi taşımamalı: Yanıcı özellikte olmamalı ve işlem sırasında ateşlenme riski taşımamalıdır.
10. Metalürjik özellikleri koruması: İş parçasının metalürjik yapısını olumsuz etkilememeli ve istenilen özellikleri korumasına yardımcı olmalıdır.
11. Kolay tahliye ve arıtma: Kullanım sonrasında kolayca tahliye edilebilmeli ve atık su arıtma sistemlerinde işlenebilir olmalıdır.
12. İnsan sağlığına zarar vermemeli: Kullanıcılar ve çevre için güvenli olmalı, insan sağlığına zarar vermeyen bir yapıya sahip olmalıdır [40].

3.6.1. Kesme Sıvılarının Sınıflandırılması

Geleneksel kesme sıvıları üç farklı bölümde sınıflandırılmaktadır, bu sınıflandırma Şekil 3.10'da gösterilmiştir. İlk olarak, saf kesme yağları katkılı mineral yağlar veya düz mineral yağlar olarak sınıflandırılır. Bu tür kesme yağları, takım ve talaş yüzeyi arasındaki basıncın yüksek olduğu durumlarda tercih edilir ve yağlamanın önemli olduğu işlemlerde kullanılır.

İkinci olarak, su bazlı kesme sıvıları kesme hızlarının yüksek olduğu işlemler için uygundur ve kesici takımdaki zorlanmaları azaltır.

Üçüncü olarak, gazlar sıvıların nüfuz edemediği yerlerde kullanılır. Ancak yüksek maliyetleri nedeniyle gazlar, talaşlı imalat uygulamalarında ekonomik olmayan bir çözüm haline gelmiştir.



Şekil 3.18. Kesme sıvılarının sınıflandırılması [41].

3.6.2. Kesme Sıvılarının İnsan Sağlığına Etkisi

Kesme sıvılarının, soğutma ve yağlama özelliklerinin iyi olması beklenirken, insan sağlığını olumsuz etkilemesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak kesme sıvılarının sunduğu birçok avantaj, kullanımlarını gün geçtikçe arttırmaktadır. Sadece Avrupa Birliği içinde bile 320.000-ton kesme sıvısı kullanıldığı bilinmektedir.

Kesme sıvılarının ömrünü uzatmak için düzenli bakım yapılması gerekmektedir. Kesme sıvılarının bakımı, iş parçası, kesici takım, tezgâh ve operatör sağlığını doğrudan etkileyebilecek önemli bir faktördür. Kesme sıvılarının insan sağlığı üzerindeki etkileri iyi araştırılması gereken konulardandır ve bu yönde Çevre ve

Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlar yapılmıştır. Bu yayınlarda, atık oluşumunu önlemeye yönelik kesme sıvısı kullanımına ve Minimum Miktarlı Yağlama (MQL) sistemine önem verildiği belirtilmiştir.

Kesme sıvılarına maruz kalma süresi, seviyesi, kirlilik biçimi ve sıvının çeşidi, kesme sıvılarının insan sağlığı üzerindeki etkilerinin düzeyini belirler. Bu nedenle, kesme sıvıları ve çalışanlar arasındaki temasın kontrol edilmesi ve sağlık risklerinin minimize edilmesi önem taşır [42].

Kesme sıvılarına maruz kalan çalışanlar ve kullanıcılar için ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu nedenle, kesme sıvılarının kullanımı sırasında gerekli önlemlerin alınması ve sağlık risklerinin minimize edilmesi büyük önem taşır. Çalışanların cilt ve solunum yoluyla maruz kalmalarını engellemek, iş sağlığı ve güvenliği açısından kritik bir konudur ve önleyici tedbirlerin alınması önemli bir sorumluluktur. Sıvılar bireyde çeşitli hastalıklara neden olmaktadır bunlar; dermatit (dermatitis), folliculitis, cilt kanseri ve solunum rahatsızlıkları gibi istenmeyen etkilere neden olabilmektedir.

Dermatit: Kesme sıvılarının uzun süreli teması sonucunda dermatit (dermatitis) meydana gelebilmektedir. Bu sıvılar, derinin lipid tabakasını ortadan kaldırarak, koruyucu özelliğini ortadan kaldırmakta ve zararlı maddelerin deriden yüksek oranda emilmesine neden olmaktadır. İlk başta, deride birikim sonucu oluşan bu hasar fark edilmeyebilir çünkü vücut zararlı maddeye karşı aylarca hatta yıllarca tolerans gösterebilir. Ancak, bu olumsuz durumun deride tekrar tekrar oluşması sonucunda, kritik bir noktaya gelinir ve bu zararlı maddelerle küçük miktarlarda bile temas dermatit hastalığına yol açabilir [42].

Folliculitis: Sıvıların bazıları veya içerdikleri katkı maddeleri cilt tarafından emilebilir, kana karışabilir ve vücudun başka bölgelerinde tehlikeli olabilir. Bazen "petrol folikülit" olarak da adlandırılan ve aynı zamanda yağ aknesi olarak bilinen bir hastalık ortaya çıkabilir. Bu durumda, tıkanan cilt gözenekleri nedeniyle salgı bezleri drenaj yapamaz hale gelir. Bu şekilde engellenen bezler genellikle sivilceye benzer şekilde irinle dolar, kızarırlar ve kaşıntı ve ağrılara neden olabilirler.

Cilt kanseri: Kesme sıvılarıyla meydana gelen cilt hastalıklarının ilerlemiş hali cilt kanseridir. Rafine edilmemiş mineral yağların cilt kanserine neden olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yağla ıslanmış bez parçaları ve giysilerle uzun süreli temas da kansere yol açabilmektedir.

Solunum Rahatsızlıkları: Talaşlı imalat sürecinde kullanılan kesme sıvıları işlem sürecinde meydana gelen yüksek ısıdan dolayı buharlaşmakta ve operatör tarafından solunum yolu ile vücuda alınmakta ve çeşitli solunum rahatsızlıklarının oluşmasına temel hazırlamaktadır. Boğaz ağrısı, üst solunum yolları tahrişi, öksürük, hırıltı, nefes darlığı ve boğazda sürekli balgam oluşumu gibi semptomlar görülebilmektedir. Bu semptomların devamı sonucunda kronik bronşit, akciğer yetmezliği ve astım gibi hastalıklara sebebiyet vermektedir [43].

Kesme sıvılarının tehlikelerini minimuma indirmek için çeşitli önlemler alınmalıdır. Bu önlemler şunları içerir:

1. Deriyle teması önlemek için eldiven ve koruyucu kremler kullanılmalıdır. İşlem sonrasında eller bol su ve sabunla yıkanarak temizlenmelidir.
2. Operatörün çalışma esnasında tezgâha çok yakın olmaması sağlanmalıdır.
3. Kesme sıvılarına eklenen maddelerin belirli bir seviyede tutulması önemlidir.
4. Çalışma ortamı iyi havalandırılmalıdır.
5. Kesme sıvılarının kullanıldığı ortamda uygun koruyucu ekipmanların kullanılması gerekmektedir.
6. Çalışma ortamı düzenli olarak temizlenmeli ve düzenli bakım yapılmalıdır.
7. Kesme sıvılarının pH değerleri ve yoğunlukları çalışılabilir nitelikte olmalıdır.

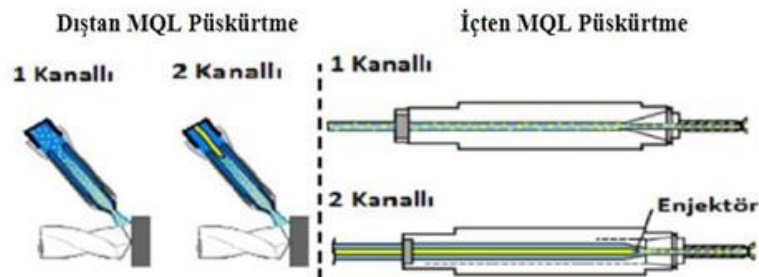
Bu önlemler, kesme sıvıları nedeniyle oluşabilecek olumsuz etkileri minimize etmeye ve çalışanların sağlığını korumaya yönelik önemli adımlardır [40].

3.6.3. Minimum Miktarda Yağlama Yöntemi

Minimum miktarda yağlamanın (MQL) diğer işlemlere kıyasla en belirgin özelliği çok az kesme sıvısı kullanmasıdır. Geleneksel ıslak işlemede, metal işleme sıvısının rolü kesme noktasını soğutmak, yağlamak ve aynı zamanda talaşları kesme bölgesinden uzaklaştırmaktır. Bu nedenle, minimum miktarlı yağlamanın en uygun olduğu işleme süreçleri, yağlamanın en önemli faktör olduğu süreçlerdir. Günümüzde birçok metal işlemlerinde uygulanabilmekte dendir. Taşlama gibi süreçler, henüz minimum miktarlı yağlama ile ekonomik olarak uygulanabilir değildir [44].

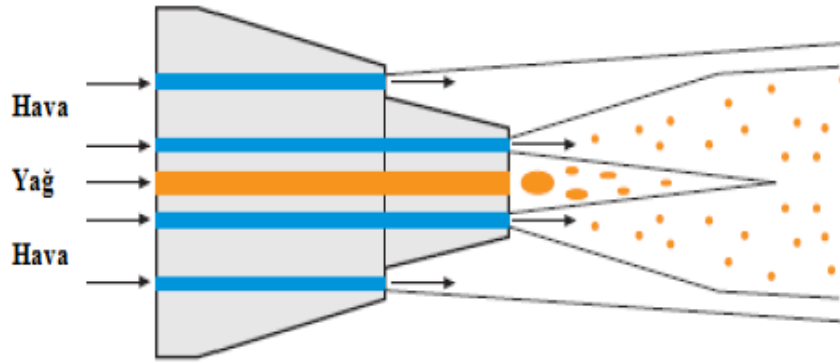
MQL yönteminde yağlayıcı sistemde bulunan bir tankın içerisinde bulunur. Yağlayıcı kompresör yardımıyla hava ile karışarak aerosol bir yapı haline getirilir ve kompresörden gelen yüksek basınç ile sistemde var olan atomizer yardımıyla hava-yağ karışımı atomize edilip, nozul üzerinden iş parçasına püskürtülür. Mikron boyutundaki parçacıklar kesme bölgesinde hem soğutucu hem de yağlayıcı olarak görev yaparlar.

MQL sisteminde, genellikle akış hızı 10-100 ml/saat arasında olacak şekilde kesme sıvısı kullanılır. Bu akış hızı, geleneksel sulu kesme yöntemine kıyasla yirmi bin kat daha düşüktür. Bu nedenle, MQL'de kullanılan kesme sıvısı miktarı çok daha azdır. MQL sisteminin bir diğer avantajı ise, kesme işlemi sırasında iş parçasının ve talaşların neredeyse kuru kalmasını sağlamaktadır, bu da talaşın geri dönüşüm maliyetlerini düşürmektedir [45]. MQL'in dıştan ve içten püskürtülmesinin şematik gösterimi Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19. MQL'nin dıştan ve içten püskürtülmesinin şematik gösterimi [45].

Nozül Sistemi: Talaş kaldırma sürecinde, hava yağ karışımı özel bir nozul aracılığıyla sağlanır. Bu nozul sayesinde yağlayıcı madde ve gerekli hava, MQL (Minimum Miktarlı Yağlama) sistemi kullanılarak eş eksenli bir hat üzerinden beslenir. Yağlayıcı madde, Venturi prensibi kullanılarak nozulda uygun bir şekilde karıştırılır ve bu sayede yağlayıcı karışım, nozulden verimli bir şekilde çıkarak talaş kaldırma işlemine uygulanır. Venturi prensibi, akışkanın hızının arttığı dar bir bölgeye girdiğinde basınç düşüşü yaşanması prensibine dayanır ve bu sayede yağlayıcı madde homojen bir karışım halinde nozulden çıkarak talaşın üzerine uygulanır. Bu yöntem, doğru miktarda yağlayıcı kullanımını sağlayarak işlem verimliliğini ve takım ömrünü artırmak için tercih edilir [42]. Şekil 3.20.'de deneylerin yapıldığı sistemde mevcut olan nozülün yapısı görülmektedir.



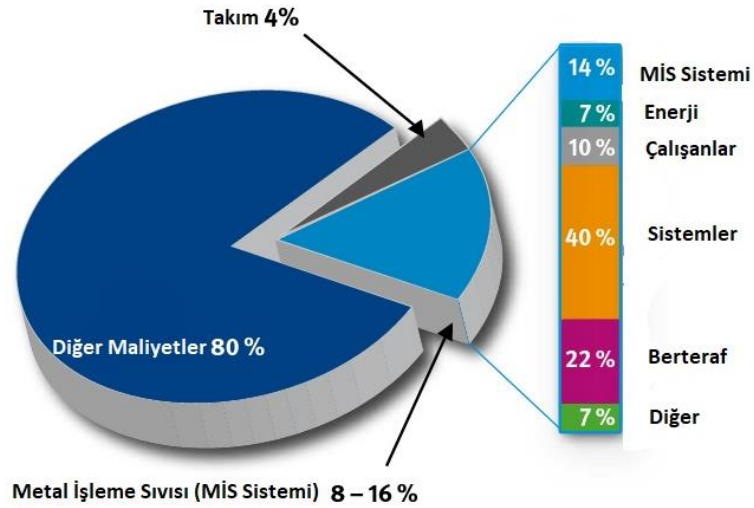
Şekil 3.20. Harici MQL sistem nozülü [42].

MQL uygulaması, içten ve dıştan olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır. Dıştan MQL sisteminde, sabit nozullar aracılığıyla kesici bölgeye dışarıdan püskürtme şeklinde uygulanırken, içten MQL sisteminde ise kesici takımın içerisinde açılmış kanallar aracılığıyla püskürtme gerçekleştirilir. MQL sistemleri ve dıştan MQL sistemleri kendi içinde tek kanallı ve çift kanallı olarak da ayrılmaktadır. Bu sistemlerin her birinin belirli konularda birbirine göre üstünlükleri bulunmaktadır. "Yağ-hava" karışımının dışarıda hazırlanıp püskürtüldüğü sistemler tek kanallı olarak adlandırılırken, yağ ve hava ayrı kanallardan nozul içine veya kesici takımın içine getirilerek karıştırılarak püskürtülen sistemlere ise çift kanallı denilmektedir [46].

MQL kullanıldığında, geleneksel işleme yöntemine göre aşağıdaki faydalar elde edilebilir:

1. İşleme sırasında kesme sıvısının önemli ölçüde azaltılması mümkün olur.
2. Kesme sıvısının bakımını takip etme ihtiyacı azalır.
3. Kullanılmış kesme sıvılarını geri dönüşüme veya bertaraf etmeye gerek kalmaz.
4. İşlenmiş malzemeler kolayca temizlenebilir ve neredeyse kuru olan talaşlar rahatlıkla geri dönüştürülebilir [44].

Şekil 3.21’de metal işleme sıvısının fabrika içerisinde genel bütçede kendi maliyetleri ve diğer maliyetler gösterilmektedir.



Şekil 3.21. Metal işlemede metal işleme sıvısı maliyetleri [44].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada endüstriyel alanda çok fazla kullanım alanına sahip başta savunma ve uzay ve havacılıkta yaygın olarak kullanılan AA7075- T6 alaşımının CNC torna ile kuru ve ıslak işleme yöntemleri ile değişken işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği) yüzey pürüzlülüğüne, takım aşınmasına, enerji tüketimi ve talaş oluşumuna etkileri incelenmiştir. Bu araştırma çalışmasında aşağıdaki adımları içeren bir süreç takip edilmiştir:

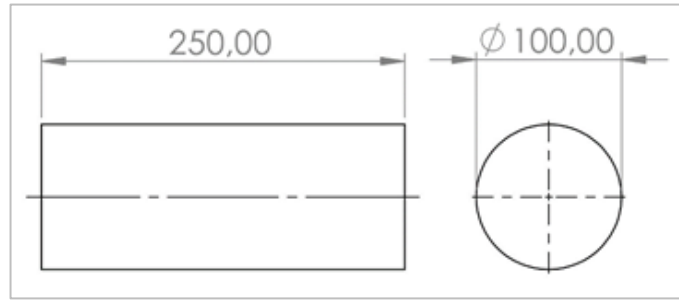
1. Malzeme tedariki: Çalışma için kullanılacak AA7075 alaşımı malzemesi temin edilmiştir.
2. Tornalama deneyleri: AA7075 malzemesi CNC torna makinesinde, farklı kesme hızları, ilerleme hızları ve kesme derinlikleri gibi işlem parametreleri kullanılarak işlenmiştir.
3. Yüzey pürüzlülüğü analizi: Kesme parametreleri ve kesme ortamlarının yüzey kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.
4. Takım aşınma analizi: Tornalama deneylerinde kullanılan kesici takımlar optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile detaylı takım analizi: Daha detaylı analiz için SEM kullanılarak kesici takımlardan detaylı görüntüler elde edilmiştir.
5. Enerji tüketimi analizi: Kesme parametreleri ve kesme ortamlarının yüzey enerji sarfiyatı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.
6. Talaş morfolojisi analizi: Farklı kesme parametreleri ve kesme ortamlarında talaş morfolojileri SEM cihazı ile incelenmiştir.

4.1. İŞ PARÇASI VE TAKIM TEZGÂHI

Deneyleer için kullanılan iş parçası, yüksek performanslı uygulamalarda ve güvenilir dayanıklılık gerektiren çeşitli sektörlerde tercih edilen AA7075-T6 alüminyum alaşımıdır. Malzeme, Seykoç Alüminyum Paz. Ve San. Tic. Ltd. Şti'den temin edilmiştir. Deney malzemesi üç adet çubuk şeklinde olup, her bir çubuk 100 mm çapında ve 250 mm uzunluğundadır. AA7075-T6 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 4.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir ve deney numunesi boyutları Şekil 4.1'de görsel olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Deney numunesinin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal Bileşimi:		Fiziksel Özellikler:	
Element	Miktar (%)	Özellik	Değer
Krom (Cr)	0.19	Yoğunluk	2.81 gr/cm ³
Bakır (Cu)	1.4	Sertlik (Hv)	176
Demir (Fe)	0.19	Çekme Dayanımı	572 MPa
Magnezyum (Mg)	2.5	Akma Dayanımı	503 MPa
Mangan (Mn)	0.22	Kopma Uzaması	%11
Silisyum (Si)	0.17	Elastisite Modulu	71.7
Titanyum (Ti)	0.08	Poisson Oranı	0.33
Çinko (Zn)	5.4	Ergime Sıcaklığı	635 °C
Alüminyum (Al)	89.85	Termal İletkenlik	130 W/mK



Şekil 4.1. Deney numunesinin boyutları.

Deneyleer, Karabük Üniversitesi bünyesinde yer alan Taksan TTC-550 model CNC Torna Tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın iş mili, değişken kademesiz hıza sahip olup 4000 dev/dak'a kadar çıkabilmekte ve 10 kW gücünde çalışmaktadır. Tornalama deneyleerinde kullanılan takım tezgâhı Şekil 4.2'de görsel olarak

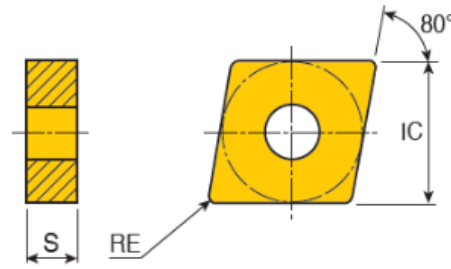
verilmiştir. Bu tezgâh, deneylerin gerçekleştirilmesi için uygun ve yeterli performansa sahip bir CNC torna tezgahıdır.



Şekil 4.2. Kullanılan takım tezgâhı.

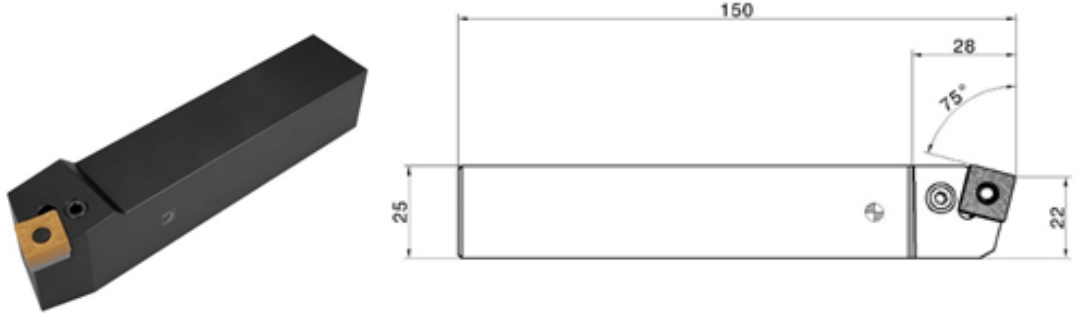
4.2. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU

AA7075-T6 alüminyum alaşımının tornalanmasında, CNMG 120404ML ISO standart numaralı değiştirilebilir karbür malzeme kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takımların geometrisi ve boyutları, deneylerin doğru ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesine imkân sağlamak için dikkatlice belirlenmiştir. Bu takımlar K10 kalitesine sahiptir ve kaplaması TiCN+Al₂O₃+TiCN'dir. Kesici takımların diğer özellikleri şu şekildedir: köşe radyusu 0.4 mm, yanaşma açısı 95°, uç kalınlığı 4.76 mm, kesme kenarı uzunluğu 12.9 mm ve maksimum kesme boyu 3.5 mm.



Şekil 4.3. Kesici takım geometrisi.

Tornalama deneyleri için tercih edilen kesici takımlar CNMG 120404 ML koduna sahiptir ve bağlantıları için PSBNR 2525 M12 kodlu bir takım tutucu kullanılmıştır. Bu takım tutucu, CNC torna tezgahında kesici takımların rijit bir yapıda tutulmasını sağlayarak kesme işleminin stabil bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır. Şekil 4.4'te takım tutucusunun özellikleri ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Kullanılan takım tutucu özellikleri.

4.3. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA SİSTEMİ

Minimum miktarda yağlama sistemi olarak (MQL) Werte Mist Company tarafından üretilen Werte StN 15 MQL sistemi kullanılmıştır. Werte StN 15 sistemi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Werte StN 15 Özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Çalışma Voltajı: 24V AC/DC
- Çalışma Basıncı: 4-6 Bar
- Yağ Miktarı Min: 0,0012 ml
- Yağ Miktarı Max: 0,028 ml
- Yağlama Aralığı: 0,1-10sn
- Yağlama Süresi: 0,1-10sn
- Rezervuar: 1,5lt
- Viskozite Aralığı: 2-30cst



Şekil 4.5. Werte StN 15 MQL sistemi ve nozul kısmı.

Kullanılan kesme sıvısı, biyolojik olarak parçalanabilen bitkisel bazlı WerteLubri uçucu yağıydı. Kesme sıvısı, kesme bölgesine sabit 45 mm mesafede ve 45° açıyla 100 ml/h akış hızı ve 5 bar basınçla uygulanmıştır.

4.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI

Tornalama testleri sonucunda işlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçümleri için 5 mm numune ölçüm uzunluğuna sahip Mahr tarafından üretilen M310 taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm kriteri olarak 0,8 mm ölçüm uzunluğu ve 4 mm örnekleme uzunluğu seçilmiştir.

4.5. TAKIM AŞINMASININ ÖLÇÜLMESİ

Takım aşınmalarının ölçümü Karabük Üniversitesi'nde bulunan Mitutoyo marka stereo mikroskopunda 5x ve 10x büyütmelemlerde ölçülmüştür. Daha ayrıntılı ölçümler, değişken kesme hızları ve ilerlemeler ile sabit kesme derinliğinde yapılan deneyler sonrasında takımlarda oluşan takım aşınmaları ve takım yapışmaları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve aşınma mekanizmaları belirlenmiştir. İncelemeler, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Margem Laboratuvarlarında bulunan EDS özellikli Carl Zeiss Ultra Plus Gemini SEM cihazı ile yapılmıştır.

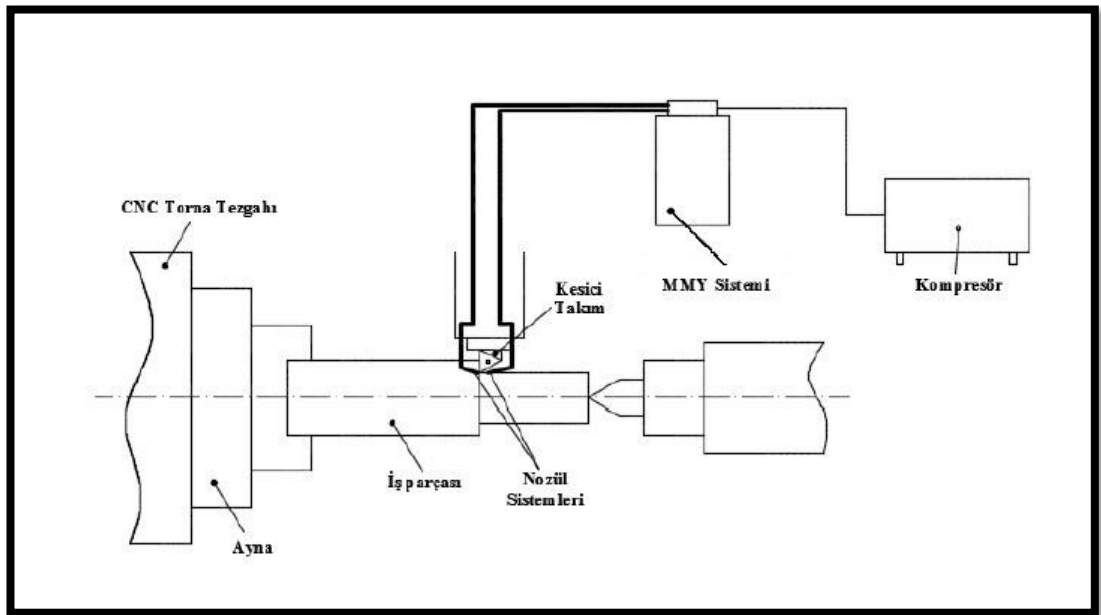
4.6. KESME PARAMETRELERİ VE DENEY TASARIMI

Bu çalışmada, kuru ve ıslak kesme ortamlarında kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği olmak üzere 3 farklı işleme parametresi kullanılmıştır. Çizelge 4.2’de işleme parametreleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. İşleme parametreleri.

	Deneş Numarası	Vc : Kesme Hızı (m/dak)	f: İlerleme Miktarı (mm/dev)	a: Kesme Derinliği (mm)
DRY	1	350	0,20	1,00
DRY	2	350	0,30	1,00
DRY	3	350	0,40	1,00
MQL	4	350	0,20	1,00
MQL	5	350	0,30	1,00
MQL	6	350	0,40	1,00

Deneş sistemi Şekil 4.6’daki gibi oluşturulmuş ve Çizelge 4.2’deki işleme deneş tasarımına göre tornalama deneşleri gerçekleştirilmiştir.



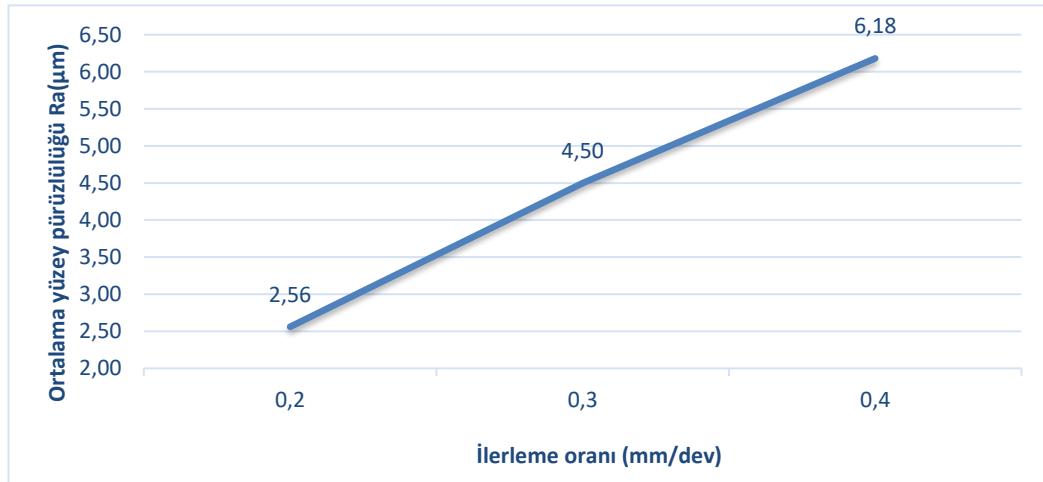
Şekil 4.6. Deneş şeması.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

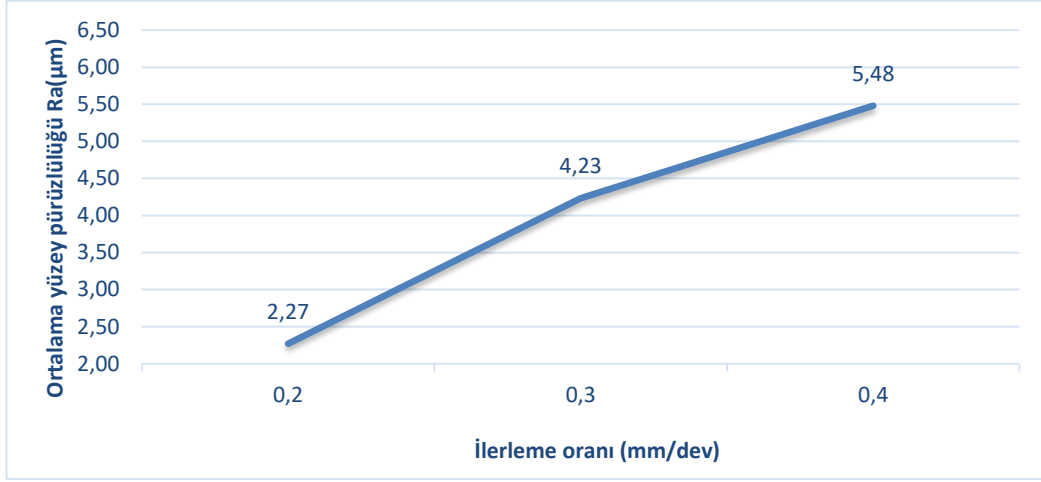
5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Farklı işleme parametreleri ve kuru ve MQL soğutma işlemi ile elde edilen yüzey pürüzlülükleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki gibidir.



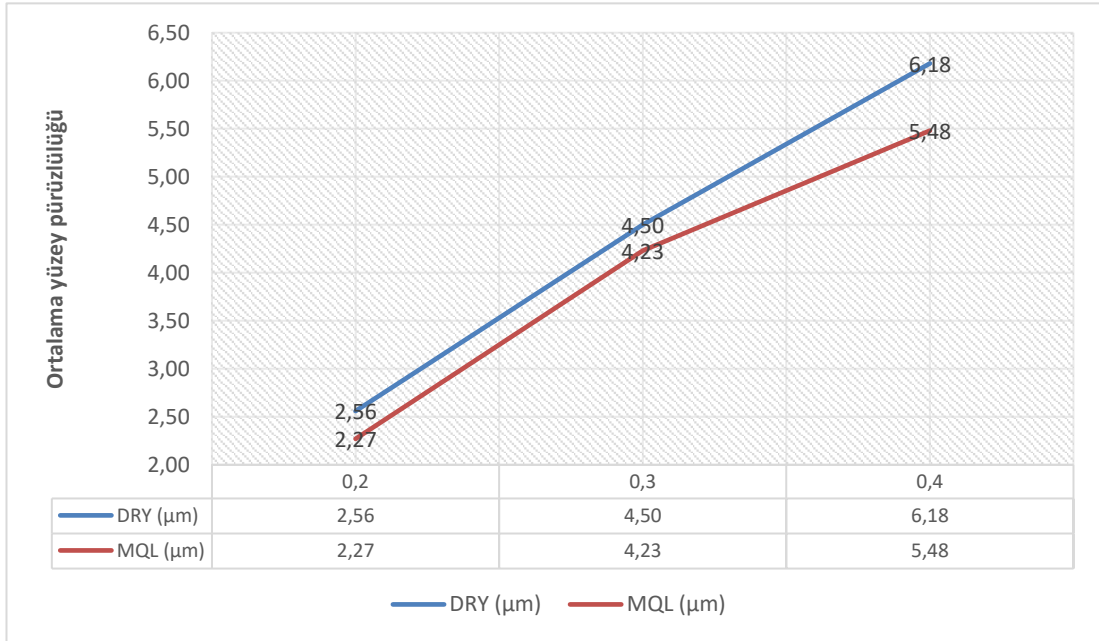
Şekil 5.1. Kuru işleme yüzey pürüzlülük değerleri.

Sabit kesme hızları (350 m/dk), değişken ilerleme oranları (0.20-0.30-0.40 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1 mm) ile kuru işleme şartlarında yapılmış olan deneylerin yüzey pürüzlülüğüne etkileri Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.2. MQL işleme yüzey pürüzlülük değerleri.

Sabit kesme hızları (350 m/dk), değişken ilerleme oranları (0.20-0.30-0.40 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1 mm) ile MMY ile işleme şartlarında yapılmış olan deneylerin yüzey pürüzlülüğüne etkileri Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Kuru ve ıslak işleme yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması.

Bu çalışmada, AA7075 T6 alaşımı iki farklı koşulda (kuru ve ıslak) kesme işlemi yapılmıştır. Kesme hızı ve kesme derinliği sabit tutulmuş, ancak ilerleme oranı üç

farklı değerde (0.20, 0.30, 0.40 mm/dev) değiştirilmiştir. Ayrıca, her deneyde yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.

Kuru işleme sonuçları şu şekildedir:

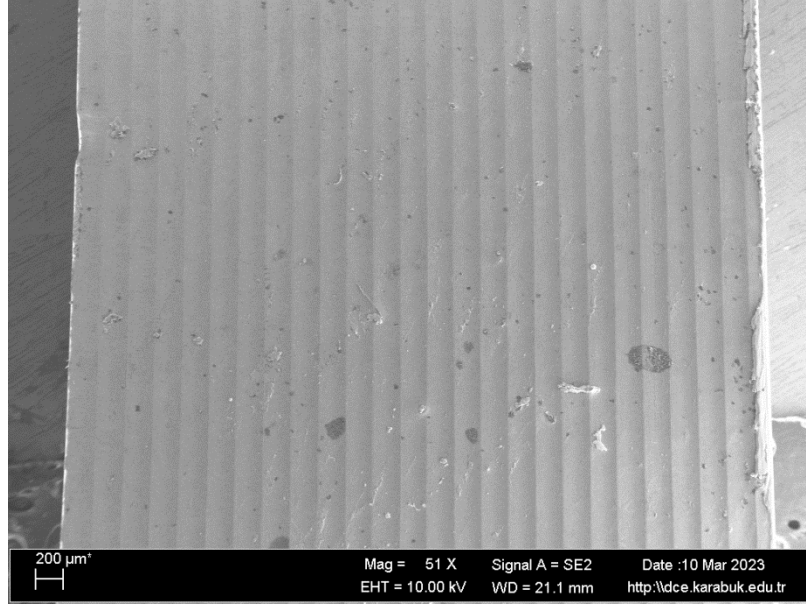
1. Kesme Hızı: 350 m/dak, İlerleme Oranı: 0.20 mm/dev, Kesme Derinliği: 1 mm
 - Ortalama Ra: 2.56
2. Kesme Hızı: 350 m/dak, İlerleme Oranı: 0.30 mm/dev, Kesme Derinliği: 1 mm
 - Ortalama Ra: 4.50
3. Kesme Hızı: 350 m/dak, İlerleme Oranı: 0.40 mm/dev, Kesme Derinliği: 1 mm
 - Ortalama Ra: 6.18

Islak işleme sonuçları şu şekildedir:

4. Kesme Hızı: 350 m/dak, İlerleme Oranı: 0.20 mm/dev, Kesme Derinliği: 1 mm
 - Ortalama Ra: 2.27
5. Kesme Hızı: 350 m/dak, İlerleme Oranı: 0.30 mm/dev, Kesme Derinliği: 1 mm
 - Ortalama Ra: 4.23
6. Kesme Hızı: 350 m/dak, İlerleme Oranı: 0.40 mm/dev, Kesme Derinliği: 1 mm
 - 1. Ortalama Ra: 5.48

Sonuçlar, kuru işleme ile ıslak işlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini göstermektedir. İlerleme oranı arttıkça hem kuru hem de ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Kuru işlemede ıslak işlemeye kıyasla daha yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılmıştır.

Sonuçlar, işleme koşullarının alaşımın yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, ıslak işlemenin kuru işlemeye kıyasla genellikle daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (Kuru, V=350 m/dk, f=0.40 mm/dev).



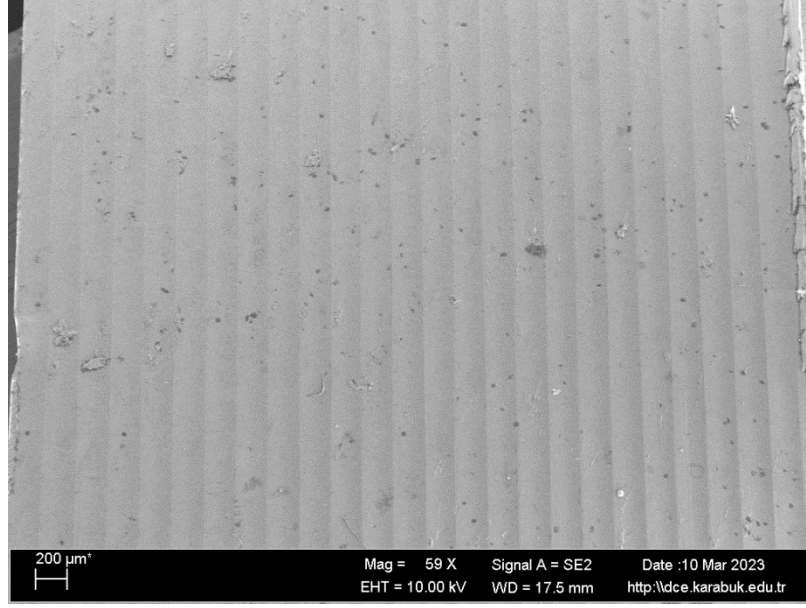
Şekil 5.5. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (Kuru, V=350 m/dk, f=0.40 mm/dev).



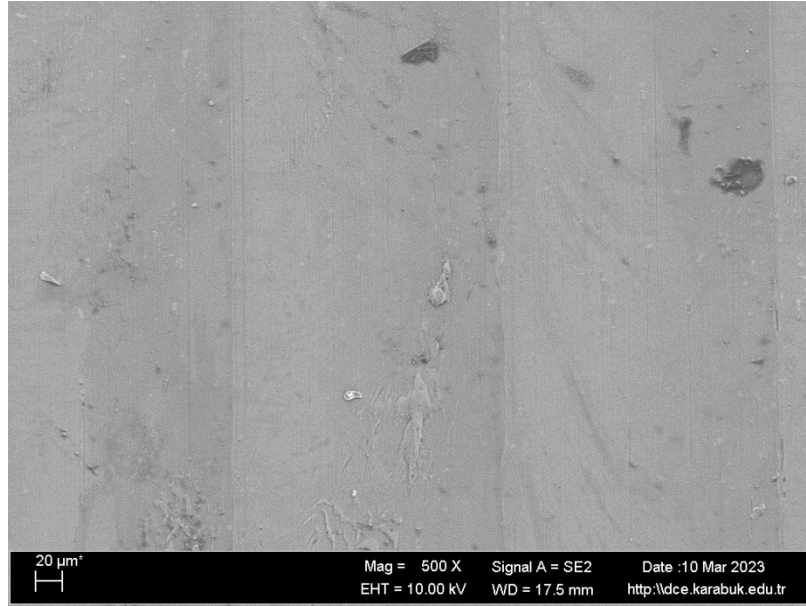
Şekil 5.6. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (Kuru, V=350 m/dk, f=0.40 mm/dev).



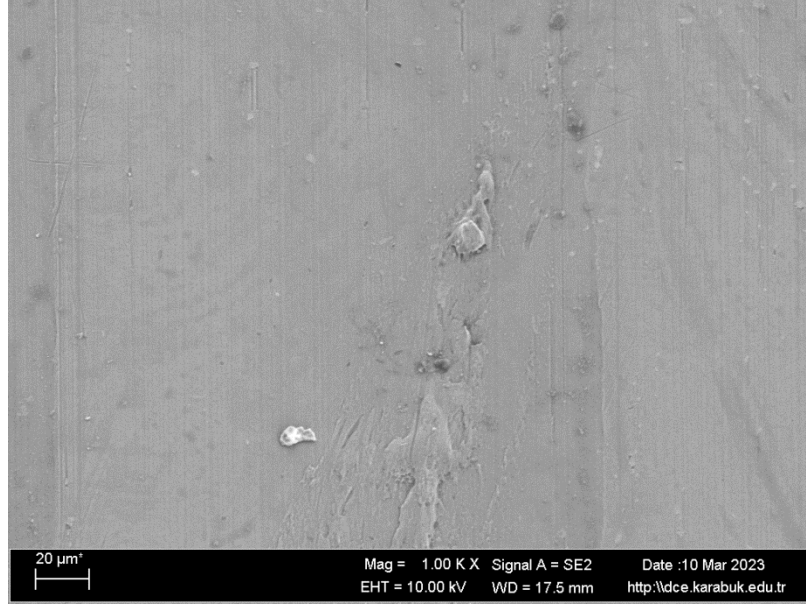
Şekil 5.7. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (Kuru, V=350 m/dk, f=0.40 mm/dev).



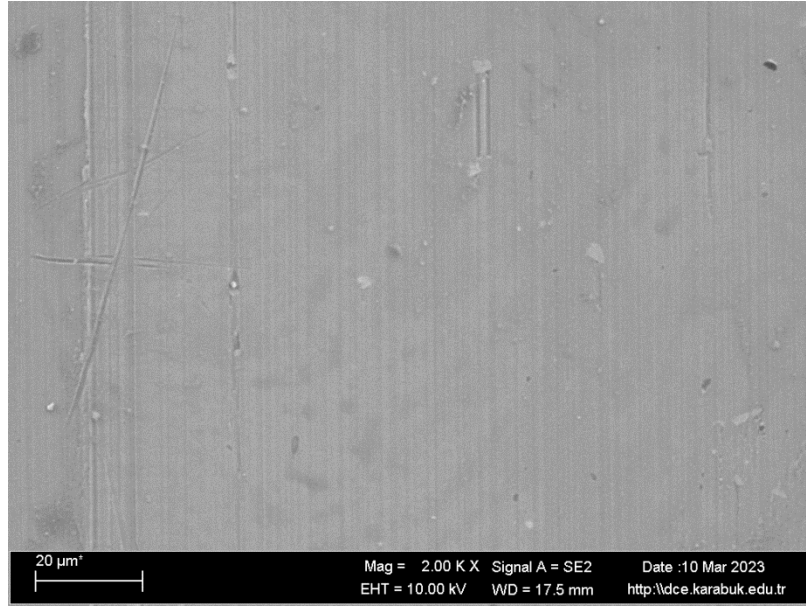
Şekil 5.8 İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (MQL, V=350 m/dk, f=0.40 mm/dev).



Şekil 5.9. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (MQL, V=350 m/dk, f=0.40 mm/dev).



Şekil 5.10. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (MQL, V=350 m/dk, f=0.40 mm/dev).




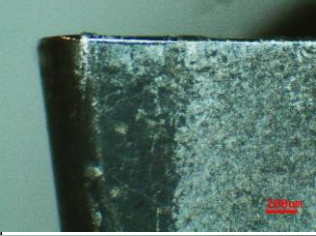
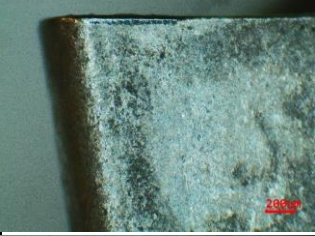
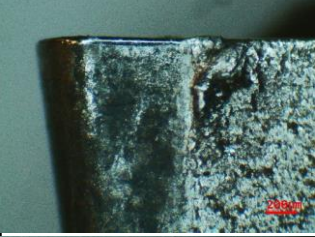
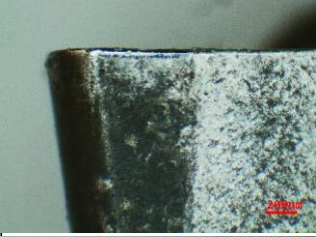
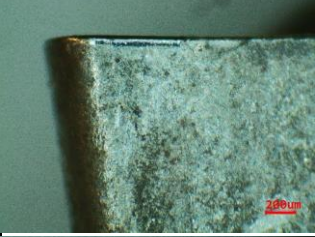
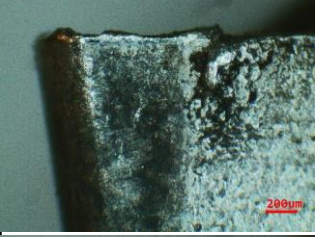
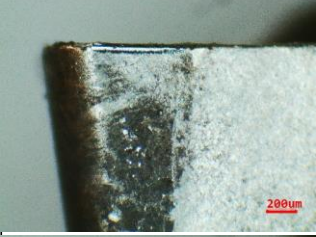
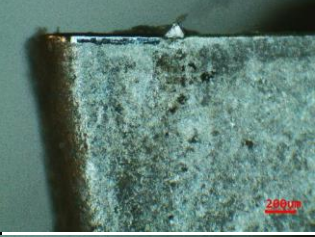
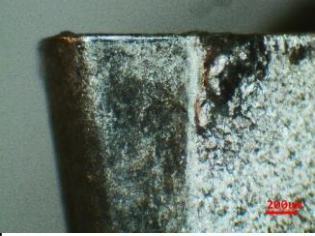
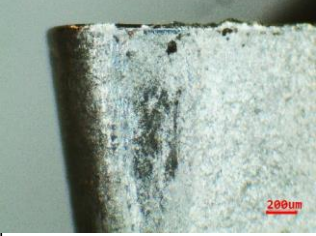
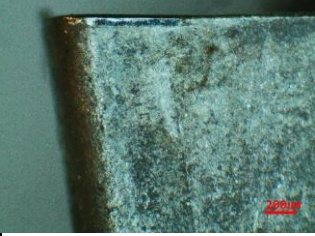
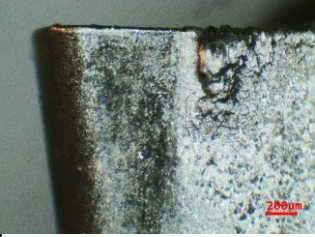
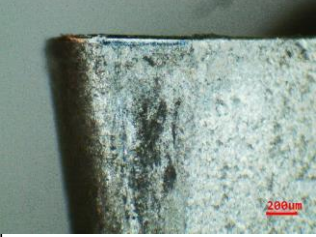
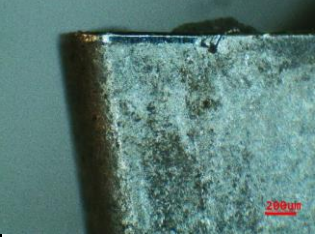
Şekil 5.11. İşlenmiş yüzey SEM görüntüsü (MQL, V=350 m/dk, f=0.40 mm/dev).

Malzemenin yüzey kalitesini değerlendirmek amacıyla ıslak ve kuru talaş kaldırma işlemlerini karşılaştırmak üzere gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleme cihazından faydalanılarak ıslak ve kuru parçalardan alınan 8 adet yüzey görüntüsü çekilmiştir. Görüntüler, makro, 500x, 1000x ve 2000x büyütme oranlarında elde edilmiştir.

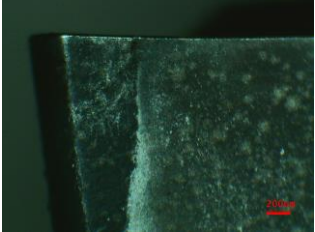
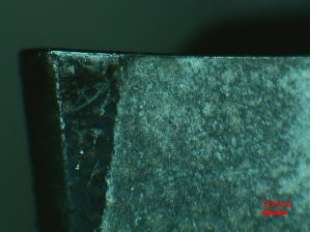
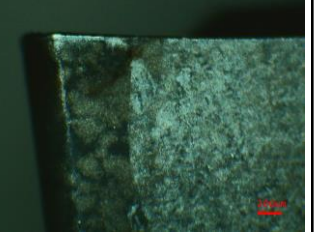
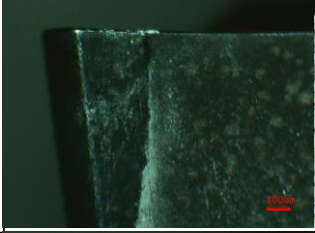
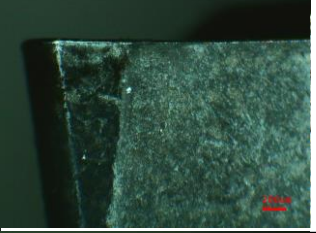
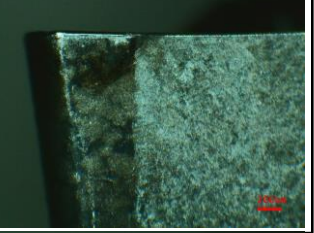
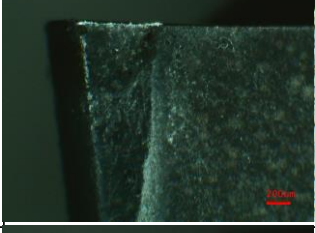
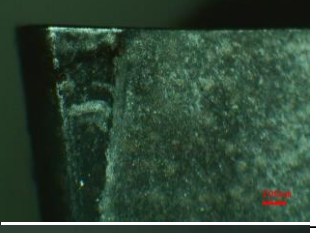
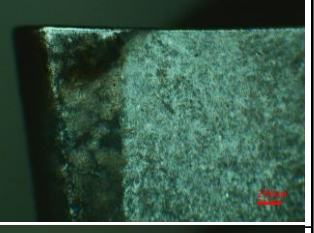
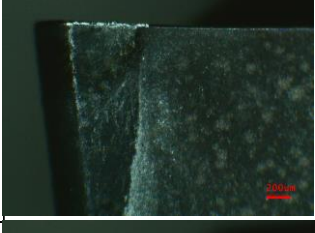
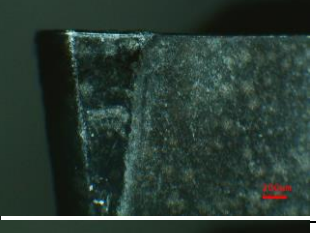
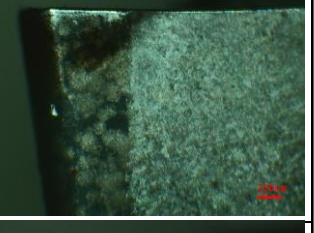
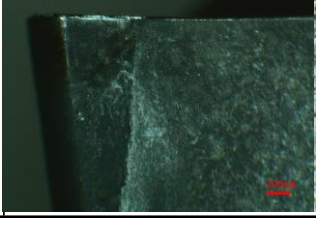
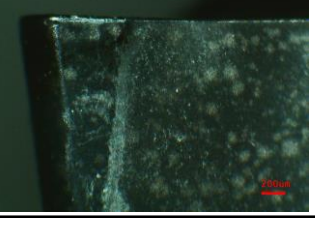
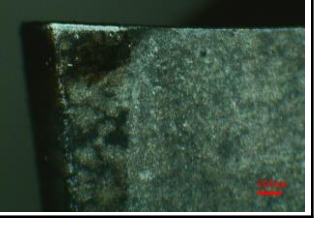
Elde edilen görüntüler ve Ra (ortalama yüzey pürüzlülüğü) değerleri kullanılarak yapılan karşılaştırmada, ıslak işlemin görsel ve ölçüsel olarak daha üstün bir yüzey kalitesi sunduğu belirlenmiştir. İncelemeler sonucunda aşınma miktarı daha düşük ve yüzey daha pürüzsüz olarak değerlendirilen ıslak işlemin, malzemenin yüzeyinde daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, talaş kaldırma işlemlerinde ıslak ve kuru işleme arasındaki yüzey kalitesi farkını açıkça ortaya koymaktadır.

5.2. KESİCİ TAKIM AŞINMASI

Sabit kesme hızı (350 m/dk) ve sabit kesme derinliğinde (1 mm), değişken ilerleme oranlarında (0.2, 0.3, 0.4 mm/dev) gerçekleştirilen kuru ve ıslak işleme koşullarında, farklı işleme uzunluklarında (800, 1600, 2400, 3200, 4000 mm) kesici takımlarda oluşan aşınmalar Şekil 5.12 ve Şekil 5.13.'te gösterilmiştir.

	DRY Takım 1 Vc=350 m/dk f=0.2 mm/dev	DRY Takım 2 Vc=350 m/dk f=0.3 mm/dev	DRY Takım 3 Vc=350 m/dk f=0.4 mm/dev
800 mm			
1600 mm			
2400 mm			
3200 mm			
4000 mm			

Şekil 5.12. Kesici takımların takım yolu sonucunda gözlemlenen aşınmalar (kuru ortam).

	MLL Takım 4 Vc=350 m/dk f=0.2 mm/dev	MLL Takım 5 Vc=350 m/dk f=0.3 mm/dev	MLL Takım 6 Vc=350 m/dk f=0.4 mm/dev
800 mm			
1600 mm			
2400 mm			
3200 mm			
4000 mm			

Şekil 5.13. Kesici takımların takım yolu sonucunda gözlemlenen aşınmalar (ıslak MQL ortam).

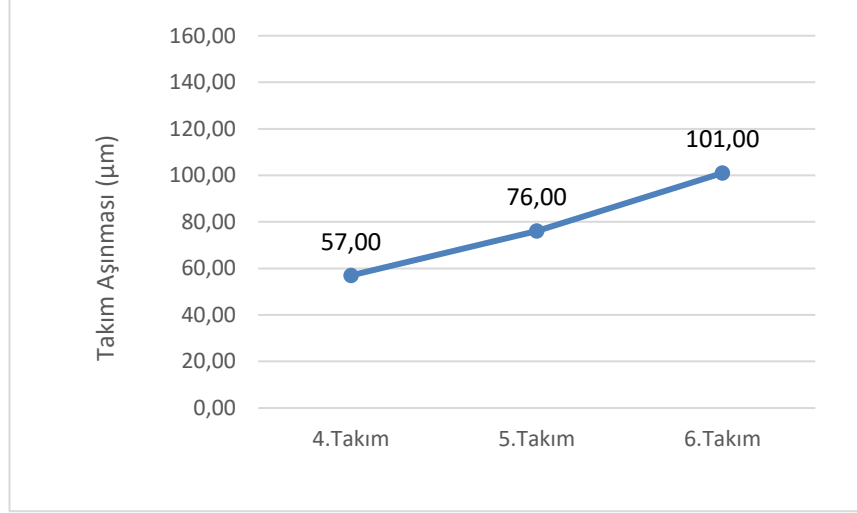
- Kuru işlemede takım aşınmasının yapışan talaş miktarı ve serbest yüzey aşınmasının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
- MQL işleme koşullarında, aşınma miktarının kuru işlemeye kıyasla daha az olduğu görülmüştür.
- İlerleme oranının artmasıyla takım aşınmasının da arttığı gözlemlenmiştir.
- Yol uzunluğunun artmasıyla takım aşınmasının arttığı ve işlenen yüzeylerin kalitesinin etkilendiği görülmüştür.

Bu çalışma, sabit kesme hızı ve sabit kesme derinliğinde yapılan kuru ve MQL işleme koşullarında, farklı ilerleme oranları ve yol uzunlukları altında kesici takımların aşınma davranışlarını değerlendirmiştir. MQL işleme koşullarının takım aşınmasını azalttığı gözlemlenmiştir. İlerleme oranı ve yol uzunluğu gibi işleme parametrelerinin de takım aşınmasına önemli etkileri olduğu görülmüştür.

Kuru ve ıslak ortamlarda gerçekleştirilen deneylerde aşınma değerleri μm olarak Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te verilmiştir.



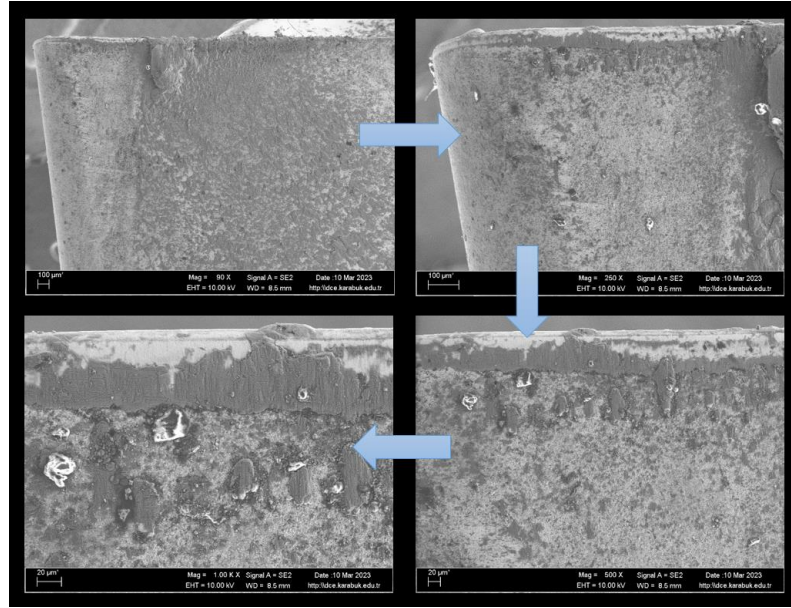
Şekil 5. 14. Kuru ortamda işlemede aşınma miktarları.



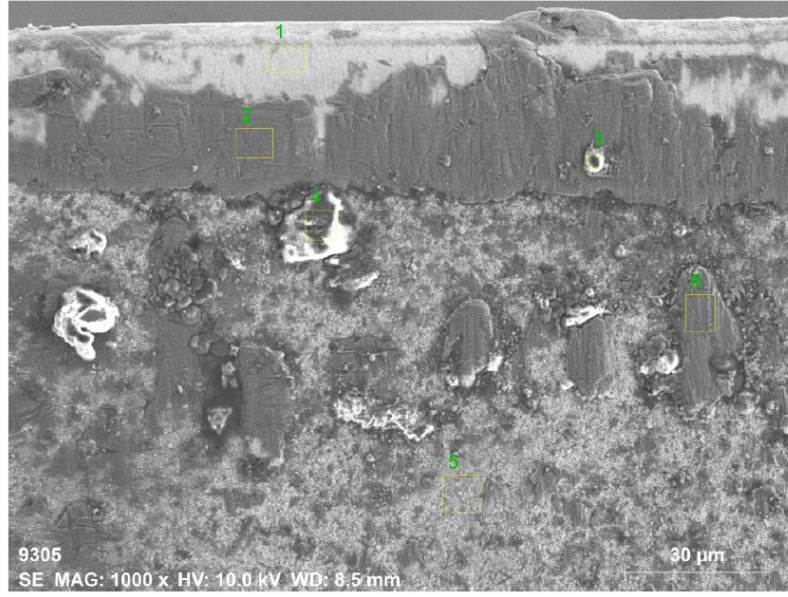
Şekil 5. 15. MQL ortamda işlemede aşınma miktarları.

Deney sonuçları incelendiğinde, MQL ortamda yapılan işlemlerde genel olarak daha düşük takım aşınmaları elde edildiği gözlenmektedir. Kuru işleme koşullarında ise takım aşınma miktarlarının ortalama olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir. MQL işleme koşulları, daha iyi soğutma ve yağlama sağlayarak takım ömrünü artırma potansiyeli sunmaktadır.

Takım 1:



Şekil 5.16. Kuru işlemede takım 1 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.

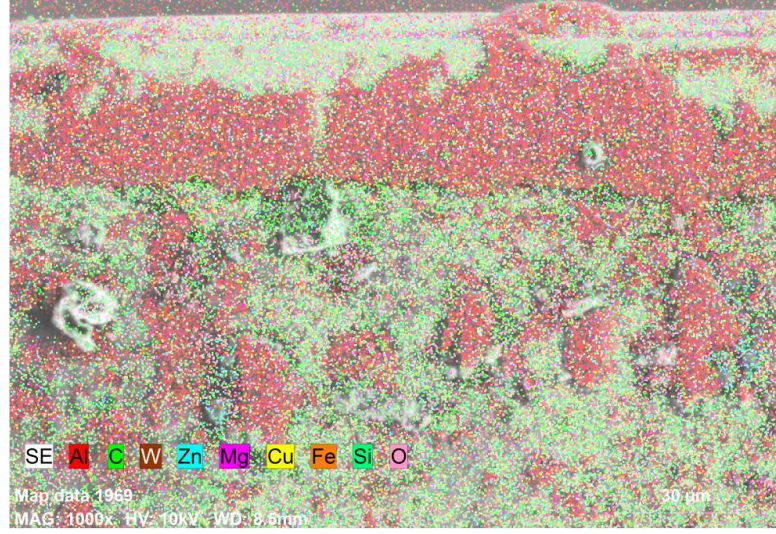


Şekil 5.17. Kuru işlemden takım 1 için SEM görüntüsü (1000x).

Takım 1’de Şekil 5.17’te gösterilen görüntüde takım üzerine yapışan maddeler numaralarla gösterilmiştir. Üzerine hangi elementlerin yapıştığı SEM cihazı yardımıyla değerler yüzdelik olarak Çizelge 5.1’de paylaşılmıştır.

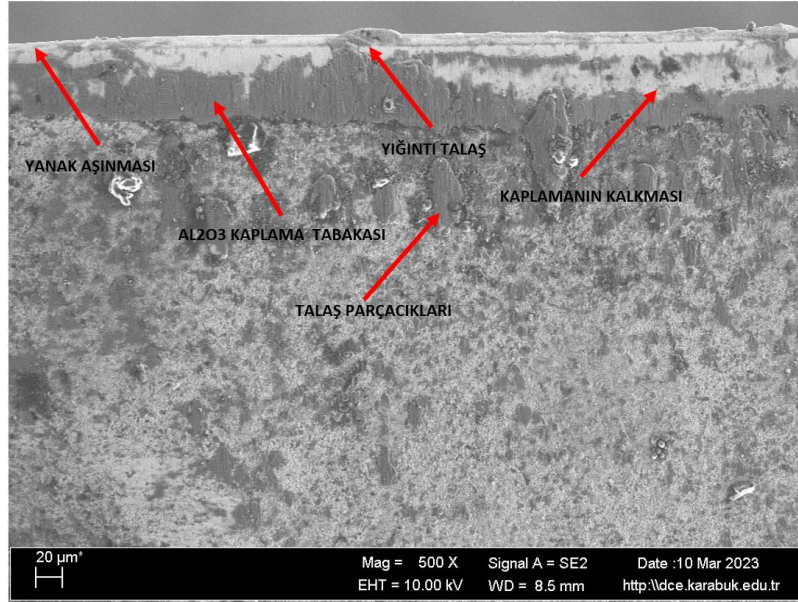
Çizelge 5. 1. Takım 1, üzerindeki elementlerin oranları.

Mass percent (%)									
Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Cu	Zn	W
1	10.36	8.99	1.52	5.20	11.44	1.87	0.25	0.09	60.27
2	7.17	4.46	2.76	74.81	0.00	0.00	3.48	7.31	0.00
3	47.00	32.35	0.52	5.91	0.06	0.00	0.00	14.03	0.13
4	55.72	36.08	0.54	1.58	0.63	0.73	0.15	4.57	0.00
5	21.87	14.97	0.00	6.84	8.33	5.67	1.32	0.00	41.00
6	12.03	7.68	2.59	66.68	0.00	0.23	3.18	7.61	0.00
Mean value:	25.69	17.42	1.32	26.84	3.41	1.42	1.40	5.60	16.90
Sigma:	20.66	13.50	1.16	34.15	5.12	2.20	1.57	5.31	26.83
Sigma mean:	8.44	5.51	0.47	13.94	2.09	0.90	0.64	2.17	10.95



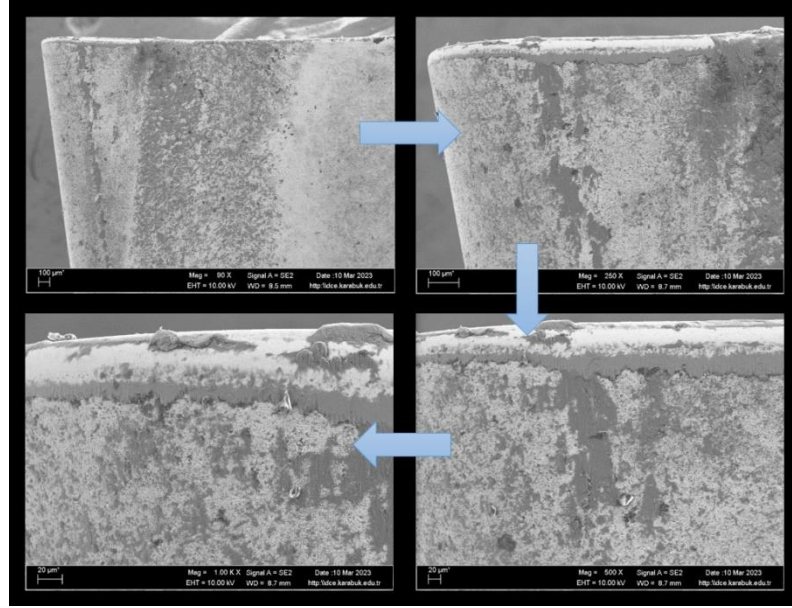
Şekil 5.18. Takım 1 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.

Değerler incelendiğinde takım üzerinde yüksek oranda Al, C ve W elementlerinin bulunduğu görülmektedir. Takım üzerinde Al bulunması takımda talaş yığılması olduğunu göstermektedir.

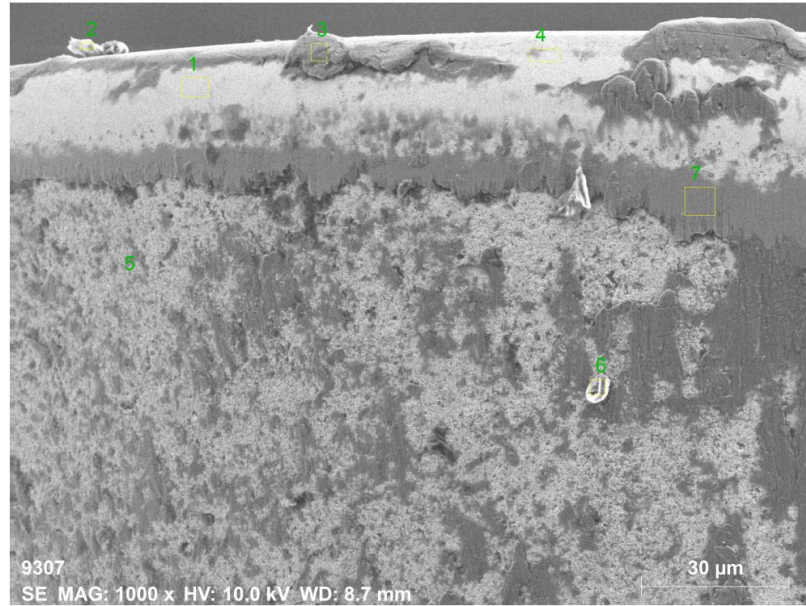


Şekil 5.19. Kuru işlemden, 1 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).

Takım 2:



Şekil 5.20. Kuru işlemdede takım 1 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.

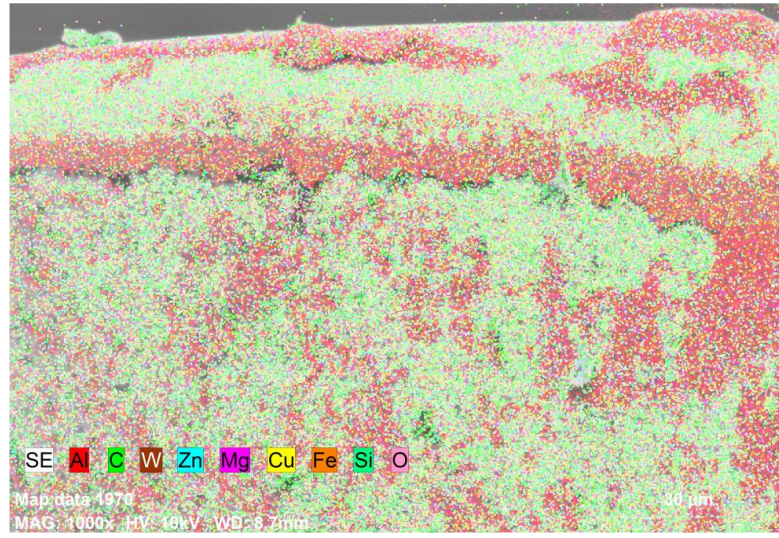


Şekil 5.21. Kuru işlemdede takım 2 için SEM görüntüsü (1000x).

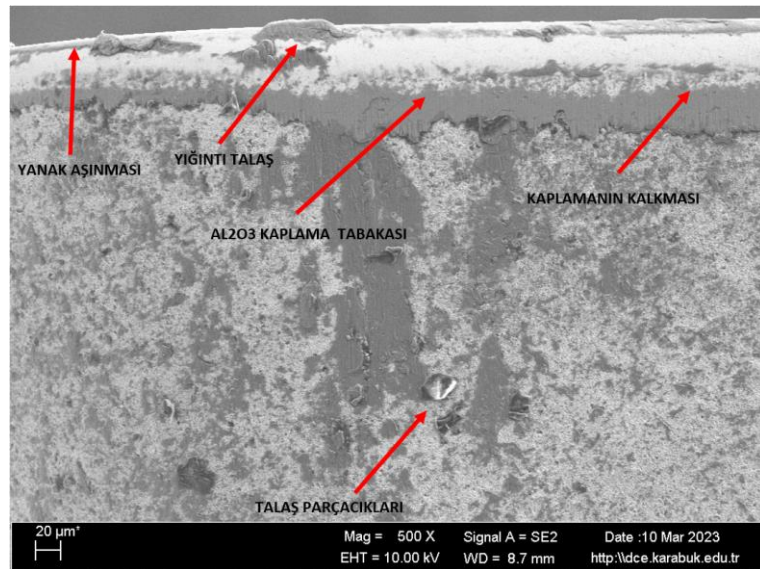
Takım 2 için Şekil 5.21. de gösterilen görüntüde takım üzerine yapışan maddeler numaralarla gösterilmiştir. Üzerine hangi elementlerin yapıştığı SEM cihazı yardımıyla değerler yüzdelik olarak Çizelge 5.2’de paylaşılmıştır.

Çizelge 5.2. Takım 2, üzerindeki elementlerin oranları.

Mass percent (%)									
Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Cu	Zn	W
1	10.88	2.95	0.00	0.90	14.09	0.00	0.16	0.23	70.78
2	54.19	34.48	0.30	0.66	0.77	0.00	0.25	6.17	3.18
3	33.54	22.61	1.27	34.16	0.28	0.66	2.30	5.17	0.00
4	15.61	10.48	2.40	7.99	10.74	0.00	0.25	0.52	52.00
5	14.30	7.56	0.00	20.63	9.40	0.00	0.00	0.46	47.64
6	37.10	35.33	0.38	3.05	0.42	0.00	0.00	23.34	0.39
7	4.37	2.76	0.62	64.91	0.00	13.56	11.83	1.61	0.34
Mean value:	24.29	16.59	0.71	18.90	5.10	2.03	2.12	5.36	24.91
Sigma:	17.77	14.16	0.86	23.73	6.07	5.09	4.36	8.28	30.69
Sigma mean:	6.72	5.35	0.33	8.97	2.29	1.92	1.65	3.13	11.60

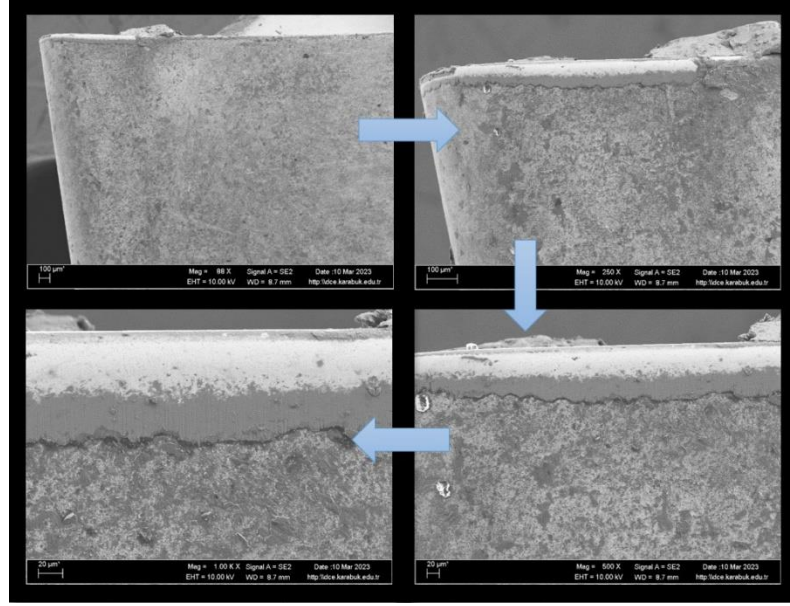


Şekil 5.22. Takım 2 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.

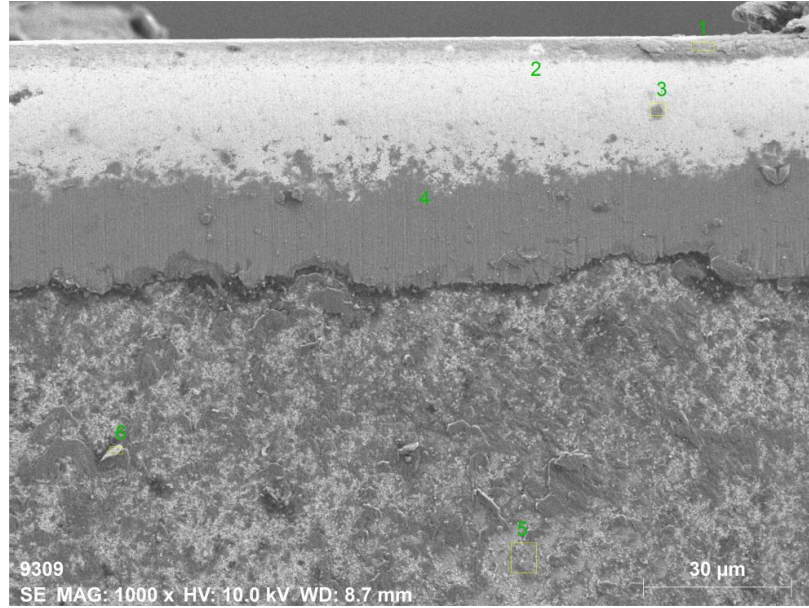


Şekil 5.23. Kuru işlemden sonra, 2 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).

Takım 3:



Şekil 5.24. Kuru işlemdede takım 3 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.

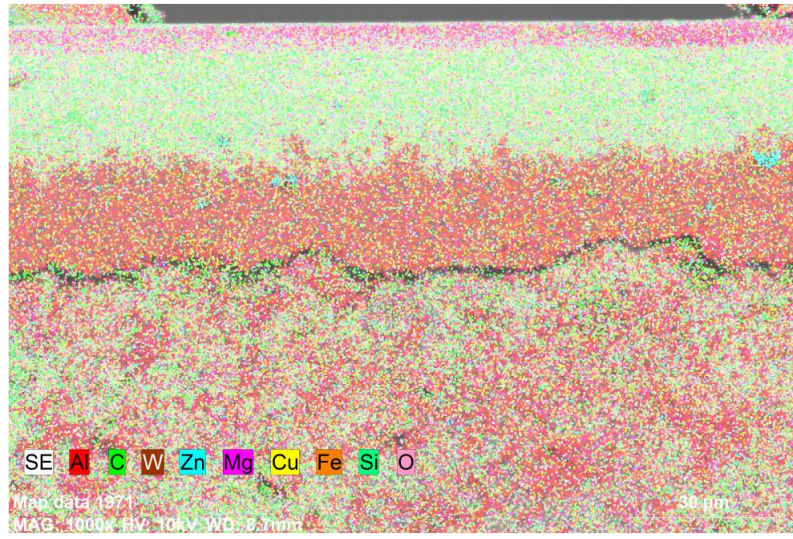


Şekil 5.25. Kuru işlemdede takım 3 için SEM görüntüsü (1000x).

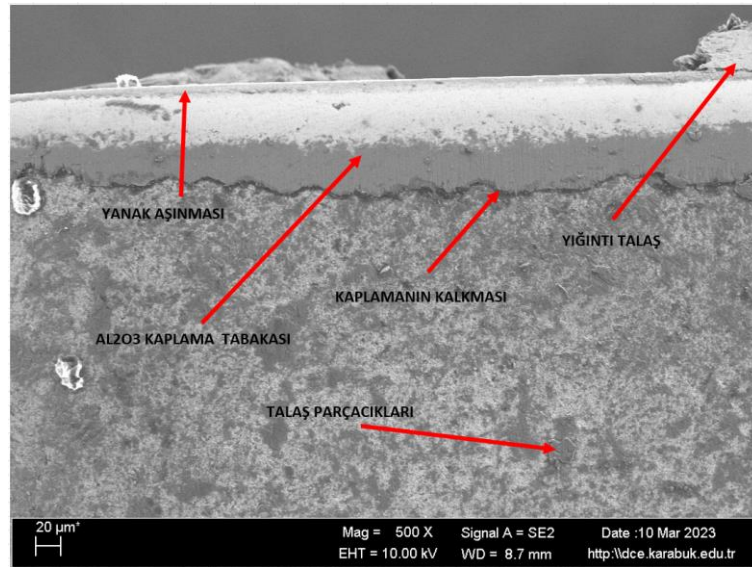
Takım 3'te Şekil 5.25. te gösterilen görüntüde takım üzerine yapışan maddeler numaralarla gösterilmiştir. Üzerine hangi elementlerin yapıştığı SEM cihazı yardımıyla değerler yüzdelik olarak Çizelge 5.3'te paylaşılmıştır.

Çizelge 5.3. Takım 3, üzerindeki elementlerin oranları.

Mass percent (%)									
Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Cu	Zn	W
1	8.50	29.69	13.67	37.92	0.84	0.62	3.37	3.25	2.15
2	9.54	23.86	10.00	27.77	4.41	0.00	2.66	2.53	19.23
3	15.24	7.43	0.20	0.50	8.15	0.00	0.00	26.73	41.75
4	14.51	7.00	0.14	6.96	7.57	0.47	0.00	24.78	38.56
5	9.89	12.55	1.39	41.72	4.52	1.41	2.63	1.84	24.05
6	23.16	7.74	2.03	56.54	0.00	0.12	2.85	5.93	1.62
Mean value:	13.48	14.71	4.57	28.57	4.25	0.44	1.92	10.84	21.23
Sigma:	5.50	9.73	5.79	21.44	3.35	0.54	1.51	11.65	17.22
Sigma mean:	2.24	3.97	2.36	8.75	1.37	0.22	0.62	4.76	7.03

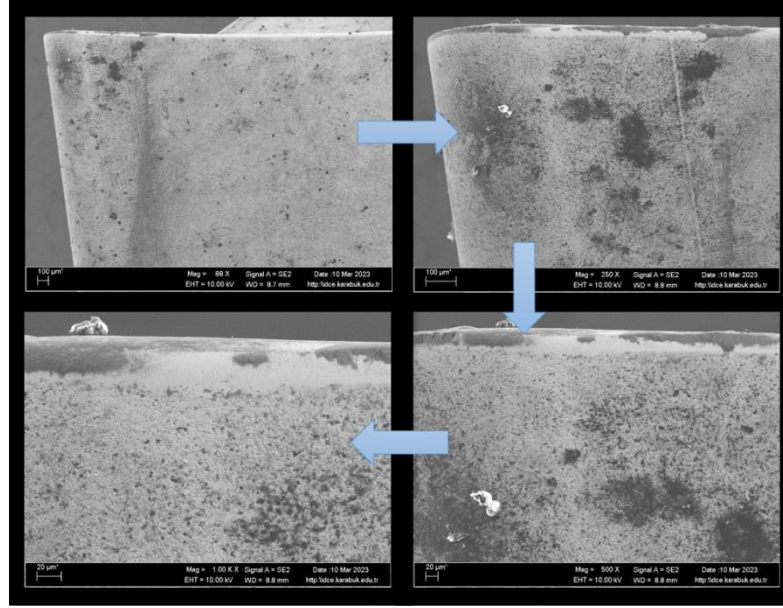


Şekil 5.26. Takım 3 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.

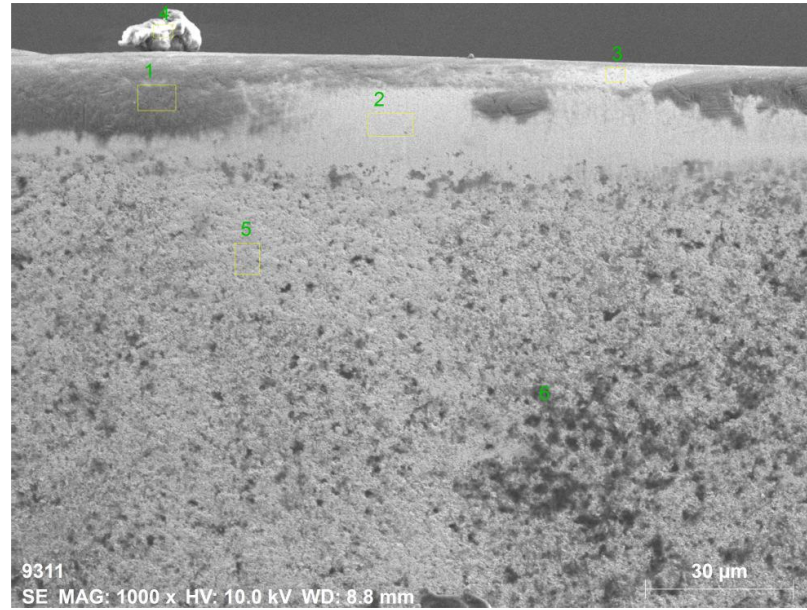


Şekil 5.27. Kuru işleme, 3 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).

Takım 4:



Şekil 5.28. MQL işleminde takım 4 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.



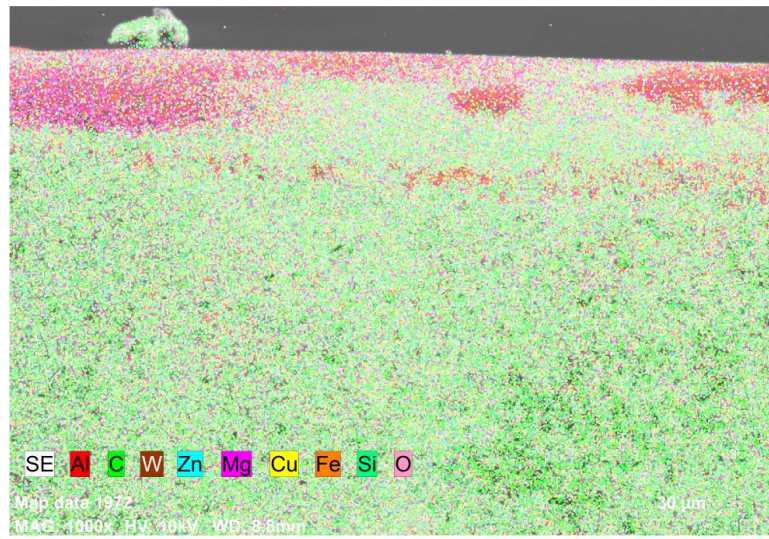
Şekil 5.29. MQL işleminde takım 4 için SEM cihazında görüntüsü (1000x).

Takım 4'te Şekil 5.29. da gösterilen görüntüde takım üzerine yapışan maddeler numaralarla gösterilmiştir. Üzerine hangi elementlerin yapıştığı SEM cihazı yardımıyla değerler yüzdelik olarak Çizelge 5.4'te paylaşılmıştır.

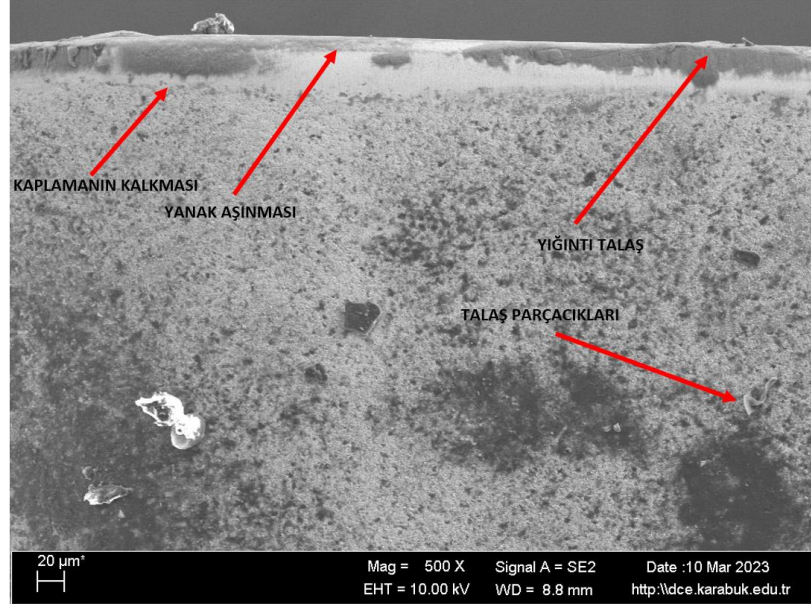
Çizelge 5.4. Takım 4, üzerindeki elementlerin oranları.

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Cu	Zn	W
1	10.62	24.53	9.25	39.06	1.32	0.00	2.57	3.57	9.09
2	11.55	6.80	1.20	1.97	12.27	3.10	0.15	0.00	62.94
3	13.63	18.92	3.93	9.85	8.34	0.82	1.30	1.62	41.60
4	59.36	31.71	0.44	2.74	0.45	0.00	0.07	5.15	0.07
5	15.43	2.33	0.00	0.91	13.99	0.35	0.66	0.33	66.00
6	24.01	5.01	0.00	0.71	10.51	0.00	0.00	0.00	59.75
Mean value:	22.43	14.88	2.47	9.20	7.81	0.71	0.79	1.78	39.91
Sigma:	18.71	11.94	3.63	15.01	5.69	1.22	1.00	2.15	28.79
Sigma mean:	7.64	4.87	1.48	6.13	2.32	0.50	0.41	0.88	11.75

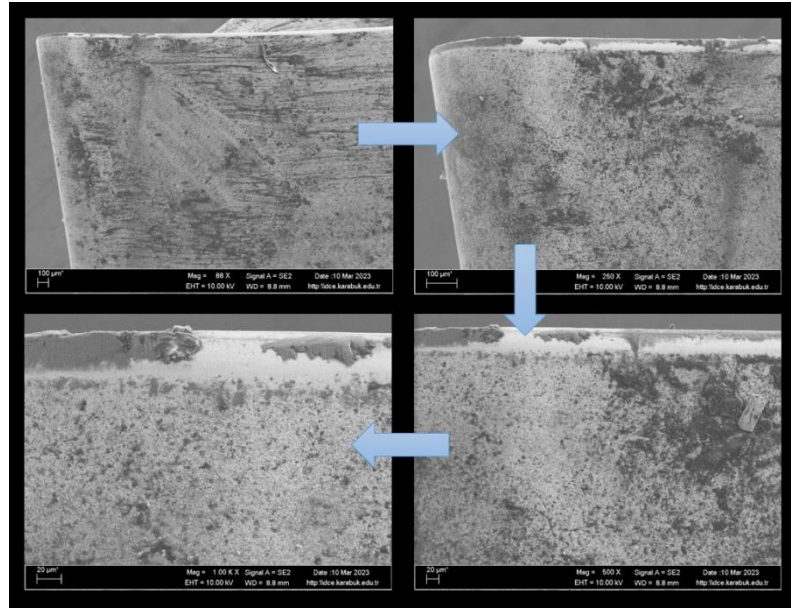


Şekil 5.30. Takım 4 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.

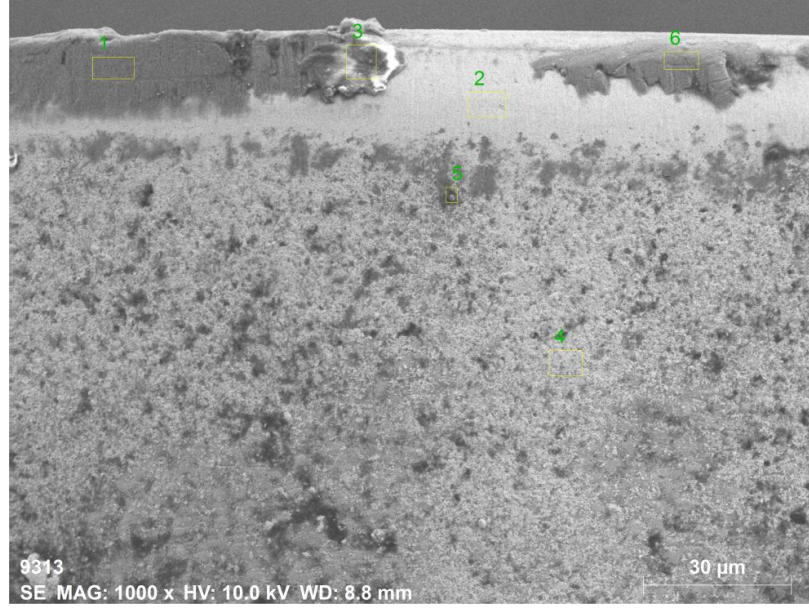


Şekil 5.31. MQL işlemdе, 4 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).

Takım 5:



Şekil 5.32. MQL işlemdе takım 5 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.

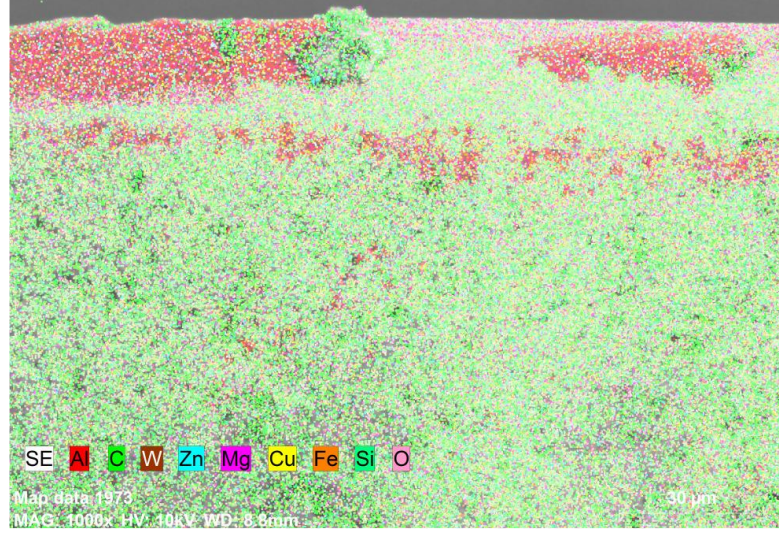


Şekil 5.33. MQL işleminde takım 5 için SEM görüntüsü (1000x).

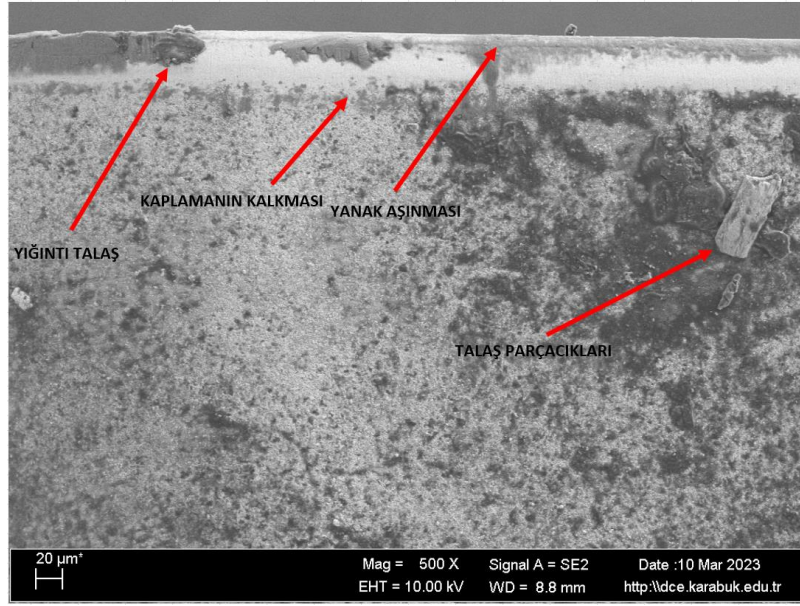
Takım 5'te Şekil 5.33. de gösterilen görüntüde takım üzerine yapışan maddeler numaralarla gösterilmiştir. Üzerine hangi elementlerin yapıştığı SEM cihazı yardımıyla değerler yüzdelik olarak Çizelge 5.5'te paylaşılmıştır.

Çizelge 5.5. Takım 5, üzerindeki elementlerin oranları.

Mass percent (%)									
Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Cu	Zn	W
1	11.67	9.95	2.62	66.61	0.00	0.00	2.74	6.42	0.00
2	12.53	4.99	0.27	1.39	12.25	3.41	0.04	0.00	65.11
3	54.30	38.55	0.15	0.22	0.26	0.00	1.42	4.58	0.53
4	19.24	3.57	0.00	0.56	14.72	0.00	0.00	0.00	61.90
5	42.77	18.44	0.62	12.35	3.99	1.05	1.26	0.21	19.31
6	11.15	3.40	2.64	70.47	0.00	0.37	3.24	7.26	1.48
Mean value:	25.27	13.15	1.05	25.27	5.21	0.80	1.45	3.08	24.72
Sigma:	18.61	13.69	1.24	33.84	6.64	1.34	1.34	3.41	30.92
Sigma mean:	7.60	5.59	0.51	13.82	2.71	0.55	0.55	1.39	12.62

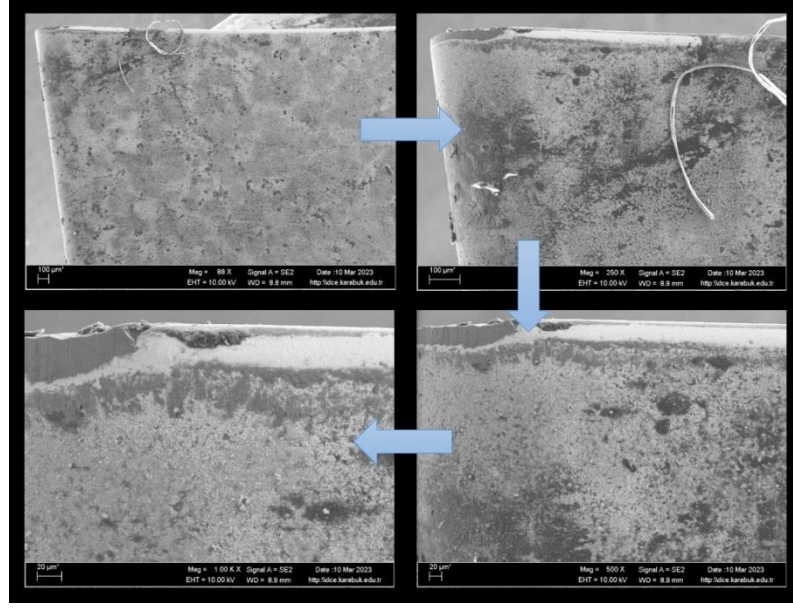


Şekil 5.34. Takım 5 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.

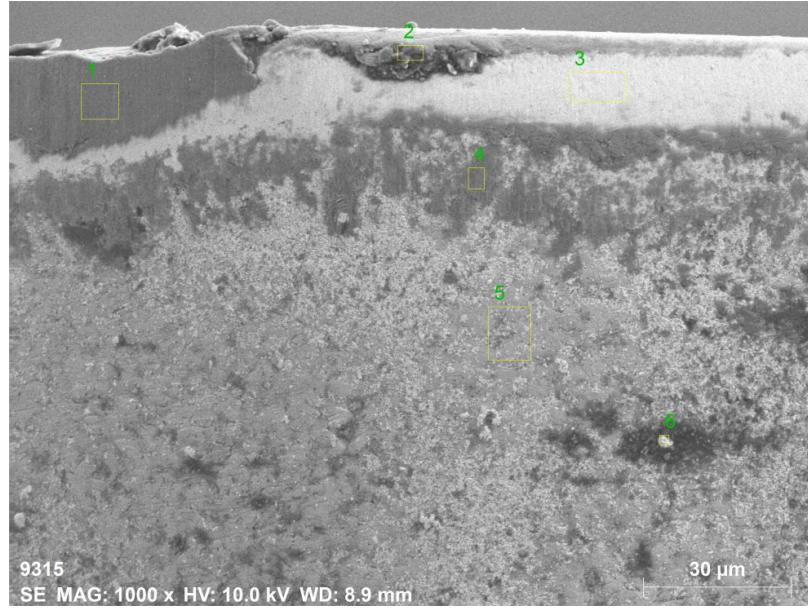


Şekil 5.35. MQL işlemden sonra, 5 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).

Takım 6:



Şekil 5.36. MQL işlemden takım 6 için SEM görüntüsü; sırasıyla makro, 250x,500x,1000x.



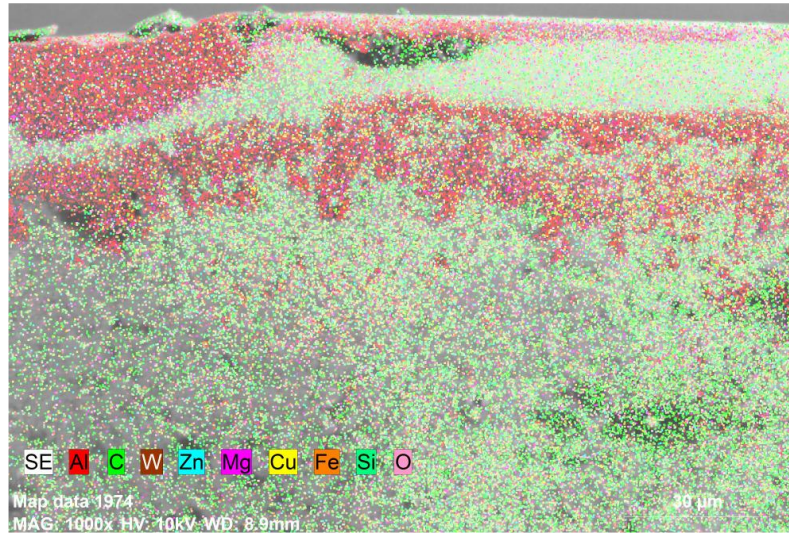
Şekil 5.37. MQL işlemden takım 6 için SEM görüntüsü (1000x).

Takım 6'da Şekil 5.34. de gösterilen görüntüde takım üzerine yapışan maddeler numaralarla gösterilmiştir. Üzerine hangi elementlerin yapıştığı SEM cihazı yardımıyla değerler yüzdelik olarak Çizelge 5.6'da paylaşılmıştır.

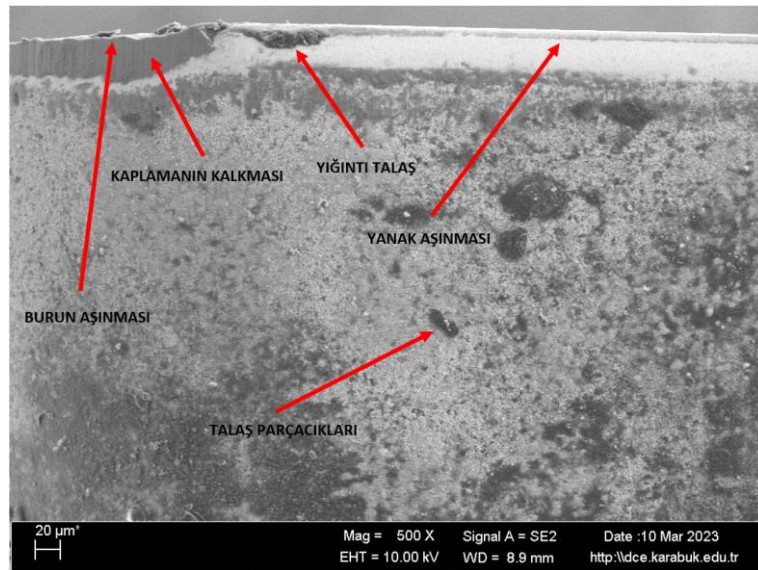
Çizelge 5.6. Takım 6, üzerindeki elementlerin oranları.

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Fe	Cu	Zn	W
1	6.00	10.08	3.41	70.31	0.15	0.27	3.27	6.50	0.00
2	50.36	10.58	1.29	31.43	0.29	0.00	1.75	4.31	0.00
3	14.14	1.89	0.02	0.37	13.82	2.51	0.23	0.18	66.83
4	5.16	7.78	5.29	59.14	0.00	7.92	9.79	2.65	2.28
5	22.70	9.83	0.00	6.29	9.83	3.28	0.00	0.00	48.06
6	30.91	8.25	0.00	0.39	8.90	7.78	0.00	0.00	43.77
Mean value:	21.55	8.07	1.67	27.99	5.50	3.63	2.51	2.27	26.83
Sigma:	17.23	3.22	2.22	30.88	6.09	3.50	3.79	2.72	29.60
Sigma mean:	7.03	1.31	0.91	12.61	2.49	1.43	1.55	1.11	12.08



Şekil 5.38. Takım 6 üzerinde bulunan elementlerin renklere göre dağılımı.

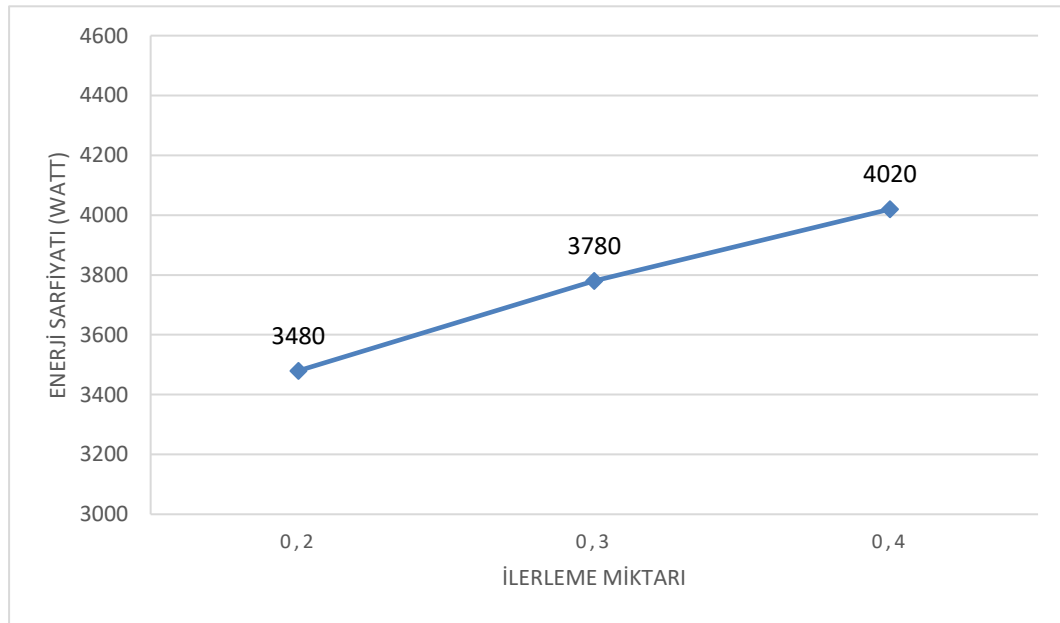


Şekil 5.39. MQL işlemdede, 5 numaralı takımın SEM görüntüsü (500x).

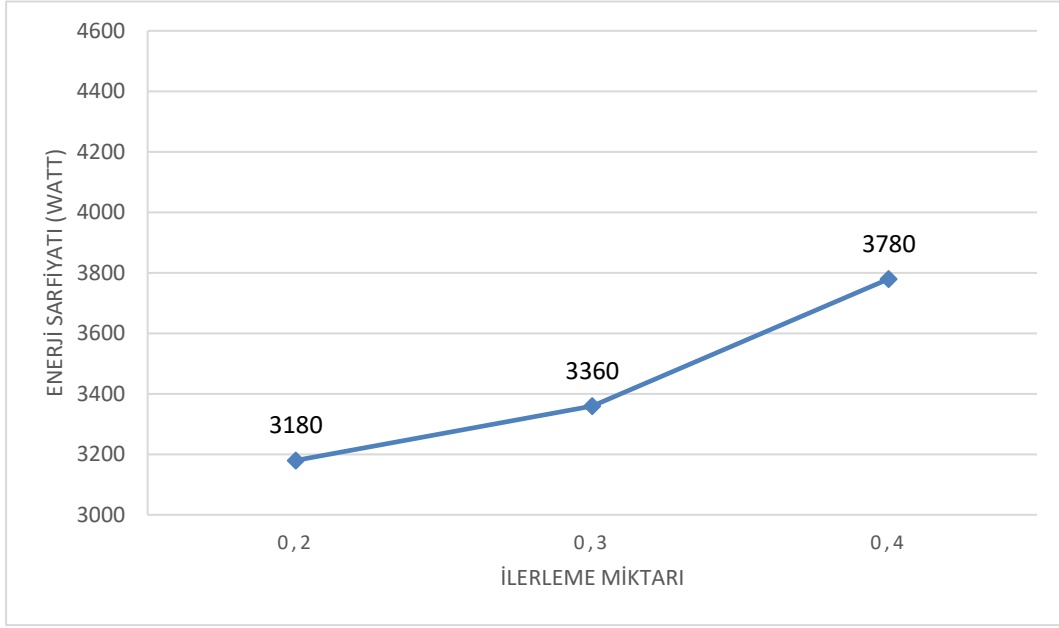
Takım aşınmasının, yüzey pürüzlülüğü, üretim süresi ve maliyet üzerinde direkt olarak etkisi bulunmaktadır. Takımın ömrü ve aşınma durumu, işlenebilirlik değerlendirmeleri açısından önemli bir ölçüt olarak kabul edilir, bu nedenle işlenebilirlik çalışmalarının merkezi konularından birini oluşturur. Takım görüntüleri incelendiğinde iki farklı ortamda, kuru ve ıslak (MQL) ortamlarda takımlarda gerçekleşen aşınmalar, yığıntı talaşları kaplamanın kalkması vb. durumlar gözlemlenmiştir. İki ortamda da takım aşınmıştır. Sonuçlara göre ıslak (MQL) ortamda takımların kuru ortama göre daha az aşındığı deneyler sonucunda ölçülmüştür.

5.3. ENERJİ TÜKETİMİ

Kuru (DRY) ve ıslak (MQL) kesme ortamlarında AA7075 alaşımının altı farklı kesme şartında işlenmesindeki enerji tüketimi Şekil 5.40. ve Şekil 5.41’de gösterilmiştir.



Şekil 5.40. Kuru işlemede f'ye göre enerji tüketimi grafiği.



Şekil 5.41. MQL işleminde f 'ye göre enerji tüketimi grafiği.

AA7075 alüminyum alaşımının CNC torna tezgâhında işlenmesi sırasında farklı koşullar altında harcanan enerji değerleri incelenmiştir. Deneyler kuru ortam (DRY) ve minimum miktarda yağlama (MQL) koşullarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sıvı soğutmanın işleme süreçleri üzerindeki etkisini ve işleme performansını açıkça göstermektedir.

Kuru ortam koşulları altında yapılan deneylerde, CNC tezgâhının boşta çalışırken, aynanın çalışması sırasında ve talaş kaldırma işleminin başladığı anlarda harcanan enerji değerleri toplamda 1560 W, 600 W ve 1320-1860 W arasında değişmiştir. Toplam enerji tüketimi ise 3480 W ile 4020 W arasında değişmiştir. Bu sonuçlar, kuru işleme koşullarının, malzeme işlenmesi sırasında yüksek enerji tüketimine neden olduğunu göstermektedir.

MQL koşulu altında gerçekleştirilen deneylerde ise CNC, spindle ve talaş kaldırma işlemi sırasında harcanan enerji değerleri sırasıyla 1560 W, 600 W ve 1020-1620 W arasında değişmiştir. Toplam enerji tüketimi ise 3180 W ile 3780 W arasında değişmiştir. Bu sonuçlar, MQL ile yapılan işlemlerin enerji tasarrufu sağladığını göstermektedir.

MQL kullanımının önemi, işleme süreçlerinde enerji verimliliğini artırarak toplam enerji tüketimini düşürebilme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Daha düşük enerji tüketimi, sadece işleme süreçlerinin maliyetini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de artırabilir.

Ayrıca, MQL koşullarının takım ömrü ve işlenen malzeme yüzey kalitesi üzerindeki olumlu etkileri de vurgulanmalıdır. Daha düşük sıcaklık ve sürtünme, takımın daha uzun süre dayanmasını sağlayabilirken, sıvı soğutma işlemi işlenen yüzeyin daha pürüzsüz ve düzgün olmasına yardımcı olabilir. Bu durum, işlenen parçaların kalitesini artırarak son ürünün kabul edilebilir seviyelerde olmasını sağlar.

Sonuç olarak, AA7075 alüminyum alaşımının işlenmesinde sıvı soğutmanın işlem performansını artırdığı, enerji tasarrufu sağladığı, takım ömrünü uzattığı ve işlenen yüzey kalitesini artırdığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu nedenle, endüstriyel işlemlerde sıvı soğutma kullanımının, hem maliyet hem de kalite açısından önemli avantajlar sunduğu söylenebilir.

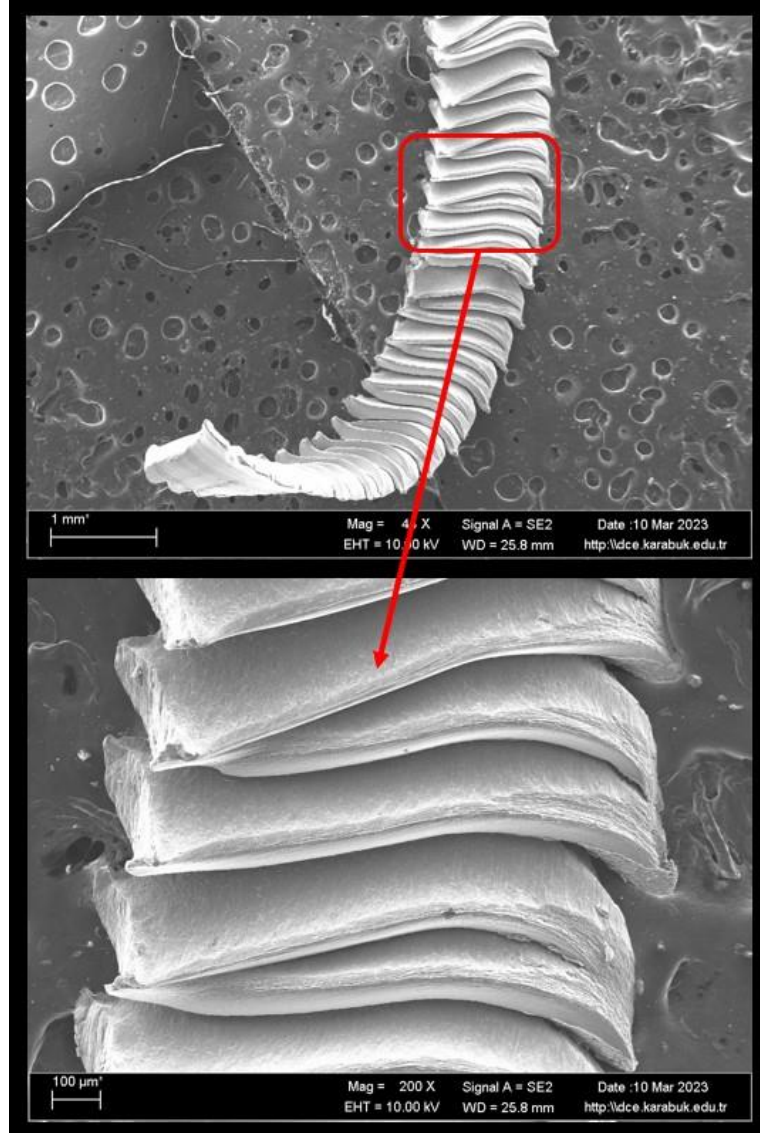
5.4. TALAŞ MORFOLOJİSİ

Talaş morfolojisinde meydana gelen önemli değişiklikler, işlenebilirlik operasyonlarının kalitesini yansıtmaktadır. Renk, şekil, tırtıklılık gibi faktörler, özellikle minimum takım aşınması ve yüzey kalitesi gibi faktörler üzerinde direkt bir etkiye sahiptir [47]. Ayrıca, iyi bir yüzey kalitesi elde etmek ve takımın aşınmasını minimum seviyede tutmak, talaş morfolojisiyle doğrudan ilişkilidir. Talaşların yapısıyla ilgili başka bir önemli konu da kesme bölgesinde oluşan ısının nasıl dışarıya atılabileceğidir.

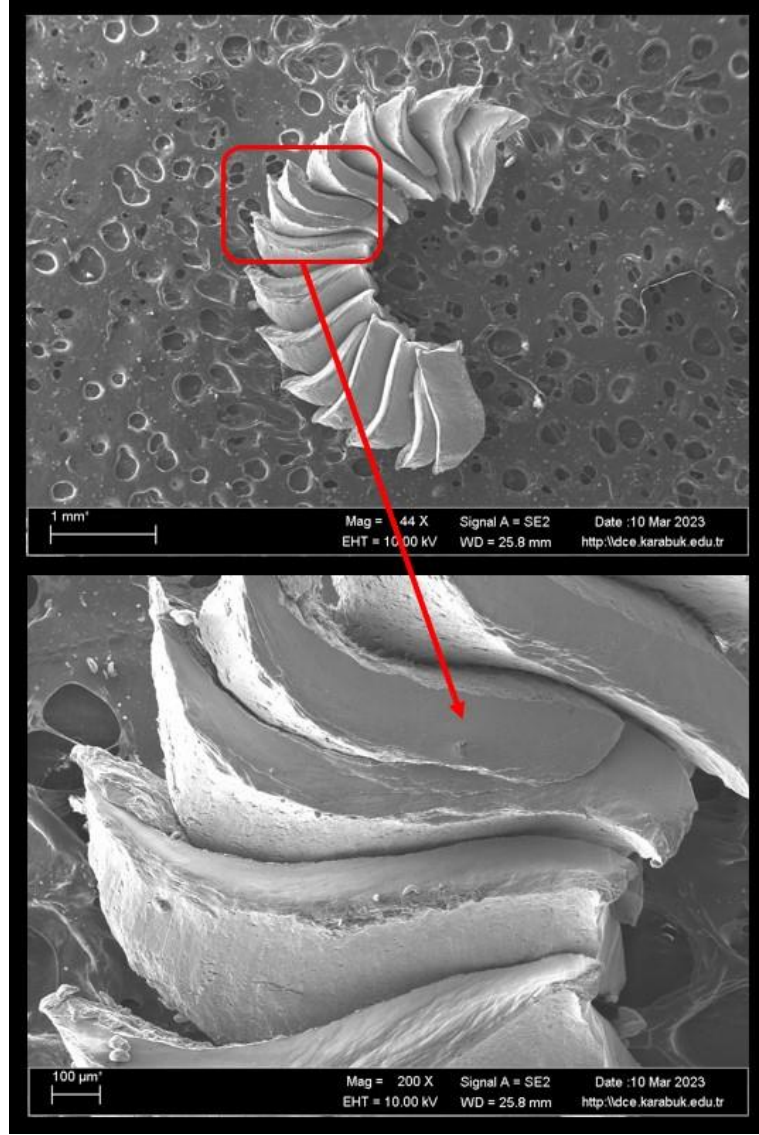
İşlenen parçalarda iyi bir yüzey kalitesi elde etmek ve takım aşınmasını minimumda tutmak için düzenli bir talaş oluşumu oldukça kritik bir rol oynar. Bu düzenli talaş oluşumu, kesme parametreleri, talaş kaldırma mekanizması, kesme geometrisi, soğutma/yağlama stratejileri gibi bir dizi faktörün etkileşimi sonucu ortaya çıkar. Dolayısıyla, bu faktörlerin etkilerini doğru bir şekilde anlayabilmek için talaş özelliklerinin titizlikle belirlenmesi gerekmektedir.

Yapılan SEM analizleri, talaş oluşumunun daha mikro boyutta incelenmesine imkân tanımıştır. Bu sayede hem kesme parametreleri hem de soğutma ortamının talaş üzerinde etkisi daha net anlaşılmasına yardımcı olmuştur.

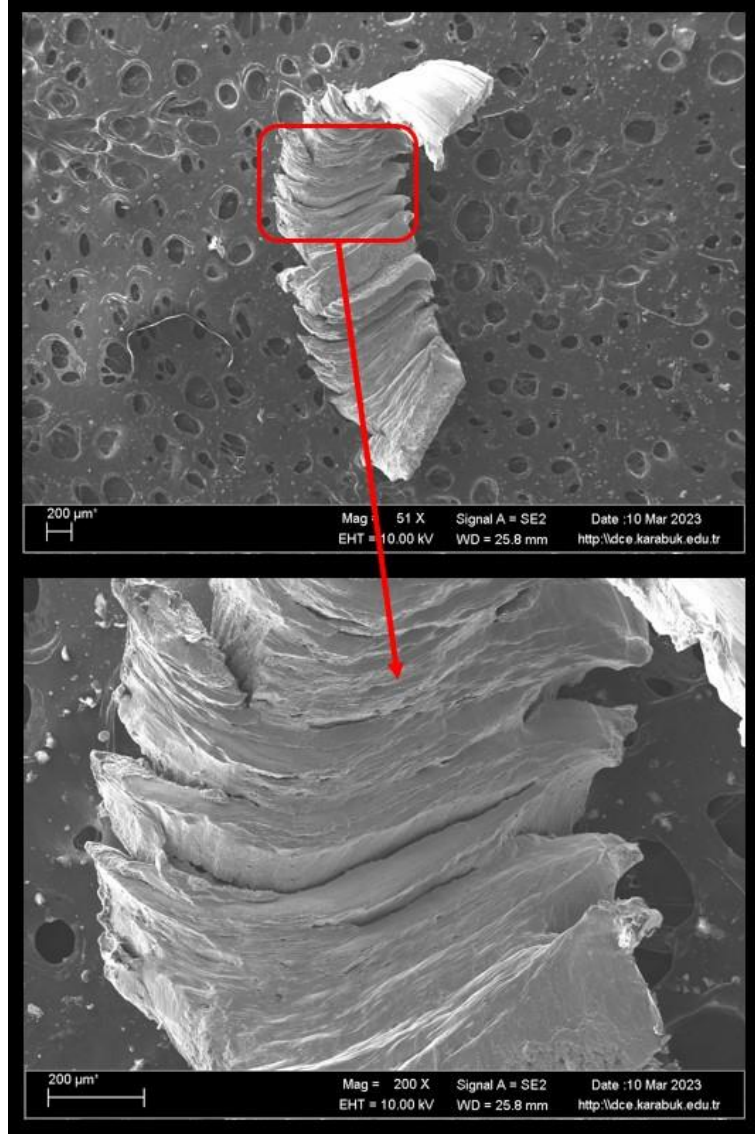
Her takımın işleme sırasında talaştan numuneler alınmış ve sırasıyla altı farklı talaş SEM’de analiz edilmiştir. SEM analizleri makro ve 200x yakınlaştırma değerlerindeki fotoğraflar üzerinde yapılmıştır.



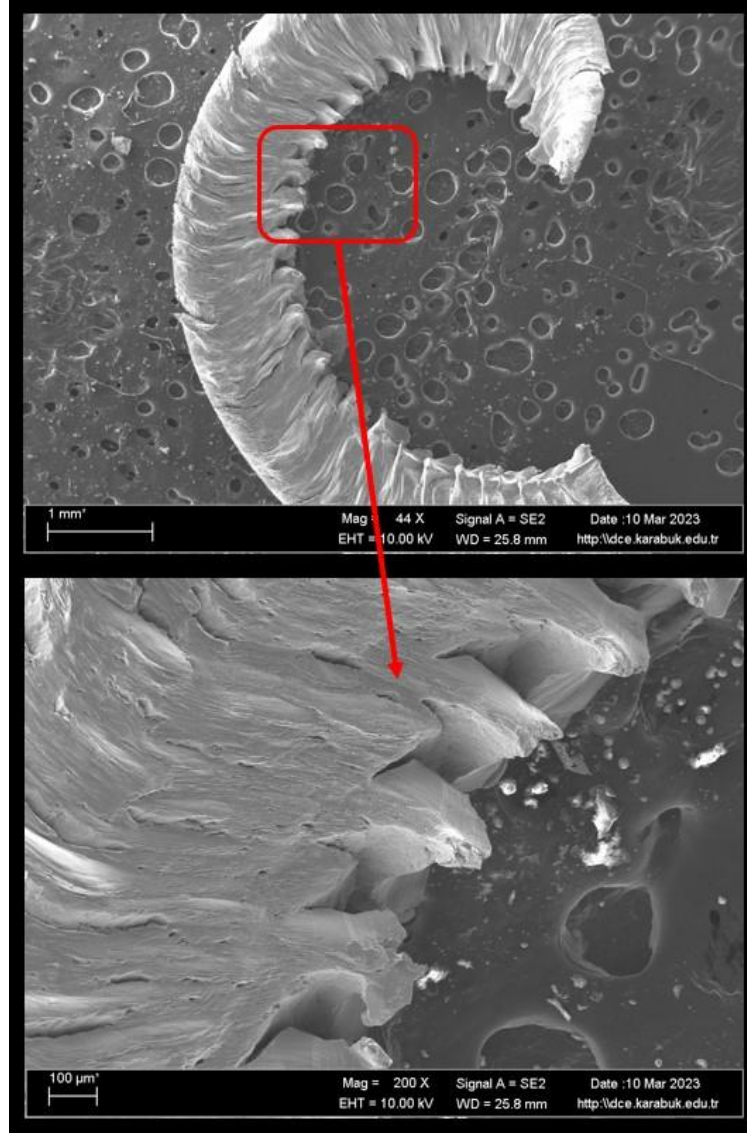
Şekil 5.42. Takım 1 ile kuru kesmede oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x.



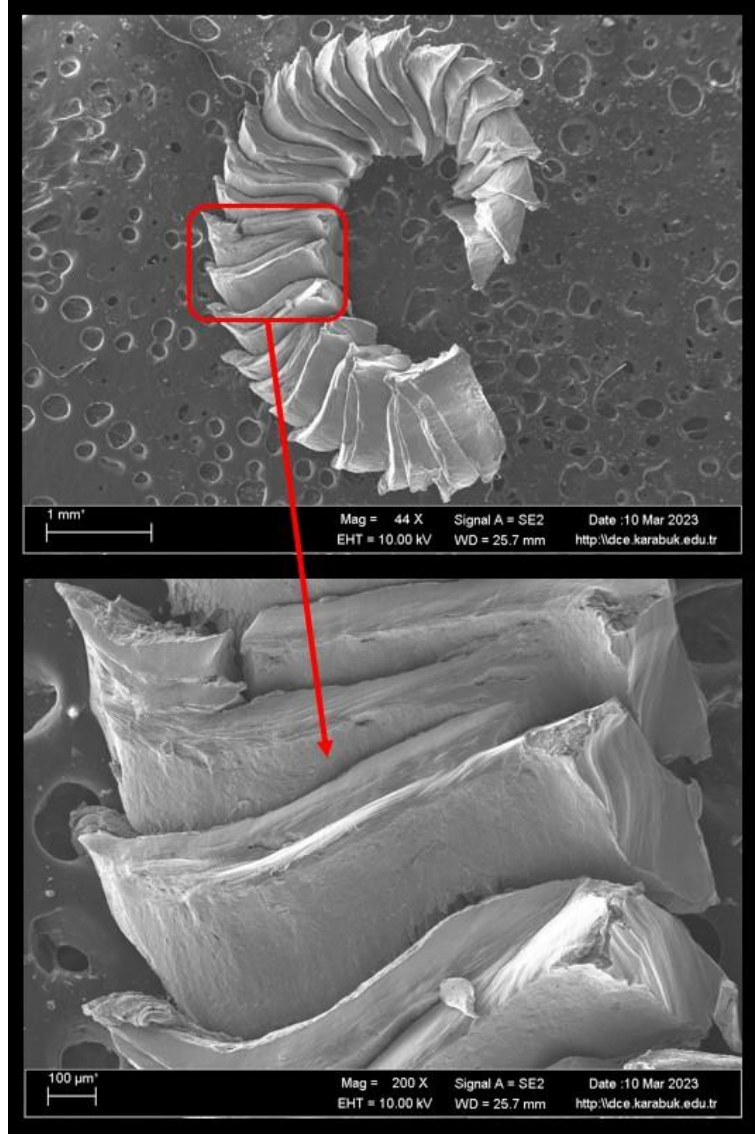
Şekil 5.43. Takım 2 ile kuru kesmede oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x.



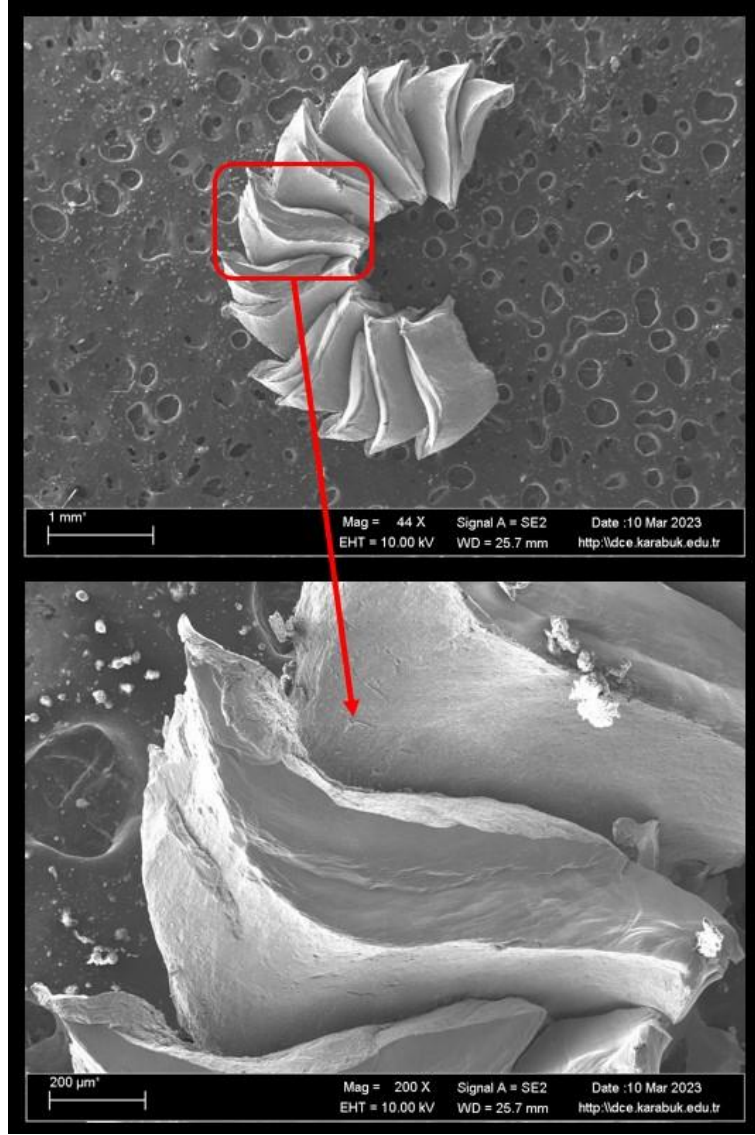
Şekil 5.44. Takım 3 ile kuru kesmede oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x.



Şekil 5.45. Takım 4 ile MQL ortamda oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x.



Şekil 5.46. Takım 5 ile MQL ortamda oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x..



Şekil 5.47. Takım 6 ile MQL ortamda oluşan talaş SEM görüntüsü, a) makro, b) 200x.

SEM analizleri incelendiğinde, kuru ortamda gerçekleştirilen işlem sonucunda ortaya çıkan talaşlar ile ıslak ortam (MQL) yöntemiyle gerçekleştirilen işlemde oluşan talaşlar arasındaki farklar dikkat çekmektedir. Kuru ortamda meydana gelen talaşlar, MQL yöntemiyle oluşan talaşlardan daha büyük ve daha düz bir yapıya sahiptir. Öte yandan MQL ortamında meydana gelen talaşlar ise daha küçük ve kıvrımlı bir yapı sergilemektedir.

Kuru ortamda oluşan talaşların rengi, yüksek işlem sıcaklıklarının etkisiyle diğer talaşlardan ayırt edici şekilde farklı görünmektedir. MQL yöntemiyle elde edilen

talaşlar ise kendiliğinden kırılma özelliği gösteren talaşlar kategorisine girmektedir. Bu durum, tribolojik (sürtünme ve aşınma) açıdan olumlu bir ortamın varlığını göstermektedir.

Sonuç olarak, kuru ortamda yapılan işleme elde edilen talaşlar ile MQL yöntemi kullanılarak oluşturulan talaşlar arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar, işleme yöntemlerinin ve koşullarının talaşların özelliklerine nasıl etki ettiğini göstermektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Bu çalışma, AA7075 alüminyum alaşımının işlenebilirliğini farklı soğutma ortamlarında incelemeyi amaçlamış ve kuru ile ıslak (MQL) işleme koşullarının işleme performansı, takım aşınması, enerji tüketimi, yüzey kalitesi ve talaş morfolojisi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Deney sonuçlarına dayanarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kuru işleme koşullarında, ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü de artmıştır. İlerleme oranı 0.20 mm/dev'de ortalama Ra değeri 2.56 iken, ilerleme oranı 0.40 mm/dev'de bu değer 6.18'e yükselmiştir.
- Islak işleme koşullarında da ilerleme oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artış göstermektedir. İlerleme oranı 0.20 mm/dev'de ortalama Ra değeri 2.27 iken, ilerleme oranı 0.40 mm/dev'de bu değer 5.48'e çıkmıştır.
- İlerleme oranı arttıkça hem kuru hem de MQL ortamda işlemede yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir. Kuru işlem, genel olarak ıslak işleme kıyaslandığında daha yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip olmuştur. Islak ortamda gerçekleştirilen işlemde yüzey pürüzlülüğü %11.30 oranında azalmıştır. Bu sonuçlar, işleme koşullarının işlenen malzemenin yüzey kalitesi üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.
- Aşınma deneyleri kuru ve MQL ortamda olmak üzere iki farklı kesme ortamında gerçekleştirilmiştir. Kuru ortamda (DRY); 1.Takım: 92,00 µm, 2.Takım: 112,00 µm, 3.Takım: 142,00 µm ve ıslak ortamda (MQL); 4.Takım: 57,00 µm, 5.Takım:

76,00 µm, 6.Takım: 101,00 µm yan yüzey aşınma değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, kuru ortamda işlenen takımların MQL ortamda işlenenlere göre yaklaşık %147,86 daha fazla aşındığı görülmektedir. Bu, MQL ortamın takım aşınmasını azalttığını, daha uzun takım ömrü sağladığını ve malzeme yüzey kalitesini artırabileceğini göstermektedir.

- Kuru ortam koşullarında yapılan deneylerde, toplam enerji tüketimi 3480 W ile 4020 W arasında değişmiştir. MQL koşullarında ise toplam enerji tüketimi 3180 W ile 3780 W arasında değişmiştir.
- Karşılaştırma sonuçlarına göre, MQL ile yapılan işlemlerin enerji tasarrufu sağladığı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından olumlu bir etki yarattığı görülmüştür. Sonuç olarak, MQL ortamda gerçekleştirilen işlemlerin, kuru ortama göre yaklaşık %9.30 tasarruf sağladığı görülmüştür.
- SEM analizleri, kuru ve ıslak işleme koşullarında elde edilen talaşların farklı morfolojilere sahip olduğunu göstermiştir. Kuru işlemde meydana gelen talaşlar daha büyük ve düz yapıyken, MQL yöntemiyle elde edilen talaşlar daha küçük ve kıvrımlı bir yapıya sahiptir. MQL işleminin talaşlarda kendiliğinden kırılma özelliği sağlaması, tribolojik açıdan olumlu bir durumu yansıtmaktadır.

6.2. ÖNERİLER

- Bu çalışma, sadece belirli işleme parametreleri ve koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Gelecekte, farklı parametrelerin ve koşulların işleme performansı üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı şekilde incelemek, daha kapsamlı bir anlayış sağlayabilir.
- Farklı malzemelerin ve alaşımların işlenebilirliği üzerine benzer çalışmalar yapmak, işlem performansının genellemesi ve karşılaştırılması açısından önemlidir.
- Farklı soğutma yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar da işlenebilirlik ve işleme performansı açısından değerlendirilmelidir.
- Daha ileri analizler ve testlerle, takım aşınmasının mekanizmaları ve etkileri daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılabilir. Bu, daha dayanıklı ve uzun ömürlü kesici takımların geliştirilmesine katkıda bulunabilir.
- İşlem enerjisi verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından daha kapsamlı çalışmalar yapmak, endüstriyel uygulamalarda daha iyi enerji kullanımını sağlamak için fırsatlar sunabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma farklı soğutma ortamlarının AA7075 alüminyum alaşımının işlenebilirliği üzerindeki etkilerini incelemekte önemli bir adımdır. Elde edilen sonuçlar, endüstriyel işlemlerde MQL kullanımının işleme performansını artırabileceğini, enerji tasarrufu sağlayabileceğini ve işlenen yüzey kalitesini artırabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, endüstriyel uygulamalarda daha verimli ve sürdürülebilir işleme yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

1. Imbrogno, S., Rinaldi, S., Suarez, A. G., Arrazola, P. J., and Umbrello, D., "High speed machinability of the aerospace alloy AA7075 T6 under different cooling conditions", *AIP Conference Proceedings*, 1960 (May): (2018).
2. Javidikia, M., Sadeghifar, M., Songmene, V., and Jahazi, M., "Analysis and optimization of surface roughness in turning of AA6061-T6 under various environments and parameters", *Procedia CIRP*, 101: 17–20 (2020).
3. Abas, M., Sayd, L., Akhtar, R., Khalid, Q. S., Khan, A. M., and Pruncu, C. I., "Optimization of machining parameters of aluminum alloy 6026-T9 under MQL-assisted turning process", *Journal of Materials Research And Technology*, 9 (5): 10916–10940 (2020).
4. Kakde, D. V, Prof, A., and Shinde, R. H., "Experimental Investigation of Machining of Aluminium 7075 Under Wet and Mql Type Lubricating Method – a Review", *Ijarie*, (4): 1788–1791 (2020).
5. Karabuğa, Ü., Karabulut, Ş., and Güllü, A., "Alüminyum 7075 - T6 Malzemenin Isı Desteği i le İşlenebilirliğinin İncelenmesi", *İmalat Teknolojileri Ve Uygulamaları*, 2 (3): 67–77 (2021).
6. Pul, M., "7075, 6061 Ve 2024 Alüminyum Alaşımlarının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasının Karşılaştırılması", *Uluslararası Mühendislik Araştırma Ve Geliştirme Dergisi*, 9 (2): (2017).
7. Hüseyinoğlu, M., "7075 Alüminyum Alaşımının Freze İle İşlenmesinde Minimum Soğutma Sıvısı Kullanmanın Performans Karakteristiklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2008).
8. Çakır, A., "AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2015).
9. Yahya RASUL, S., "Investigation of Surface Roughness and Tool Wear in Milling of Aluminum Alloy By Nano Cutting Fluid", *Fırat Üniversitesi Mechanical Engineering*, Elazığ, (2017).
10. Pınarbaşı, A., "Al 7075'in Cnc Frezelenmesinde İşlem Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Ve Kesme Enerjisine Etkisinin Taguchi Yöntemi Ile Optimizasyonu", *Tarsus Üniversitesi İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Mersin, (2019).
11. 11. Zainol, A. and Yazid, M. Z. A., "Effect of minimum quantity lubrication and dry cutting on the tool life and chip morphology after milling

of aluminum alloy 7075-T6", *International Journal Of Recent Technology And Engineering*, 8 (2): 5900–5905 (2019).

12. Akhtar, M. N., Sathis, T., Mohanavel, V., Afzal, A., Arul, K., Ravichandran, M., Rahim, I. A., Alhady, S. S. N., Bakar, E. A., and Saleh, B., "Optimization of process parameters in cnc turning of aluminum 7075 alloy using l27 array-based taguchi method", *Materials*, 14 (16): (2021).
13. Eruslu, N., Altmısoglu, Y., Taptı, A., 2000, "Alasımlar" Ders Notu, "No Title", (2000).
14. H., K., "The Making of Magnesium", s.18 (1990).
15. Yılmaz, B., "Alüminyum Alaşımlarında Faz Yapılarının Mekanik Özelliklere Etkisi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2002).
16. Güven, O., "Alüminyum Silisyum Magnezyum Döküm Alaşımlarının Yapı İncelemesi", p.77 (2005).
17. Salman, S., "Alaşımlar, Marmara Üniversitesi, Ders Notu", 52–57 (1997).
18. Ölmez, S., "Alüminyum Esaslı Alaşımların Yüksek Sıcaklıkta Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", *Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2016).
19. Övündür, M., "Alüminyum alaşımlarına uygulanan mikroark oksidasyon ve anodik-oksidasyon işlemlerinin karşılaştırılması", *İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği*, İstanbul, (2014).
20. Erdoğan, M., "Demir Dışı Alaşımlar, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri", *Nobel Dağıtım.*, Cilt 2 (1999).
21. Palmer, W. B. and Oxley, P. L. B., "Mechanics of Orthogonal Machining. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers", 173(1), 623-654. (1959).
22. MIL-HDBK-5J, "Department of Defense Handbook: Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures", MIL-HDBK-5J, 3-368.
23. İnternet: Yapsan Alüminyum, "AA7075 Uygulama Alanları", <https://yapsanalaluminum.com/aluminyum-alasimlari/7075> (2023).
24. Astakhov, V. P., "Turning. In Modern Machining Technology", *Woodhead Publishing.*, (pp. 1-78). (2011).
25. Atwater, M. A., "Materials and Manufacturing: An Introduction to How They Work and Why It Matters.", *McGraw-Hill Education.*, (2019).

26. Prof. Dr. Süleyman Yıldız, "Talaşlı İmalat Usulleri", *İmalat Yöntemleri Tormalama Ders Notu*, Selçuk Üniversitesi Konya, (2022).
27. Sertöz Ş., "Küresel Grafitli Ggg-70 Dökme Demirin Minimum Miktarda Yağlama Tekniği Kullanılarak Tornalanmasında İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, (2018).
28. İnternet: Hamit Arslan, "Torna Tezgahı Devir Sayısı - İlerleme Hesapları", <https://www.hamitarслан.com/torna-tezgahi-devir-sayisi-ilerleme-hesaplari.html> (2023).
29. Mıstıkoğlu, S., "Torna Tezgâhlarında Kesici Kaleme Gelen Kuvvet ve Gerilmelerin Bilgisayar Desteğiyle Ölçülerek Denetimi, Simülasyonu ve HSS Kalemlerinin Optimum Profiline Belirlenmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 47-56", *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (1995).
30. Taşgetiren, S. ve Aslantaş, K., "Tornada kesme için yeni bir sert metal uç tutucusu tasarımı", *GAP Mühendislik Kongresi*, 150–157 (2000).
31. İnternet: Erdin, E., "Talaşlı İmalat Ders Notu", <http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/eminerdin@hititedutr110520185B2N4W5Y.pdf>.
32. Çakır, E., "Dik Ve Eğik Kesme İşleminin Termomekanik Modellemesi Ve Torna İşlemine Uygulanması", *İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği*, İstanbul, (2015).
33. Groover, M. P., "Fundamentals of Modern Manufacturing - Materials, Processes and System", *Prentice-Hall Inc*, Chapter 21 Theory of Metal (1996).
34. Sandvik Coromat, "Training Handbook Metal Cutting Technology", *AB Sandvik Coromant SE-811 81 Sandviken, Sweden*.
35. Knight, W. A., Boothroyd, G., "Fundamentals Of Machining And Machine Tools. CRC Press, Florida.", *CRC Press, Florida.*, (2019).
36. Işık, Y., Çakır, M., "Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel olarak incelenmesi", *Technology*, 4(1–2): 111-118. (2001).
37. Pınar, A. M., "AA 6013 Alüminyum Alaşımının Frezelenmesinde Ortalama Ve Toplam Yüzey Pürüzlülüğüne Göre Kesme Parametreleri Etkilerinin İncelenmesi", *E-Journal of New World Sciences Academy*, 5–1 (2A0037): (2010).

38. Choudhury, S. K. and Appa Rao, I. V. K., "Optimization of cutting parameters for maximizing tool life", *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, 39 (2): 343–353 (1999).
39. Çakır, O., Yardımeden, A., Ozben, T., & Kilickap, E., "Selection of cutting fluids in machining processes", *Journal Of Achievements In Materials And Manufacturing Engineering*, 25(2), 99-102. (2007).
40. Demir, H., Ulaş, H., B., "Talaşlı Üretimde Kullanılan Kesme Sıvılarından İstenen Özellikler", *5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, (2009).
41. E. Yücel, M. Günay, M. Ayyıldız, Ö. Erkan, F. K., "Talaşlı İmalatta Kullanılan Kesme Sıvılarının İnsan Sağlığına Etkileri Ve Sürdürülebilir Kullanımı", *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, (2011).
42. İlhan, M., "Talaş Kaldırma İşlemlerinde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Uygulamasının Kesme Hızı ve Yağlama Debisinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, (2014).
43. Anaç, N. ve Ay, İ., "Soğutma sıvılarının insan sağlığına etkileri", *Metal Makine*, 149 (2004).
44. DGUV, "Minimum Quantity Lubrication for Machining Operations", German Social Accident Insurance, Berlin, (2010).
45. Gürbüz, H., Baday, Ş., and Gönülaçar, Y. E., "Minimum Miktarda Yağlamanın Frezeleme İşlemleri Üzerine Etkisinin Araştırılması", *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7 (2): 59–79 (2017).
46. Gürbüz, H., Baday, Ş., and Gönülaçar, Y. E., "Minimum Miktarda Yağlamanın Frezeleme İşlemleri Üzerine Etkisinin Araştırılması: Derleme", *Batman University Journal of Life Sciences*, (2017).
47. Kouam, J., Songmene, V., Balazinski, M., and Hendrick, P., "Effects of minimum quantity lubricating (MQL) conditions on machining of 7075-T6 aluminum alloy", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Erdal ÇELİK 2010 yılında Gemlik Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Lisans Programı Bölümü'nde öğrenime başlayıp, 2015 yılında başarıyla lisans eğitimini tamamladı. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Programı'na başladı. 2018 Ocak ayından itibaren BURSA'nın Gemlik ilçesinde özel bir firmada imalat mühendisi olarak işe başladı. Aynı firmada imalat mühendisliği görevini sürdürmektedir.