



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AA 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA KESME
PARAMETRELERİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

AYKUT ESER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA AYYILDIZ**

DÜZCE, 2020

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AA 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA KESME
PARAMETLERİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI

Aykut ESER tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ali KALYON

Yalova Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 01/10/2020

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

01 Ekim 2020

Aykut ESER



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Ayyıldız'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Doç. Dr. Fuat Kara'ya, Öğr. Gör. Dr. Ömer Erkan'a ve Arş. Gör. Ümit Ağbulut'a şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında katkı veren değerli arkadaşlarım Aydın Üçüncü, Nurettin Bulan ve Mehmet Çelik'e teşekkür ederim.

Son olarak bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme ve müstakbel eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2019.07.04.914 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

01 Ekim 2020

Aykut ESER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	3
2.1. KRİYOJENİK İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	3
2.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
2.3. SICAKLIK İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	8
2.4. LİTERATÜRÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	11
3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI.....	12
3.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE SINIFLANDIRILMASI.....	15
3.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMI.....	17
3.2.1. Döküm Alüminyum Alaşımları.....	17
3.2.2. Dövme Alüminyum Alaşımları.....	17
3.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMI 6082 ÖZELLİKLERİ.....	18
4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK.....	19
4.1. TALAŞLI İMALAT.....	19
4.2. TALAŞ MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU.....	19
4.3. İŞLENEBİLİRLİK.....	21
4.4. FREZELEME.....	22
4.5. KESME PARAMETRELERİ.....	24
4.5.1. Kesme Hızı.....	24
4.5.2. İlerleme Hızı.....	25
4.5.3. Kesme Derinliği.....	26
4.6. KRİYOJENİK İŞLEM.....	26
4.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	28
4.7.1. Yüzey Pürüzlülüğü Tanımı.....	28
4.7.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler.....	30
4.8. KESME SICAKLIĞI.....	31
4.8.1. Kesme Sıcaklığı Tanımı.....	31
4.8.2. Kesme Sıcaklığına Etki Eden Faktörler.....	31
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	33
5.1. DENEYSEL ÇALIŞMASINDA KULLANILANLAR.....	33
5.1.1. Deney Malzemeleri.....	33
5.1.2. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı.....	34

5.1.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım	34
5.1.4. Deneylerde Kullanılan Takım Tutucu	35
5.1.5. Deneylerde Kullanılan Soğutucu Azot Tankı.....	35
5.1.6. Deneylerde Kullanılan Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı.....	36
5.1.7. Deneylerde Kullanılan Kesme Sıcaklığı Ölçüm Cihazı	37
5.2. DENEYİN HAZIRLANMASI VE UYGULANMASI	38
5.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	38
5.2.2. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri.....	38
5.2.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Uçların Azot Tankına Yerleştirilmesi	39
5.2.4. Deney Parçalarının CNC Freze Tezgâhına Bağlanması.....	39
5.2.5. Deneylerin Uygulanması.....	40
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
6.1. 6082-T0 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ.....	44
6.1.1. Ra için AA 6082-T0 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi ...	46
6.2. 6082-T5 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ.....	50
6.2.1. Ra için AA 6082-T5 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi ...	51
6.3. 6082-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ.....	55
6.3.1. Ra için AA 6082-T6 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi ...	57
6.4. 6082-T0 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN KESME SICAKLIĞINA ETKİSİ	59
6.4.1. T için AA 6082-T0 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	62
6.5. 6082-T5 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN KESME SICAKLIĞINA ETKİSİ	64
6.5.1. T için AA 6082-T5 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	67
6.6. 6082-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN KESME SICAKLIĞINA ETKİSİ	69
6.6.1. T için AA 6082-T6 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	72
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
7.1. SONUÇLAR.....	75
7.2. ÖNERİLER.....	77
8. KAYNAKLAR	79
9. ÖZGEÇMİŞ	87

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.1. Ortogonal kesme; üç boyutlu işlem ve iki boyuta basitleştirilmiş hali.....	20
Şekil 4.2. Talaş oluşmasının daha gerçekçi görünümü.....	20
Şekil 4.3. Talaş kaldırma süreci ve işlenebilirlik durumu.	21
Şekil 4.4. Çevresel frezeleme ve alın frezeleme.	22
Şekil 4.5. Frezelemenin, diğer talaş kaldırma metotları ile kıyaslanması.	23
Şekil 4.6. Frezelemenin süresinin, diğer talaş kaldırma metotları ile kıyaslanması.	23
Şekil 4.7. CNC freze tezgâhı ana bölümleri.	24
Şekil 4.8. Standart derin kriyojenik ısıtma işlemi uygulaması.	28
Şekil 4.9. Yüzey pürüzlülük profili.	29
Şekil 4.10. İşlem görmüş bir yüzeyin yapısı.....	30
Şekil 4.11. Dik (ortogonal) kesme işleminde ısı oluşumu.....	31
Şekil 4.12. Kesme hızının ve ilerlemenin sıcaklık üzerindeki değişimi.	32
Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan AA 6082 numunesi.	34
Şekil 5.2. Deneylerde kullanılan 3 kesici kenarlı uçlar.	35
Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan takım tutucu.....	35
Şekil 5.4. Kesici uçların kriyojenik işlemi için kullanılan azot tankı.	36
Şekil 5.5. MarSurf PS 10 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	36
Şekil 5.6. Optris PI 450i sıcaklık ölçüm cihazı.....	37
Şekil 5.7. Kullanılan alüminyum alaşımı 6082 iş parçası teknik resmi.....	38
Şekil 5.8. Kesici uçların kriyojenik işlem için hazırlanması.	39
Şekil 5.9. İş parçasının CNC freze tezgâhına bağlanması.	40
Şekil 5.10. Kesici uçlara kriyojenik işlem uygulanması.....	40
Şekil 5.11. Deney düzeneği.	41
Şekil 5.12. Frezeleme işlemi.....	42
Şekil 5.13. İşlemlerin tamamlanmış halinden bir numune.	42
Şekil 5.14. Sıcaklık ölçümü esnasından bir görüntü.....	43
Şekil 6.1. AA 6082-T0 işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.	45
Şekil 6.2. AA 6082-T0 iş parçasının Ra değerlerine etki eden parametreler.	49
Şekil 6.3. AA 6082-T5 işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.	51
Şekil 6.4. AA 6082-T5 iş parçasının Ra değerlerine etki eden parametreler.	54
Şekil 6.5. AA 6082-T6 işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.	56
Şekil 6.6. AA 6082-T6 iş parçasının Ra değerlerine etki eden parametreler.	59
Şekil 6.7. AA 6082-T0 işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.....	61
Şekil 6.8. AA 6082-T0 iş parçasının T değerlerine etki eden parametreler.	64
Şekil 6.9. AA 6082-T5 işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.....	66
Şekil 6.10. AA 6082-T5 iş parçasının T değerlerine etki eden parametreler.	69
Şekil 6.11. AA 6082-T6 işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.	71
Şekil 6.12. AA 6082-T6 iş parçasının T değerlerine etki eden parametreler.	74

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Saf Alüminyumun özellikleri.	13
Çizelge 3.2. Alüminyum ve alaşımlarının üretilme şekilleri ve kullanım alanları.	14
Çizelge 3.3. Alüminyuma uygulanan ısı işlemler için harfler ve seri numaralar.	16
Çizelge 3.4. Döküm alaşımlarının sınıflandırılması ve ısı işlemleri.	17
Çizelge 3.5. Dövme alaşımlarının sınıflandırılması ve ısı işlemleri.	18
Çizelge 5.1. 6082-T0 kimyasal bileşimi özellikleri (%).	33
Çizelge 5.2. 6082-T5 kimyasal bileşimi özellikleri (%).	33
Çizelge 5.3. 6082-T6 kimyasal bileşimi özellikleri (%).	33
Çizelge 5.4. DELTA SEIKI CNC 1050-A freze tezgâhı özellikleri.	34
Çizelge 5.5. MARSURF PS 10 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı özellikleri.	37
Çizelge 5.6. Optris PI450i Termal kamera özellikleri.	38
Çizelge 5.7. Deneyler kullanılan kesme parametreleri.	39
Çizelge 6.1. AA 6082-T0 için U kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.	47
Çizelge 6.2. AA 6082-T0 için UCTT kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.	48
Çizelge 6.3. AA 6082-T0 iş parçasının Ra değerleri için ANOVA sonuçları.	49
Çizelge 6.4. AA 6082-T5 için U kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.	52
Çizelge 6.5. AA 6082-T5 için UCTT kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.	53
Çizelge 6.6. AA 6082-T5 iş parçasının Ra değerleri için ANOVA sonuçları.	54
Çizelge 6.7. AA 6082-T6 için U kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.	57
Çizelge 6.8. AA 6082-T6 için UCTT kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.	58
Çizelge 6.9. AA 6082-T6 iş parçasının Ra değerleri için ANOVA sonuçları.	59
Çizelge 6.10. AA 6082-T0 için U kesici uçların deneylerinin T sonuçları.	62
Çizelge 6.11. AA 6082-T0 için UCTT kesici uçların deneylerinin T sonuçları.	63
Çizelge 6.12. AA 6082-T0 iş parçasının T değerleri için ANOVA sonuçları.	64
Çizelge 6.13. AA 6082-T5 için U kesici uçların deneylerinin T sonuçları.	67
Çizelge 6.14. AA 6082-T5 için UCTT kesici uçların deneylerinin T sonuçları.	68
Çizelge 6.15. AA 6082-T5 iş parçasının T değerleri için ANOVA sonuçları.	69
Çizelge 6.16. AA 6082-T6 için U kesici uçların deneylerinin T sonuçları.	72
Çizelge 6.17. AA 6082-T6 için UCTT kesici uçların deneylerinin T sonuçları.	73
Çizelge 6.18. AA 6082-T6 iş parçasının T değerleri için ANOVA sonuçları.	74

KISALTMALAR

AA	Alüminyum Alaşımı
AL	Alüminyum
ANOVA	Varyans Analizi
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
DCT	Derin Kriyojenik İşlem
IR	Kızılötesi Kamera
LN ₂	Sıvı Azot
ML	Minimum Miktar Yağlama
NC	Sayısal Kontrol
SCT	Sığ Kriyojenik İşlem
U	Kriyojenik İşlem Uygulanmış
UCTT	Kriyojenik İşlem Uygulanmamış
YMK	Yüzey Merkezi Kübik
YSA	Yapay Sinir Ağ

SİMGELER

Al_2O_3	Alüminyum Oksit
$Al(OH)_3$	Alüminyum Hidroksit
a_p	Eksenel Kesme Derinliği (mm)
cm	Santimetre
Cu	Bakır
D	Freze Takım Çapı (mm)
dak	Dakika
dev	Devir
Fe	Demir
Fe_2O_3	Demir Oksit
f_n	Devir Başına İlerleme (mm/dev)
f_z	Diş Başına İlerleme (mm/diş)
Hz	Frekans (Hertz)
L	Örnek Uzunluk (mm)
m	Metre
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
n	Devir Sayısı (dev/dak)
$NaAlO_2$	Sodyum Alüminat
NaOH	Sodyum Hidroksit
Ra	Ortalama Pürüzlülük Değeri (μm)
R_{max}	En Büyük Pürüzlülük Değeri (μm)
R_t	Pürüzlülük Yüksekliği
R_z	10 Noktanın Ortalama Pürüzlülük Değeri (μm)
Si	Silisyum
SiO_2	Silisyum Oksit
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
V	Volt
V_c	Kesme Hızı (m/dak)
V_f	Tabla İlerleme Hızı (mm/dak)
z	Kesici Uç Sayısı
Zn	Çinko
ϵ	Emisyon Değeri
q	Isı Akısı
μm	Mikrometre
$^{\circ}C$	Santigrat
σ	Stefan-Boltzmann Sabiti

ÖZET

AA 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA KESME PARAMETRELERİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Aykut ESER

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ

Ekim 2020, 86 sayfa

Alüminyum alaşımları, yüksek dayanıklılık, ısı ve elektrik iletkenlikleri, ısıl işlemlere elverişli olmaları nedeniyle, otomotiv, demiryolu, gemi inşaat sektörü ve havacılık sektörlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada 300x50x25 mm ebatlarında üç farklı AA 6082 alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Kesici uçların yarısına, sıvı azot tüpleri ile soğutulan azot tanklarında kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kriyojenik ve kriyojenik olmayan kesici uçlarla yüzey frezeleme işlemi yapılmıştır. Frezeleme işlemleri için belirlenen kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerinde oluşturduğu etkiler gözlemlenmiştir. Deneylerde, iki farklı kesici uç (kriyojenik, kriyojenik olmayan) ile üç farklı kesme koşulu olarak kesme hızı (100-150-200 m/dak), ilerleme hızı (0,1-0,15-0,2 mm/dev), kesme derinliği (1-1,5-2 mm) değerleri kullanılmıştır. Kriyojenik uçlar ile yapılan deneylerde en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,694 µm için kesme koşulları; 200 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme hızı ve 1 mm kesme derinliği olarak elde edilmiştir. Kriyojenik işlemsiz kesici uçlar ile elde edilen en düşük yüzey pürüzlülüğü 1,136 µm için kesme koşulları; 200 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde olarak tespit edilmiştir. Kriyojenik olmayan uçlarla yapılan deneysel çalışmada en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 3.215'e ulaşılmıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış kesici uçlar ile en düşük kesme sıcaklığı değeri 80,9 °C; 100 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği parametrelerinin uygulandığı deney çalışmasında belirlenmiştir. Kriyojenik olmayan kesici uçlarda en düşük kesme sıcaklığı 90 °C olarak; 200 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve 2 mm kesme derinliği parametreleri ile gerçekleştirilen deney çalışmasında bulunmuştur. En yüksek kesme sıcaklığı değeri, kriyojenik işlemsiz kesici uç ile yapılan deney çalışmasında 182,5 °C olarak ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlarda kriyojenik uçlar ile yapılan deneylerde, kriyojenik işlem uygulanmamış uçlarla yapılan deneylere göre yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Varyans analizi ile etkin kesme parametreleri belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: AA 6082, Kesme Sıcaklığı, Kriyojenik, Varyans Analizi, Yüzey Pürüzlülüğü.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON MACHINABILITY IN ALUMINUM ALLOYS AA 6082

Aykut ESER

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Manufacturing
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa AYYILDIZ

October 2020, 86 pages

Aluminum alloys are widely used in the automotive, railway, shipbuilding industry and aviation industries due to their high durability, heat and electrical conductivity and their ability to heat treatment. Three different AA 6082 aluminum alloys with dimensions of 300x50x25 mm were used in this study. Half of the cutting inserts were cryogenic in nitrogen tanks cooled by liquid nitrogen tubes. Surface milling process was performed with cryogenic and non-cryogenic inserts. The effects of cutting parameters determined for milling operations on surface roughness and cutting temperature were observed. In the experiments, cutting speed (100-150-200 m/min), feed rate (0.1-0.15-0.2 mm/rev) as three different cutting conditions with two different cutting inserts (cryogenic, non-cryogenic), cutting depth (1-1,5-2 mm) values are used. In experiments with cryogenic inserts, the lowest surface roughness 0.694 μm ; were obtained under cutting conditions 200 m / min cutting speed, 0.1 mm / rev feed rate and 1 mm cutting depth. In experiments with non-cryogenic inserts, the lowest surface roughness 1.136 μm ; were determined under cutting conditions 200 m/min cutting speed, 0.1 mm/rev feed rate and 1 mm cutting depth. In the experimental work performed with a non-cryogenic insert, the highest surface roughness value was reached to 3.215. For cryogenic treated inserts the lowest cutting temperature value 80.9 $^{\circ}\text{C}$; it was determined in the experimental study performed with 100 m / min cutting speed, 0.1 mm / rev feed and 1 mm cutting depth parameters. For inserts that are not cryogenically processed, the minimum cutting temperature 90 $^{\circ}\text{C}$; it was found in the experimental study performed with 200 m / min cutting speed, 0.2 mm/rev feed rate and 2 mm cutting depth parameters. The highest cutting temperature value was reached as 182.5 $^{\circ}\text{C}$ in the experimental study with a cryogenic unprocessed insert. In the results obtained, according to the experiments made with non-cryogenic tips, it was seen that the surface roughness and cutting temperature values decreased in the experiments with cryogenic inserts. Effective cutting parameters were determined by analysis of variance.

Keywords: AA 6082, Analysis of Variance, Cryogenic, Cutting Temperature, Surface Roughness.

1. GİRİŞ

Günlük hayatımızda birçok parça, farklı imalat metotlarından bir tanesi kullanılarak üretilmektedir. Bu imalat metotlarından biri de talaşlı imalattır. Frezeleme, tornalama ve taşlama gibi üretim yöntemleri bu imalat metodunun içerisinde yer almaktadır. Talaşlı imalat ile yapılan işlemlerde, parçaların imal edilmesinde minimum maliyet ve iyi bir kalite elde edilmek istenmektedir. Metallerin difüzyonu ve kimyasal tepki, titreşim, basınç ve sıcaklığın oluşturduğu etkiler talaşlı imalat sürecini olumsuz etkileyerek, yüzeylerin kalitesinin kötü olmasına, takımın ve iş parçasının zarar görmesine sebep olur [1], [2].

Talaşlı imalat işlemlerinde doğru ölçümlere ulaşılabilmesine ilişkin bilinen sorunların ortaya çıkmasının yanı sıra, en büyük sorunlardan biri deney numunesine en uygun yüzey ve yüzey pürüzlülüğü (Ra- μm) elde etmektir [3]. Yüzey Pürüzlülüğü imalat yöntemlerinden biri olan talaşlı üretimde sık tercih edilen kalite özelliklerinden biridir. Yüzey pürüzlülüğü için toplam ve ortalama yüzey pürüzlülüğü çok kullanılan pürüzlülük değişkenleridir [4]. Farklı talaşlı imalat usulleri uygulanarak gerçekleştirilen yüzey işlemleri, kesme değişkenlerinden etkilenmektedir. Kesici takımların; aşınması, yanması, kırılması gibi olumsuz durumların yanı sıra, iş parçasının yüzey kalitesinin düşmesi de kesme parametrelerinin uygun seçilmemesinden kaynaklanabilir. Bu yüzden kesme parametreleri önemli bir etkidir. Yüzey kalitesinin öneminden dolayı imalatçılar malzemelerin yüzey pürüzlülüğünü azaltma konusu üzerine yoğunlaşmıştır [5].

Talaş kaldırma işlemi sırasında uygulanan kuvvetlerin oluşturduğu kuvvetler ve mekanik enerjilerin neredeyse hepsi ısıya dönüşmektedir. Bu durumda talaş kaldırma işleminde kesme bölgesinde oluşan sıcaklık ve ısı da talaşlı imalat işlemleri için önemli faktörler arasındadır. Isı oluşumu ve sıcaklık faktörleri hem iş malzemesi kalitesi için hem de kesici takım için çok önemlidir [6], [7].

Son yıllarda, geleneksel kesme sıvılarının kullanımını azaltmak ve zamanla kullanımını bitirmek için ortaya çıkan kriyojenik soğutucular; daha iyi kesme verimliliği elde etmek, çevre ve insan sağlığının üzerindeki zarar verici etkileri yok etmek, malzemelerin kalitesini yükseltmek ve takım ömrünü artırmak için talaşlı imalat sektöründe

kullanılmaktadır [8].

Günümüzde alüminyumların (aluminum-Al), gelişen teknoloji ile birlikte, dayanıklılığının yüksek olması, ısı ve elektrik iletkenlikleri, şekillendirme ve işleme kolaylığı gibi özelliklerinin avantajları sayesinde sanayi sektöründe kullanım alanları artmaktadır. Ayrıca hafiflik özellikleri otomobil, hava ve uzay imalat sektörlerinde yakıt tasarrufu sağlamak için ve hava kirliliğinin önlenmesine yönelik kullanımları giderek çoğalmaktadır.

Bu çalışmada, alüminyum alaşımı (aluminum alloy-AA) 6082 malzemesinin üç farklı türünün, kriyojenik işlem uygulanmış (U) ve kriyojenik işlem uygulanmamış kesici uçlar (UCTT) ile belirlenmiş kesme parametreler(i) altında frezeleme işlemine tâbi tutulmasının sonucu olarak, yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı (temperature-T-°C) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Aşağıdaki çalışmalarda bunların örneklerinden bahsedilmiştir.



2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

2.1. KRİYOJENİK İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kurşuncu, tez çalışmasında Inconel 718 süper alaşımını frezeleme işlemine tâbi tutmuştur. İşlemleri için farklı kaplamalara sahip kesici takımlar ve altlıklar kullanmıştır. Kesici takımların takım ömrünü ve aşınma davranışlarını iyileştirmek amacıyla kesici takımlara kriyojenik işlem uygulamıştır. Deneysel sonuçlarında, uygulanan kriyojenik işlemin takım ömürlerini artırdığını, bazı koşullarda yüzey pürüzlülük değerlerini (Ra) düşürdüğünü tespit etmiştir [9].

Çakır, kriyojenik işlemin Ti6Al4v alaşımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Numunelere farklı süreler ile kriyojenik işlem uygulamıştır. Elektriksel iletkenlikte %7, aşınma direncinde 24 saat ve 36 saat sürede sırasıyla %8,5 ve %13, tokluk özelliğinde %5 ve yüzey pürüzlülük değerlerinde %30 oranında iyileşme elde etmiştir. Kontrollü olarak kriyojenik işlem gerçekleştirmenin, iş parçası için mekanik, işlenebilirlik, korozyon ve aşınma dirençlerinde birçok olumlu etkisi olduğunu ifade etmiştir [10].

F. Kara ve arkadaşları, derin kriyojenik işlem görmüş ve tavlama uygulanmış AISI D2 soğuk iş takım çeliğini tornalama yöntemi ile işlenmişlerdir. Çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerinde yoğunlaşmışlardır. Ek olarak derin kriyojenik işlemin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır [11].

Kayhanlar, literatürde yapılan çalışmalar olarak magnezyum alaşımlarının freze işlemi ile ilgili çalışmaların sınırlı olduğunu belirtmiştir. Ek olarak magnezyum alaşımları için kriyojenik işlem uygulanması alanında hiçbir çalışma olmadığını bildirmiş ve çalışması ile literatüre bu alanda katkı sağlamayı amaçlamıştır. Kuru ve kriyojenik olarak iki farklı koşulda işlemlerini gerçekleştirmiştir. Kriyojenik ortamda yapılan çalışmalardan daha az talaş oluştuğu ve daha kaliteli yüzeyler elde ettiği sonucuna ulaşmıştır [12].

Takmaz, AISI O₂ soğuk iş takım çeliğini kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar ile tornalamıştır. İş parçasını işleyeceği kesici takımlara kriyojenik işlem uygulamıştır. Derin kriyojenik işlem görmüş kesici takımların kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, mikro sertlik ve takım aşınması üzerine tesirini araştırmıştır. Optimum kesme parametrelerini belirlemek için, Taguchi metodunu seçmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için en optimum

değerleri 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 250 m/dak kesme hızı koşulları ile sağlamıştır. Kriyojenik işlem sayesinde kaplamalı ve kaplamasız kesici takımların sırasıyla %11 ve %15 olarak iyileştirme kazandıkları bulgusuna varmıştır [13].

Mavi, Ti6Al4v alaşımını işlerken, üç farklı kesici takım kullanmıştır. Kriyojenik işlemsiz kesici takımlar (UCTT), kriyojenik işlemlile kesici takımlar (U) ve kriyojenik işlemden sonra temperleme işlemi görmüş kesici takımlar ile deneysel işlemleri kuru ve ıslak koşullarda gerçekleştirmiş, aralarında kıyaslamalar yapmıştır. Kuru kesme koşullarında, aşınma deneylerinde en iyi sonucu kriyojenik işlemlile kaplamalı kesici takım ile elde etmiştir. Hem kaplamalı hem kaplamasız kesici takımlarda, kriyojenik işlem görmüş ve kriyojenik işlemden sonra temperleme işlemi görmüş takımların kesme kuvvetinin azalmasını sağladığını belirtmiştir. Kriyojenik işlemden sonra temperleme görmüş kesici takımın, en iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ulaşıldığı kesici takım olduğunu gözlemlenmiştir [14].

F. Kara ve A. Takmaz, AISI D2 iş parçasına, derin kriyojenik işlem uyguladıkları kaplamalı ve kaplamasız karbür kesici takımlar ile tornalama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Taguchi yöntemi ile kesme parametrelerini belirlemişler ayrıca varyans analizi (ANOVA) ile parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Yaptıkları doğrulama testleri ile optimizasyonun başarı ile uygulandığını vurgulamışlardır [15].

Demir ve Toktaş, farklı bekletme sürelerinde AISI D2 çeliğine uygulanan derin kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğüne etkisi üzerinde yoğunlaşmışlardır. Kriyojenik işlemlile bekletme süreleri 30 dakika, 4 saat, 16 saat, 24 saat olarak seçmişlerdir. Kriyojenik işlem ile sadece temperleme işlemi ve sertleştirme işlemi olarak isimlendirilen klasik ısıll işlem numunelerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Kriyojenik işlem numunelerinin bekletme sonuçlarının, klasik ısıll işlem numunelerine göre, 24 saat bekletilmede %4,5, 16 saat için belirgin bir fark oluşmadığını, 4 saat için %12 ve 30 dakika için ise %20 oranında yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma olduğunu ölçmüşlerdir [16].

Damir ve arkadaşları, kriyojenik soğutma ile geleneksel soğutma sıvılarının arasındaki farkları araştırmışlardır. İncelemelerinde kesme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini kıyaslamışlardır. Kriyojenik işlem yöntemiyle, geleneksel sıvı yöntemine göre tüm incelemelerde olumlu etkiler elde ettiklerini vurgulamışlardır [17].

Özbek ve arkadaşları, kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür kesici takımlar ile tornalama işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için incelemeler yapmışlardır. Kesme kuvvetinin kriyojenik işlem ile artış gösterdiğini, fakat kriyojenik işlemin kesici takımında sağladığı aşınma direnci sayesinde, yüzey pürüzlülüğü değerlerinde daha iyi sonuçlara ulaştıklarını ifade etmişlerdir [18].

F. Kara ve arkadaşları, çalışmalarında geleneksel ısı işlem görmüş ek olarak derin kriyojenik işlem uygulanmış AISI 52100 rulman çeliği üzerinde işlemler yapmış, yüzey pürüzlülüğü (Ra) tahmini için iki farklı model olan yapay sinir ağ ve çoklu regresyon modelini ele almışlardır. Optimum yüzey pürüzlülüğü elde edebilmek ve derin kriyojenik sıcaklıkların bekletme sürelerinin etkilerini kıyaslamak için farklı bekletme süreleri (12, 24, 36, 48 ve 60 saat) belirlemişlerdir. 36 saat boyunca bekletme süresine sahip derin kriyojenik işlem deneyinde en iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerini elde etmişlerdir. YSA modelinin tahmin yeteneğinin, çoklu regresyon modelinden daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır [19].

Uçak ve Çiçek, farklı talaşlı imalat işlemlerinde genel olarak kriyojenik soğutmanın nasıl bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmaya çalışmışlardır. İlk maliyetlerinin yüksek olmasının kriyojenik soğutmayı kullanma oranının artmasına bir engel olduğunu vurgulamışlardır. Ancak araştırdıkları kriyojenik işlem çalışmalarında bu soğutma metodunun, farklı imalat işlemlerinde verimliliği yükselttiğini belirtmişlerdir. İlaveten ürün kalitesini iyileştirdiğini de gözlemlemişlerdir [20].

2.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Dhokia ve arkadaşları, deneysel çalışmalarında 6061-T6 alüminyum alaşımının (AA), frezeleme işlemini ele almışlardır. Kriyojenik soğutmanın, AA 6061-T6 alaşım malzemesinin işlenebilirliği üzerindeki etkilerini göstermeyi amaçlamışlar ve geleneksel soğutma ve kuru işleme ile karşılaştırmışlardır. Üç farklı işlem durumu kuru, geleneksel soğutma ve kriyojenik soğutma eşliğinde; her bir durum için, sabit iş mili hızı (5000 dev/dak), sabit kesme derinliği (3 mm) ve iki farklı ilerleme oranı (90-150 mm/dev) parametreleri altında deneyler yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, geleneksel sıvıların yüzey pürüzlülüğü için elverişli olmadığını, kuru ve kriyojenik işlemin daha iyi olduğunu ve ayrıca kriyojenik soğutmanın yüzey pürüzlülüğünü %43 oranında iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Kriyojenik soğutmanın alüminyum işlenmesinde,

geleneksel kesme sıvılarını ortadan kaldırmak için etkili bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir [21].

Shokrani ve arkadaşları, Ti-6Al-4v alaşımının frezelenmesinde kriyojenik soğutmanın etkilerini gözlemlemişlerdir. Kriyojenik soğutmanın geleneksel kuru ve ıslak koşullara göre yüzey pürüzlülüğünü %39 ve %31 oranında daha düşük ölçmüşlerdir. Geleneksel soğutma sıvısı ve kuru işleme göre kriyojenik soğutma kıyaslandıklarında yüzey bütünlüğünde ve yüzey kusurlarında iyileştirmeler elde etmişlerdir [22].

Pinar ve arkadaşları, AA 7075 malzemesine frezeleme işlemi uygulamışlardır. İlerleme oranı, kesme hızı, talaş derinliği ve işleme deseni bakımından yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Deneylerinde Taguchi deney tasarımını kullanmışlardır. Varyans analizi (ANOVA) ve grafikler ile değerlendirmeler yapmışlardır. Ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin talaş derinliği ve ilerleme oranı ile paralel, kesme hızı ile ters orantılı olduğu neticesine varmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü için optimum değer olarak ortalama 0.49 μm değerine ulaşmışlardır [23].

Rawangwong ve arkadaşları, kesme parametrelerinin, AA 7075 malzemesini freze yöntemi ile işlerken yüzey pürüzlülüğünde oluşacak etkileri araştırmışlardır. Kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne önemli ölçüde tesir ettiğini belirtmişlerdir. Yüksek kesme hızının ve düşük ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü azalttığını vurgulamışlardır [24].

Bayraktar ve Turgut, Al-5083 alaşımının frezelenmesinde, çapak yüksekliği, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliğinin artmasının ilerlemenin artmasına bağlı olduğunu, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün azalmasının kesme hızının artması ile ilgili olduğu sonucuna erişmişlerdir [25].

Kulekçi ve arkadaşları, universal freze tezgâhlarında freze işlemi gerçekleştirmişlerdir. İlerleme, devir sayısı, kesme derinliği, kesici uç yarıçapı parametrelerini kullanmışlar, geleneksel soğutma sıvısı yerine dizel kullanmayı tercih etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün en iyi değerlerinin elde edilebilmesi için talaş derinliği ve ilerleme miktarının düşük değerlerde tutulması gerektiğini belirtmişlerdir. İlerleme ve devir sayısı ortak alınacak ise iki parametrenin de yüzey pürüzlülüğü için düşük değerlerde olması, kesici uç yarıçapı ile devir sayısı birlikte alınacak ise de devir sayısının düşük, yarı çapının büyük değerlerde olması gerektiğini tespit etmişlerdir [26].

Seymen, NACHI firmasına ait parmak frezeler ile AA 7075'in frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünü deneysel olarak incelemiştir. Üçer farklı iş mili hızı, ilerleme oranı, talaş derinliği ve işleme genişliği parametrelerini kullanmıştır. Deneyler neticesinde, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye sahip parametrenin ilerleme oranı olduğunu ve ilerleme oranının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış olduğunu belirlemiştir. Yüzey pürüzlülüğü için en az etkiye sahip parametrenin ise talaş derinliği olduğunu belirtmiştir [27].

Rawangwong ve arkadaşları, çalışmalarında kesme parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Bu çalışma için AA 2024 malzemesini belirlenen kesme parametrelerine göre yüzey frezeleme yöntemi ile işlemişlerdir. Sonuç olarak kesme hızının artmasının ve ilerleme hızının azaltılmasının yüzey pürüzlülüğünü azaltmada önemli bir etken olduğunu ifade etmişlerdir [28].

Özbeyaz, AA 1050 malzemesini freze tezgâhında işlemiştir. Yüzey pürüzlülüğünün önemi hakkında bilgiler vermiş ve bu konu üzerinde çalışmıştır. Kullandığı parametreler mil devir sayısı, ilerleme ve kesme derinliğidir. Bu parametrelerin AA 1050 malzemesi üzerinde ki etkisini incelemiştir. Matlab programını kullanarak, yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için yapay sinir ağı modelini (YSA-artificial neural network-ANN) geliştirmiştir. Yaptığı bu çalışma ile hem araştırmalara hem de imalat sektörüne katkıda bulunmayı amaçlamıştır [29].

Rashid ve arkadaşları, daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmek için kesme parametrelerinin doğru seçilmesinin önemini vurgulamışlardır. Yüzey pürüzlülüğü tahmin modeli için, çoklu regresyon modelini kullanmışlardır. FANUC CNC freze tezgahında, farklı iş mili hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği parametreleri altında Al 6061 alaşım malzemesini işlemişlerdir. Deney sonuçlarının; regresyon tahmin modeline göre, yüzey pürüzlülüğünü %90 oranında doğrulukla tahmin edebildiğini kanıtlamışlardır [30].

Zhang ve arkadaşları, yüzey kalitesini optimize etmek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Optimum kesme parametrelerini belirlemek için de ANOVA yapmışlardır. Kesme parametreleri olarak kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü artırdığı, ilerleme hızının ve kesme derinliğinin ise yüzey pürüzlülüğünü azalttığını grafikler ile göstermişlerdir. Taguchi yönteminin yüzey pürüzlülüğünün optimum değerlerinin belirlenmesinde başarılı olduğunu bildirmişlerdir [31].

Benardos ve arkadaşları, yüzey pürüzlülüğü tahmini için yapay sinir ağı modellerini

geliştirmişlerdir. Deneilerini CNC freze tezgahında gerçekleştirmişlerdir. YSA'nın yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi için güvenilir ve sadece %1,86 hata oranı ile başarılı bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir [32].

Zain ve arkadaşları, yapay sinir ağ tekniğinin yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmedeki başarısını araştırmak için deneysel çalışmalarını yapmışlardır. YSA'nın yüzey pürüzlülüğü modelinin katman ve düğüm sayısı değiştirilerek geliştirilebileceği sonucunu elde etmişlerdir. En iyi yüzey pürüzlülük değerine ulaşabilmek için düşük ilerleme hızı ve radyal eğim açısı, ayrıca yüksek kesme hızı parametrelerinin kullanılması gerektiğini aktarmışlardır [33].

Alagarsamy ve arkadaşları, çalışmalarında Taguchi tekniğini uygulayarak, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması için optimum değerlere ANOVA ile ulaşmışlardır. Yüzey pürüzlülüğüne en fazla etkiye sahip parametrenin %68,74 oranıyla iş mili hızı olduğu sonucuna varmışlardır [34].

Shukla ve arkadaşları, üç farklı işlem olarak; kuru kesme, geleneksel sıvı ile kesme ve minimum miktar yağlama koşulu altında, alüminyum 6061-T6 malzemesi üzerinde, belirledikleri kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırmışlardır. Her üç koşul altında da kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünde azalma, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasının sonucu olarak ise yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Üç koşul arasında, MQL ile kesme işleminde diğerlerine göre hem aşınma hem de pürüzlülük açısından daha iyi sonuçlar tespit etmişlerdir [35].

2.3. SICAKLIK İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kus ve arkadaşları, kesme işlemi sırasında oluşan sıcaklığı ölçmek için iki farklı ölçüm yöntemi kullanmışlardır. Kuru kesme şartlarında deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme değişkenlerinde yükselişin, kesici takım sıcaklığını da olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. Kesme parametrelerinden kesme hızı değerlerinin artması ile sıcaklığın paralel olarak arttığını, ilerlemenin etkisinin ise az olduğunu gözlemlemişlerdir [36].

Yakut, soğutma sıvılarının insan sağlığı ve çevreye olan kötü etkilerinden dolayı kesme işlemlerinde kuru işlemi tercih ettiğini ve kesici takımını da buna uygun seçtiğini bildirmiştir. Al 7075 alüminyumun kesme parametreleri ile sıcaklık (T) arasında olan

ilişkiyi deneysel olarak incelemiştir. Taguchi tekniğini ve regresyon modeli tekniğini uygulamıştır. ANOVA ile en çok tesir eden kesme değişkenlerini bulmuştur. Kesme hızı ve ilerleme oranındaki artış ile sıcaklık değerlerinde artış olduğunu bulmuşlardır [37].

Dinc ve arkadaşları, AISI 1050 ve Al 7075 malzemelerini freze işlemine tâbi tutmuşlardır. Yüksek hassasiyete sahip olan kızılötesi kamera (Infrared Camera-IR) ile sıcaklık değerlerini ölçmüşlerdir. Kesme parametrelerini grafik ile ortaya koymuşlardır. Kesme hızı ve ilerleme hızının yükselmesinin sıcaklık değerlerini de yükselttiğini belirlemişlerdir [38].

Coz ve arkadaşları., iki farklı deney ortaya koymuşlardır. İlk çalışmalarında Ti6Al4v alaşımının minimum miktarda yağlayıcı ile delme işlemi sırasında kesme durumlarının en iyi duruma getirilmesi için çalışmışlar, ikinci çalışmalarında üç farklı kaplamalı kesici takımın etkisini ölçmek için kuru frezeleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızının artması ile genel olarak sıcaklık değerinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır [39].

Grzesik, üç farklı kaplamaya sahip kesici takım ile, iki farklı malzemenin işlenmesinin sonucu olarak kesme sıcaklığını incelemiştir. İlerlemenin artması ile üç kaplamalı kesici takım ile gerçekleşen işlemede meydana gelen etkileri grafiğe aktarmasıyla kesme sıcaklığında artış elde etmiştir [40].

Choudhury ve Chinchankar, kesme sıcaklığının imalat işlemleri esnasında takım ömrü ve yüzey kalitesi için çok önemli olduğunu vurgulamıştır. Kesici takım kaplamalarının ve kesme değişkenlerinin işlemede sıcaklık üzerine etkisini araştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değerlerinde yükselmenin, iki farklı kaplamalı kesici takımla yapılan çalışmada da sıcaklığın artışına sebep olduğu sonucunu ifade etmişlerdir [41].

Karagüzel, talaşlı imalatta kesme sıcaklığının önemine değinmiş, kesme sıcaklığının problem yaratmasının iş parçası toleransında, takım ömründe ve yüzey bütünlüğünde maliyet olarak olumsuz etkilerinin olabileceğini söylemiştir. Ti6Al4v alaşım malzemesinin talaşlı imalatı sırasında oluşan sıcaklık durumunu incelemiştir. Sıcaklık değerlerini termal kamera yöntemi ile belirlemiş ve kesme hızı değerleri artığında, sıcaklığın da arttığı neticesine erişmiştir. Teorik ve deneysel sonuçları grafiklerle göstermiş, birbirine yakın değerler tespit etmiştir [42].

Wang ve arkadaşları, çalışmalarında kesme kuvvetlerini ve kesme gücünü tahmin edebilecek analitik bir kesme kuvveti modeli ve sıcaklık testi sonuçlarına dayalı tahmin ve kararlılık analizi kullanarak işleme optimum koşulları uygulayarak daha kararlı ve

daha uzun takım ömrü sağladıklarını belirtmişlerdir. Ek olarak bu çalışmada, kesme hızının artmasının, paralel olarak sıcaklığı yükselttiğini gözlemlemişlerdir [43].

Yang ve arkadaşları, mikro kesici ile Al2024-T6 alaşımının mikro uç frezeleme işleminde oluşan sıcaklık dağılımını, sayısal simülasyonlar ve deneysel yaklaşım üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklık ölçümü için kızılötesi kamera kullanmışlardır. Takım uç yarıçapının azalmasının kesme sıcaklığını azalttığı bulgusuna varmışlardır [44].

Bagavathiappan ve arkadaşları, takım sıcaklığının alüminyum Al 6061 ve AISI 4340 çeliğine ilerleme hızı, kesme derinliği ve iş mili hızı gibi kesme değişkenlerinin etkilerinin frezeleme esnasında izlenebilmesi için kızılötesi termal görüntüleme kurmuşlardır. Artan iş mili hızı ve ilerleme hızı ile birlikte, takım sıcaklığının arttığını belirlemişlerdir. İş mili hızının kesici takım sıcaklığını etkileyen en önemli değişken olduğunu belirtmişlerdir [45].

Kayhanlar, AZ31B magnezyum alaşımını kriyojenik ve kuru kesme şartları altında karşılaştırmış ve frezeleme işlemine tâbi tutmuştur. Deneysel çalışmasında; sıcaklık, talaş ve kesme kuvveti gibi faktörleri incelemiştir. Kriyojenik olarak yapılan işlemlerde çok daha iyi sonuçlar elde edildiğini ayrıca kesme derinliği, fener mili hızı, ilerleme parametrelerinin artmasının sıcaklık değerlerinde artış meydana getirdiğini söylemiştir. Kesici uçta, işlem yapılırken iş parçasının neden olduğu yapışmalar kriyojenik kesme koşulunda, kuru kesme koşuluna oranla daha az oluşmuş ve kriyojenik koşullarda daha iyi yüzey kalitesi gözlemlemiştir [12].

Shah ve Bhavsar, çalışmalarında kesme parametrelerinin ve burun yarıçapının kesme kuvvetine, kesme sıcaklığına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi üzerinde durmuşlardır. Yanıt Yüzey Metodolojisi uygulayarak matematiksel modeller geliştirmeyi amaçlamışlardır. ANOVA ile kesme parametrelerinin ne kadar etkili olduğunu tespit etmişlerdir. İlerleme ve kesme hızının artması ile kesme sıcaklığının da arttığı sonucuna ulaşmışlardır [46].

Yalcin ve arkadaşları, optimum frezeleme parametrelerini belirlemek için YSA modeli geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Sıcaklık, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine deneyler yapmışlardır. Kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme değişkenlerinin artması ile paralel olarak yüzey pürüzlülüğünde ve sıcaklık değerlerinde artma görüldüğünü grafikler ile ifade etmişlerdir. YSA modelinin istenilen sonuçları elde etmede gerçekten etkili bir araç olduğunu vurgulamışlardır [47].

2.4. LİTERATÜRÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Literatürde, yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları hakkında yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, yüzey pürüzlülüğü için kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü azalttığı, ilerleme ve kesme derinliği değerlerinin ise paralel etki ile artışa neden olduğu görülmektedir. Kesme sıcaklığına bakıldığında, kesme hızı ve ilerleme parametreleri ön planda tutulmuştur. Literatüre göre kesme hızı ve ilerleme parametrelerinin artmasının, kesme sıcaklığını olumsuz etkilediği ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, üç farklı alüminyum alaşımı 6082 iş parçası kullanılmıştır. Hem kesme parametrelerinin hem de kesici uçlara uygulanan kriyojenik işlemin etkileri araştırılmıştır. Kriyojenik işlemler ve alüminyum alaşımı 6082 iş parçası ile ilgili yapılan çalışmaların frezeleme alanında az olduğundan, literatür çalışmaları ve imalat sektörüne katkı yapılması amaçlanmıştır.



3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Yeryüzünde alüminyum, silisyum ve oksijenin ardından en fazla bulunan element olarak bilinmektedir. Yeryüzünde bulunan toplam kütlenin %8'i alüminyum elementini içerisinde barındırmaktadır. Hafif ve yumuşak bir metal olan alüminyum, hava ile etkileşim içine girdiğinde anlık bir şekilde meydana gelen oksidasyon katmanı sebebi ile gümüş renginde bir görünüme bürünmektedir [48]. Alüminyumun yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Yoğunluğu $8,93 \text{ g/cm}^3$ olan bakır (Cu) ve $7,83 \text{ g/cm}^3$ olan çelik gibi metallerin yoğunluğuna göre oldukça hafiftir. Çelik malzemesinden daha zayıf görünmesine rağmen, alüminyum üzerinde gerçekleştirilecek iyileştirmeler sonucunda, alüminyumun dayanıklılığında çeliğin dayanıklılığına yakın bir seviye elde edilmektedir. Yeryüzünde birden fazla alüminyum cevheri bulunmaktadır. %55-65 Al_2O_3 bulunduran ve boksit olarak bilinen bir cevher, alüminyumun elde edilmesinde kullanılmaktadır. Boksit ilk olarak, Silisyum dioksit (SiO_2) ve demir oksit (Fe_2O_3) olarak içerdiği yabancı durumlara karşı temizlenir. Daha sonra sodyum hidroksit (NaOH) buharı ile reaksiyona girmesi sağlanır. Alüminyum oksit (Al_2O_3), suda çözünebilen sodyum alüminata (NaAlO_2) dönüşür. Bir süzgeç veya yüzdürme yöntemi ile demir (Fe) ve silisyum (Si) bileşikleri cevherden ayrılırlar. Ortaya çıkan çözeltide alüminyum, alüminyum hidroksit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) durumunda kristalize olmasının sonrasında, suyu uçulur ve saf alümina (Al_2O_3) elde edilir [49]. Çizelge 3.1'de saf alüminyumun özellikleri gösterilmiştir [50].

Çizelge 3.1. Saf Alüminyumun özellikleri.

Kristal yapısı	Yüzey Merkezli Kübik (YMK)
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150–300 °C
Özgül ısı	0,224 cal/gr (100 °C)
Ergime noktası	658 °C
Buharlaştırma sıcaklığı	2450 °C
Çekme mukavemeti	40–90 MPa
Akma mukavemeti	10–30 MPa
Kopma uzaması	%30–40
Elastisite modülü	72x10 ³ MPa
Kayma modülü	27x10 ³ MPa
Yoğunluğu	2,7 gr/cm ³
Atom numarası	13
Atom ağırlığı	26,97 gr/mol

Günümüz teknolojisinin gelişmesi ile birlikte de alüminyumlar birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Yaşadığımız evlerin kaplamalarında, kullanmakta olduğumuz mutfak eşyalarında, saf alüminyum halinde gıda ve kimya sektörlerinde, havacılık, makine, imalat, elektrik ve taşıt sektörü gibi farklı sektörlerde kullanım alanlarına sahiptir. Çizelge 3.2’de alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kullanıldığı alanlar kısaca belirtilmiştir [49], [51].

Çizelge 3.2. Alüminyum ve alaşımlarının üretilme şekilleri ve kullanım alanları.

Alüminyum Alaşımı	Üretilme Şekli	Kullanılma Alanı
Saf alüminyum	Haddeleme uğramış levha ve sac, ekstrüzyon parçaları, folyo	Çatı kaplama, kazan ve depolama tank üretimi, folyo ve ambalaj malzemeleri
(Al-Cu alaşımları) 2xxx serisi	Ekstrüzyon parçaları, dövme ürünleri, haddeleme görmüş levhalar	Uzay ve havacılık taşıtlarında, ağır dövme malzemeler, araç tekerlek jantları, pistonlar, silindir başları
(Al-Mn alaşımları) 3xxx serisi	Ekstrüzyon parçaları, dövme ürünleri, haddelemeye uğramış levha ve sac	Çatı kaplaması, kimyasal madde tank ve varilleri, gıda ve kimyasal madde taşıma takımları
(Al-Si alaşımları) 4xxx serisi	Döküm ürünleri, tel	Silindir başları, motor blokları, mimari için kullanılan elemanlar
(Al-Mg alaşımları) 5xxx serisi	Ekstrüzyon parçaları, dövme ürünleri, borular ve içi boş elemanlar, haddelemeye uğramış levha ve sac	Kazan ana levhaları, yapısal elemanlar, depolama tankları ve kazanlar, mimari için kullanılan elemanlar, tren vagonu, otomobil
(Al-Si-Mg alaşım.) 6xxx serisi	Ekstrüzyon parçaları, dövme ürünleri, borular ve içi boş elemanlar, haddelemeye uğramış levhalar	Otomobil, tren vagonu, deniz üstü yapı elemanları, deniz araçları, mimari için kullanılan elemanlar, yüksek mukavemetli yapı elemanları
(Al-Mg-Zn alaşım.) 7xxx serisi	Ekstrüzyon ürünleri, haddelemeye uğramış levha ve sac, dövme ürünleri	Uçaklarda kullanılan kalın kesitli dövme ürünleri, askeri köprüler, ağır araç ve vagonlarda kullanılan parçalar, zırh levhaları, yüksek mukavemetli yapı elemanları

3.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE SINIFLANDIRILMASI

Alüminyum alaşımlarının; mukavemet, sertlik, aşınma direnci, tokluk ve diğer mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Isıtma işlemi gören alüminyum alaşımları ile alüminyum arasında farklar bulunmaktadır. Isıtma işlemi gören alüminyum alaşımları, belirlenmiş olan sıcaklık değerlerinde, tayin edilmiş bir süre ile bekletilirse sertliği ve mukavemeti yükseltilebilir. Alüminyum ise tavlama işlemi sona erdiğinde mukavemet değerlerinde azalma görülebilir. Fakat soğuk şekillendirme ile sertlik değerleri artırılabilir. Bu bekleme durumu yaşlandırma olarak ifade edilmektedir [52], [53].

Isıtma işlemi ile sertlik özelliği artırılmak istenen alüminyum alaşımı için kademe kademe işlem uygulamak gerekmektedir. İlk olarak belirlenmiş bir sıcaklığa kadar ısıtma işlemine tâbi tutulur. İkinci işlem olarak alüminyum alaşımı bu sıcaklık içerisinde tayin edilen süre kadar bekletilir. Ardından alüminyum alaşımına hızlı bir şekilde su verilerek, düşük derecede bir sıcaklığa erişmesi sağlanır. Son olarak çökeltme sertleşmesi ve yaşlandırma işlemi gerçekleştirilir [53].

Alüminyuma uygulanan farklı ısıtma işlemleri ile birlikte, sınıflandırmalar meydana gelmiştir. Sınıflandırma harfleri ve uygulanan ısıtma işlemleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir [54], [55].

Çizelge 3.3. Alüminyuma uygulanan ısı işlemler için harfler ve seri numaralar.

KOD		ISIL İŞLEM
F		Fabrikada yapılmış, tüketime hazır durumu
O		Tavlama işlemine sokulmuş (muhtemel en yumuşak hali)
H		Soğuk biçimlendirilmiş
H	H1	Sadece soğuk olarak biçimlendirilmiş
	H2	Soğuk olarak biçimlendirilmiş ve bir kısmı tavllanmış
	H3	Soğuk olarak biçimlendirilmiş ve stabil duruma ulaşılmış
W		Yüksek sıcaklıkta ısıtılmış, bir süre bekletilmiş ve soğutulmuş
T		Yaşlandırılma işlemi görmüş
T	T1	Üretim sıcaklığından soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış
	T2	Üretim sıcaklığından soğutulmuş, soğuk olarak biçimlendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış.
	T3	Çözelti işlemi uygulanmış, soğuk olarak biçimlendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış.
	T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlandırılmış.
	T5	Üretim sıcaklığından soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış.
	T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlandırılmış.
	T7	Çözeltiye alınmış ve aşırı yaşlanma ile kararlı hale getirilmiş.
	T8	Çözeltiye alınmış, soğuk biçimlendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış.
	T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk biçimlendirilmiş.
	T10	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk biçimlendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış.
	T351	Çözeltiye alınmış, kontrollü miktarda germe ile gerilim düzeltilmiş ve doğal yaşlandırılmış. Hadde ürünleri uygulamaları için geçerlidir.
	T3510	Ekstrüzyon olarak imal edilmiş çubuk, boru vb. malzemeler için.
	T352	Çözeltiye işlemi uygulanmış, gerilim ve sıkıştırma düzeltilmiş ve doğal yaşlandırılmış.
	T651	Yaşlandırma işleminden önce ilave kontrollü germe uygulayarak gerilimi dindirilmiş.

3.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMI

Alüminyum alaşımları iki ana başlık altında bir araya getirilirler. Bunlar dökme alüminyum alaşımları ve dövme alüminyum alaşımlarıdır. Bir kısmının yaşlandırılma işlemi ile dayanıklılığı artmaz iken, diğer kısım yaşlandırma işlemine tâbi tutulup dayanıklılık vb. özellikleri geliştirilmektedir [54], [55].

3.2.1. Döküm Alüminyum Alaşımları

Döküm alaşımları; düşük ergime sıcaklığına sahiptir. Katı duruma geçmesi esnasında bu sürenin kısa olması ile birlikte çevrim süreside az olur. Soğuma esnasında çatlama ve sıcak yırtılmalar meydana gelir. Döküm işlemi gerçekleştirildikten sonra parça kimyasal ve fiziksel olarak kararlı bir yapıya bürünür. Döküm Alaşımları, kokil kalıba döküm, metal enjeksiyon, kumlama gibi metotlar ile üretilirler [56], [57]. Çizelge 3.4'te döküm alaşımlarının sınıflandırılması ve ısıl işlemleri belirtilmiştir [54], [55].

Çizelge 3.4. Döküm alaşımlarının sınıflandırılması ve ısıl işlemleri.

Seri Kodları	Isıl İşlem Durumu
1xxx	Yaşlandırılmaz
2xxx	Yaşlandırılabilir
3xxx	Yaşlandırılmaz
4xxx	Yaşlandırılabilir (Eğer Mg varsa)
5xxx	Yaşlandırılmaz
6xxx	Yaşlandırılabilir
7xxx	Yaşlandırılabilir
8xxx	Yaşlandırılabilir
9xxx	-

3.2.2. Dövme Alüminyum Alaşımları

Dövme alaşımları, farklı soğuk ve sıcak işlemler ile belirli biçim ve formlara dönüştürülebilen malzemelerdir. Kolay biçimlendirilmeleri, plastik deformasyonunun iyi olması sayesinde. Folyo, levha, sac, farklı profiller, boru ve tel gibi malzemeler dövme alüminyum alaşımlarından imal edilmektedir [57]. Çizelge 3.5'te dövme alaşımlarının sınıflandırılması ve işlemleri gösterilmiştir [55], [58].

Çizelge 3.5. Dövme alaşımlarının sınıflandırılması ve ısıt işlemleri.

Seri Kodları	Isıl İşlem Durumu
1xxx	Yaşlandırılmaz
2xxx	Yaşlandırılabilir
3xxx	Kısmen Yaşlandırılabilir
4xxx	Yaşlandırılmaz
5xxx	Yaşlandırılmaz
6xxx	-
7xxx	Yaşlandırılabilir
8xxx	Yaşlandırılabilir
9xxx	-

3.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMI 6082 ÖZELLİKLERİ

Alüminyum alaşımı 6082, 6xxx grubu içerisinde yer almaktadır. 6082 alüminyum alaşımına dövme ve ısıt işlem yöntemleri uygulanabilir. Temel olarak magnezyum (Mg) ve silisyum (Si) alaşım elementlerinden oluşur. İşlenebilirliği ve biçimlendirme özellikleri yüksektir. Mukavemet özelliklerine ve korozyon direncine sahiptirler. Ekstrüzyon ile imal edilen parçalar için kullanılır. Ayrıca otomatik sektöründe dövme işlemi yöntemi ile imal edilen parçaları üretmek için de yaygın olarak kullanılır [59], [60]. 6082 alüminyum alaşımı 6000 serisi alaşımların en yüksek mukavemetine sahip alaşımdır. 6082 alüminyum alaşımı yüksek mukavemeti sayesinde birçok uygulamada 6061 alüminyum alaşım malzemesinin yerini almıştır [61].

4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

4.1. TALAŞLI İMALAT

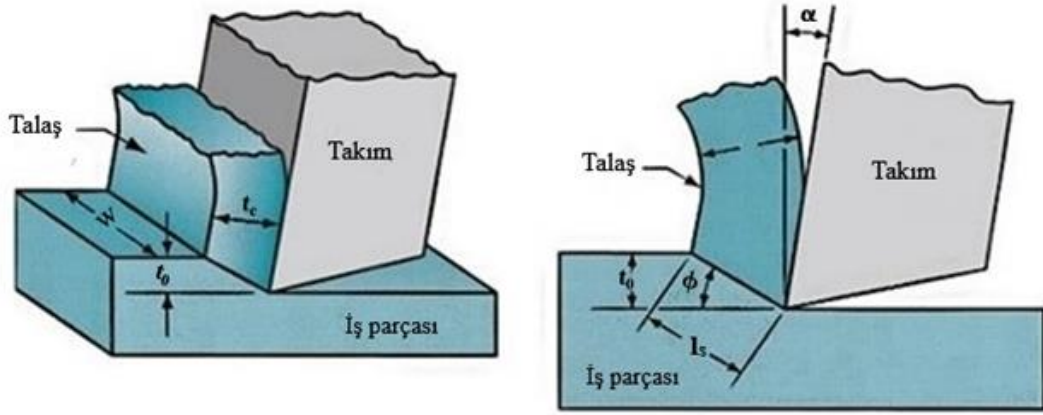
Talaşlı imalat, farklı tezgâhlar (freze, matkap, tornalama vb.) ve farklı kesici takımlar kullanılarak iş parçası (dövme, döküm, haddelenmiş, yarı mamul hali) üzerinden iş parçasını belirlenen şekle getirebilmek için üzerindeki fazla malzemenin talaş olarak uzaklaştırılma yöntemidir. Gerçekleştirilen bu işlem sonucunda ulaşılmak istenilen yüzey kalitesi ve geometrisine ulaşılabilir. Talaşlı imalat sayesinde, dairesel ve düz yüzeyler elde edilebilir. Karmaşık şekiller elde etmek için de birden fazla imalat işlemi sırası ile uygulanabilir. İş parçasının kendisine istenilen ölçüleri çok yakın toleranslarda kazandırılabilir ve yüzey kalitesi olarak çok iyi bir yüzey ortaya çıkabilir [62].

4.2. TALAŞ MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU

En kullanışlı talaşlı işlemlerinin birçoğunun şekli karmaşıktır. Bu karmaşıkları giderebilecek, talaşlı üretimin yalın halde sunulan bir modeli bulunmaktadır. Ayrıca bu model işlemin mekaniğini iyi bir şekilde aktarabilir. Bu model ortogonal kesme modeli olarak isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde gerçekte üç boyutlu olmasına karşın, ortogonal kesme modeli iki boyutludur [63].

Ortogonal kesme de kesici takım kesme yönüne göre dik bir şekildedir. Takım parçaya kuvvet uygular. Bu kuvvet iş parçası yüzeyi ile kesme düzlemi arasında boşluk açısı oluşan düzlem süresince devam eder ve kesme deformasyonu talaş şekillerini oluşturur. Parça, şeklini alırken ana malzemeden talaş kaldırmanın neticesinde, kesici takımın keskin tarafında bozulmalar meydana gelir. Malzeme, kesme düzlemi süresince mekanik enerji tüketildiği için plastik deformasyonu ortaya çıkar. Ortogonal kesme işleminde, kesici takım şekli iki elemandan oluşur;

- Talaş açısı; iş malzemesinden fazlalık olarak atılan talaşın yönünü belirtir.
- Boşluk açısı; yeni oluşmuş yüzey ile kesici takımın yan yüzeyi arasında oluşan küçük boşluğu ifade eder. Şekil 4.1’de ortogonal kesme gösterilmiştir [63].



t_0 : Deforme olmamış talaş kalınlığı

t_c : Deforme olmuş talaş kalınlığı

w: İş parçası genişliği

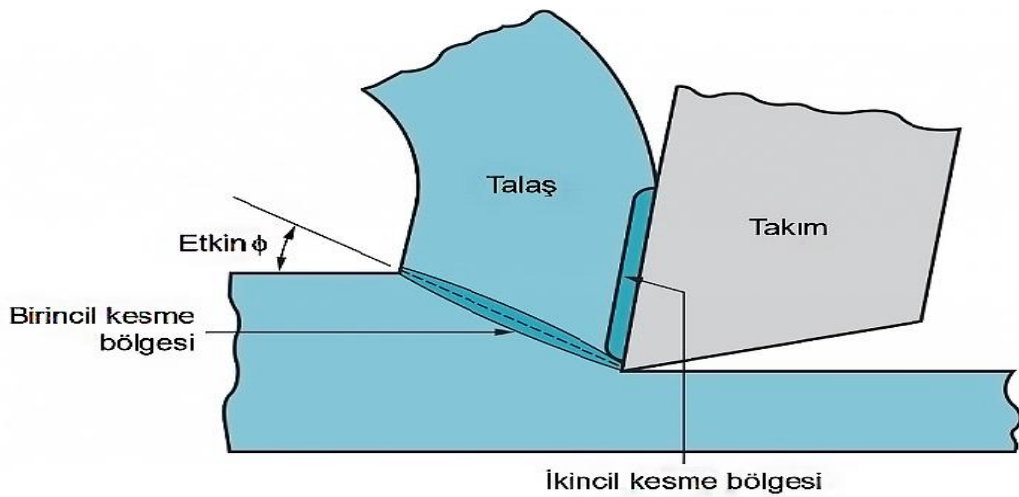
l_s : Kayma düzlemi uzunluğu

ϕ : Kayma düzlemi açısı

α : Kesici takım talaş açısı

Şekil 4.1. Ortogonal kesme; üç boyutlu işlem ve iki boyuta basitleştirilmiş hali.

Gerçek talaşlı imalat ile ortogonal kesme modeli arasında farklar vardır. Gerçek talaşlı imalatta kesme deformasyonu gerçek bir bölgede meydana gelir ve bir düzlem süresince gerçekleşmez. Kesme işlemi dar bir bölgede gerçekleşir. Kesme bölgesi çok ince bir yapıdadır ki, bu bölge genellikle düzlem olarak kabul edilir. İkinci olarak ise, oluşan kesme bölgesinin, dış tarafında ikinci bir kesme deformasyon bölgesi ortaya çıkmaktadır. İkincil kesme bölgesi, kesici takım ile talaş arasında oluşan sürtünme ile oluşmaktadır. Şekil 4.2’de gerçekçi talaş oluşumu gösterilmektedir [63].



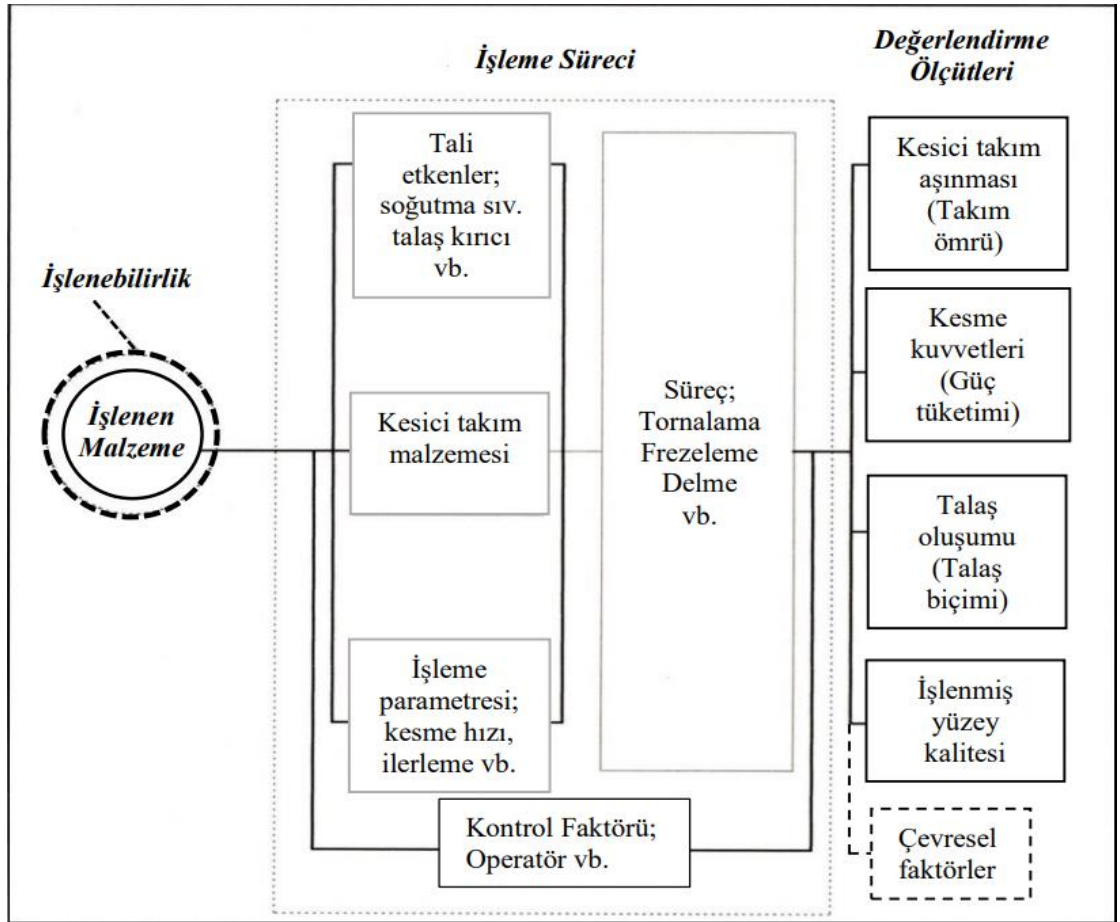
Şekil 4.2. Talaş oluşmasının daha gerçekçi görünümü.

4.3. İŞLENEBİLİRLİK

İş parçasının işlenebilme durumu ve diğer kendine özgü özellikleri “işlenebilirlik” altında toplanmaktadır. İşlenebilirlik incelenmesi zor bir konudur. Genel olarak işlenebilirlik, belirlenmiş kesme şartları ile bu işlem şartına uygun kesici takım ile işlenebilmesine göre kolaylığı olarak tanımlanabilir. İşlenebilirliğin değerlendirmesi için, kuvvet ve güç, takım ömrü, talaş boşaltma kolaylığı, takım sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü gibi çeşitli ölçütler bulunmaktadır [63].

Başka bir tanımlama olarak işlenebilirlik, belirlenmiş koşullar altında işlenecek olan malzemenin kalitesini ifade eder. Takım ve iş parçası üzerinde ve çıkan talaşların kalitesi [64], [65].

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi işlenebilirlik, işlenecek olan parçaya has özelliklerdir. Malzemenin işlenebilirliği; kimyasal, mekanik, fiziksel özellikleri ve mikroyapısı gibi parametrelerden etkilenir [66], [67].

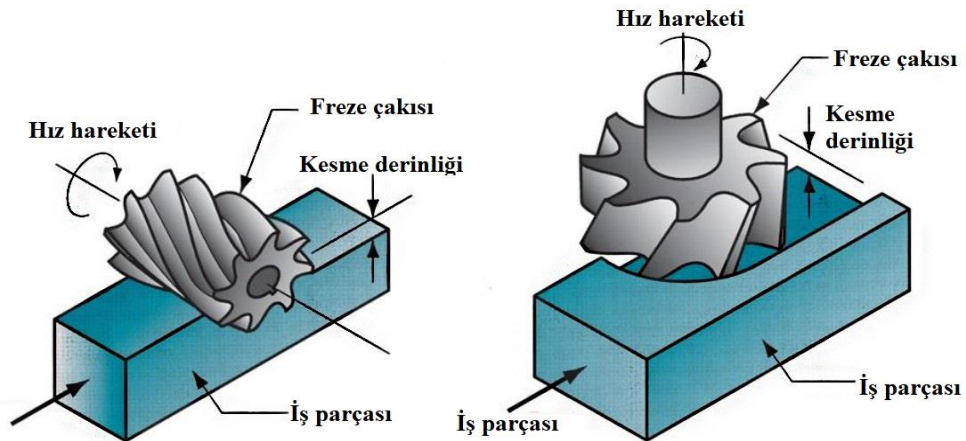


Şekil 4.3. Talaş kaldırma süreci ve işlenebilirlik durumu.

4.4. FREZELEME

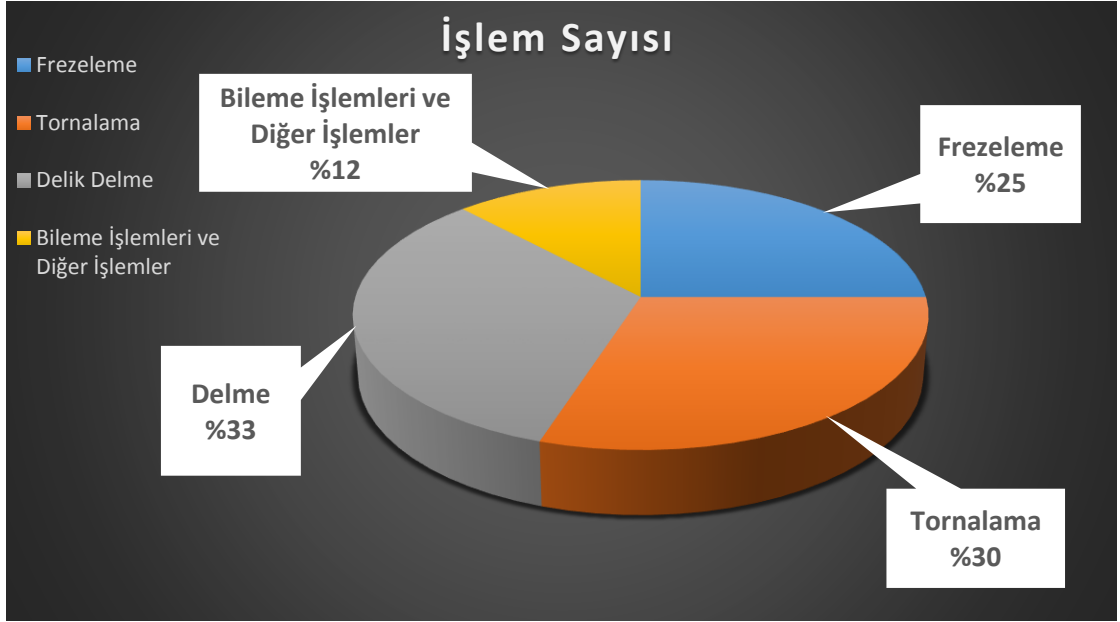
Talaşlı imalat yöntemlerinde birden fazla üretim yöntemi bulunur. Bunlar planyalama, raybalama, testere, tornalama ve frezeleme yöntemidir. Frezeleme de kesme takımı freze çakısı olarak isimlendirilir. Kesici kenar kısımları da diş olarak ifade edilir. Frezeleme işlemi, üzerinde bir ya da birden fazla kesme kenarı (diş) bulunan kesme takımına (freze çakılarına) doğru iş parçasının ilerletilmesiyle, kesici gerçekleşir. Kesme takımının dönme eksenini, ilerleme yönüne olarak konumlanır ve bu frezelemeyi delik delmeden ayıran önemli bir özelliğidir. Delik delmede, dönme eksenini, ilerleme yönü ile paralel konumlandırılır. Bu işlemleri gerçekleştiren tezgâh, freze tezgâhı olarak adlandırılır. Frezeleme yüksek imalat hızları ve çok farklı şekilleri imal edebilmesinin sayesinde talaşlı imalat sektörünün en yaygın kullanılan işlemlerinden birisidir. Frezeleme operasyonlarında da iki temel frezeleme türü bulunmaktadır. Şekil 4.4'te iki temel frezeleme çeşidi gösterilmiştir [63]. Bunlar:

- Çevresel frezeleme; kesme takımının dönme eksenini, işlem yapılan yüzeye paralel konumlandırılır. Freze çakılarının dış bölgesinde yer alan dişleri ile kesme işlemi gerçekleştirilir. Diğer bir ismi düz frezeleme olarak ifade edilmektedir.
- Alın frezeleme; kesici takımın dönme eksenini, frezeleme işlemi yapılacak olan yüzeye dik olarak konumlandırılır. Kesme takımının iç ve dış taraflarında bulunan dişler ile kesme operasyonu gerçekleştirilir.



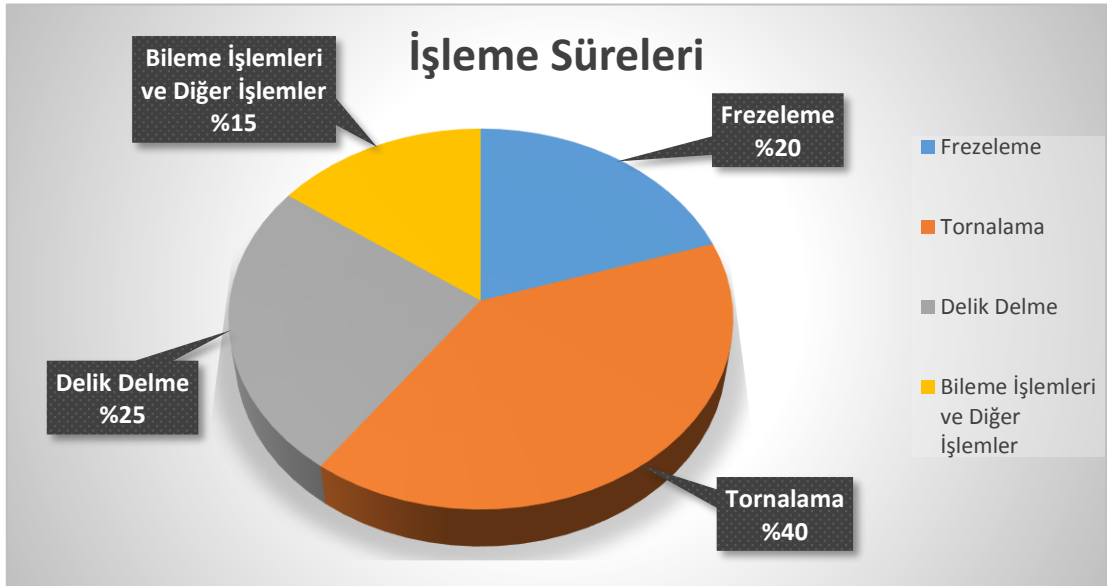
Şekil 4.4. Çevresel frezeleme ve alın frezeleme.

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılacak üretim yöntemi ve zaman tasarrufu önemlidir. Şekil 4.5'te frezeleme işlemlerinin talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık %25'ini içerdiği belirtilmiştir [68], [69].



Şekil 4.5. Frezelemenin, diğer talaş kaldırma metotları ile kıyaslanması.

Kesici takımlar ile talaş kaldırma yapılırken tüketilen zamanın %20'si freze tezgâhında işlem yapılarak geçirilmektedir. Şekil 4.6'da işlem operasyonu yaparken tüketilen süreler yüzde olarak ifade edilmektedir [68], [69].

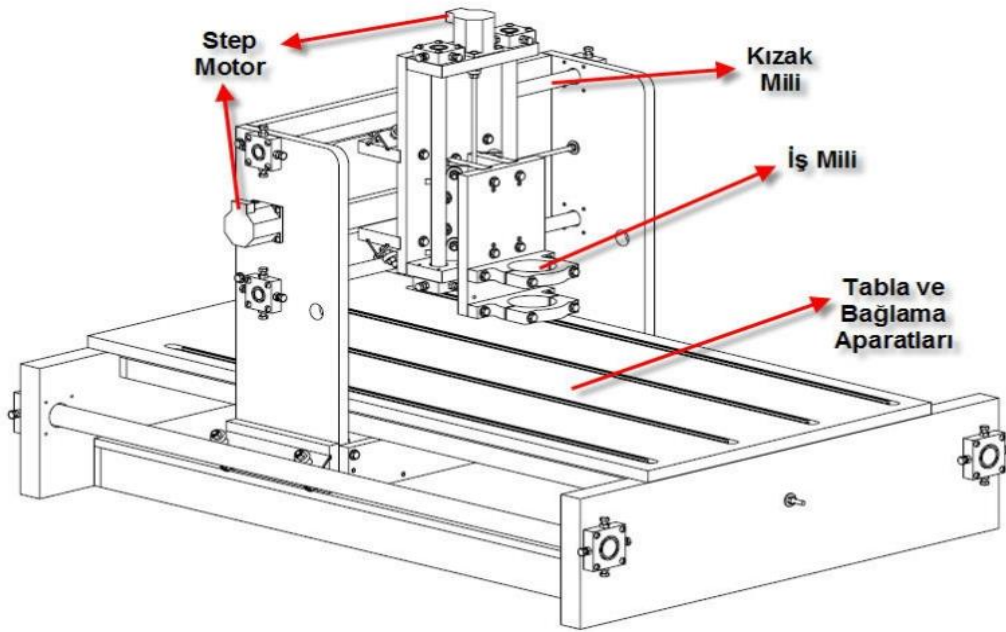


Şekil 4.6. Frezelemenin süresinin, diğer talaş kaldırma metotları ile kıyaslanması.

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte, kompleks parçaların daha hızlı ve dikkatli üretimine ihtiyaç olmaktadır. Bu sebepten dolayı Nümerik Kontrol (Numerical Control-NC) tezgahlar ortaya çıkmıştır. Bu tezgahların bilgisayar kontrollü olanları ise Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (Computerized Numerical Control-CNC) tezgâhlarıdır. NC

tezgâhlarda, belirli bir, kapasite, kesme operasyonları ve tezgâhın kendine nitelikler bulunmaktadır. Bundan dolayı, bu tezgahlar kendine özgü olmayan işlemleri yapamazlar. Ancak CNC tezgâhlar da farklı işlem operasyonları yapılabilir. CNC tezgâhlar sanayide üretimi daha kolay, daha ucuz maliyetli ve seri bir duruma getirmiştir. Belirli bir programa dayalı olarak CNC tezgâhlar, otomatik olarak imalatı gerçekleştirebilirler. Ağaç işleme, ahşap oyma, delme, tornalama ve frezeleme işlemleri gibi işlemler bu makineler ile yapılabilir. Bir, üç ve daha fazla eksenlere sahip olan bu makinelerden bir tanesi de CNC freze tezgâhıdır [70], [71].

CNC freze tezgâhları, birçok işleme kapasitesine sahiptir. Bir programda bir veya birden fazla kesici takım kullanılabilir ve kesici takımlar otomatik olarak değiştirilebilir. CNC freze tezgâhı bölümleri Şekil 4.7’de görülmektedir [72].



Şekil 4.7. CNC freze tezgâhı ana bölümleri.

4.5. KESME PARAMETRELERİ

4.5.1. Kesme Hızı

Kesme hızı; bir freze takımının, çevresindeki kesen bir dişin (noktanın) bir dakikada metre cinsinden keserek aldığı yoldur. Kesme hızı, yüzey hızı olarak da adlandırılır. Kesme hızı aşağıda verilen formül ve birimlerle ifade edilir.

$$V_c = (\pi \cdot D \cdot n) / 1000 \quad (4.1)$$

- V_c = Kesme hızı, m/dak.
- n = devir sayısı, dev/dak.
- D = Freze takımının çapı, mm.

Kesme hızı değerleri, yapılacak işleme uygunluk olması açısından, kesici takımın alındığı firmaların kataloglarından seçilmektedir. İşlem zamanı ve takım ömrü için önemli olan, gerçekleştirilecek işleme uygun kesme hızı seçimidir. Kesici takımın düşük kesme hızlarında kullanılması demek, yapılacak işlemde tüketilecek zamanının artması demektir. Aşırı bir hız seçildiği takdirde ise, takımın ömrü oluşacak ısı ve sürtünme nedeni ile hızlıca aşınmaya uğrayabilir ve bu sebep yüzünden takımı değiştirmek tekrar tüketilecek zamanın artmasına yol açabilir. Her malzeme türünün yapısı, sertliği ve işlenebilirlik özellikleri farklı olacağından, seçilecek olan iş parçası ve kesici takıma göre farklı kesme hızları belirlenmelidir [73]-[75].

Bir malzemenin işlenmesi için, kesme hızı parametresinin belirlenmesinde;

- Kesici takım malzemesi.
- İş parçası malzemesi.
- Gerekli olan bitirme yüzeyi.
- Takım çapı.
- Tezgâh ve bağlama elemanların sabitliği.
- Talaş derinliği gibi faktörler dikkate alınmaktadır [75], [76].

4.5.2. İlerleme Hızı

Frezeleme işleminde, üç farklı ilerleme bulunmaktadır:

- İlerleme veya ilerleme hızı (V_f , mm/dak); bu ilerleme, dönmekte olan freze kesici takımının altından iş parçasının bir dakikada milimetre değerinden aldığı yol olarak ifade edilir. İlerleme hızının hesaplanması aşağıda gösterilmiştir [74].

$$V_f = f_z \times z \times n \quad (4.2)$$

- V_f = İlerleme hızı, mm/dak.
- f_z = Diş başına ilerleme, mm/diş.
- z = Kesici uç sayısı, adet.

- n = Devir sayısı, dev/dak.
- Devir başına ilerleme (f_n , mm/dev); özellikle ilerleme değerini hesaplar iken alın frezenin son işlem kapasitesinin belirlenmesi durumunda kullanılır. Bu değer kesici takımın bir devirdeki ne kadar mesafe ileri gittiğini belirten yardımcı bir değerdir [74].
- Diş başına ilerleme (f_z , mm) frezeleme işleminde önemli bir büyüklüktür. Freze başlığı çok uçlu bir takımdır, dolayısıyla her ucun yeterli bir talaşı kaldırabilmesi için uygun bir ilerleme değerine gereksinimi vardır. Diş başına ilerleme bir kesici kenarın parçaya girişi ile bir sonraki kesici kenarın parçaya girişi arasında geçen sürede tablanın ilerlediği mesafe olarak tanımlanır. Bu nedenle bu büyüklük takımdaki mevcut uç sayısı ve ilerleme hızına bağlı olarak değişir [74], [77].

İlerleme değeri uygun seçilmez ise, iş parçasının kalitesini, kesici uçları ve maliyeti olumsuz yönde etkiler. Yüksek miktarda ilerleme değeri kesici uçların kırılmasına neden olabilir, düşük miktarda ilerleme de ise zaman kaybı meydana gelecektir [73], [74].

4.5.3. Kesme Derinliği

Kesici takımın işlenecek olan iş parçası içerisine doğru aldığı yol olarak adlandırılır. Simgesi, a_p ile ifade edilmektedir. Talaş derinliğinin, gerekli değer olarak seçilmemesi, ilerleme gibi yüzey kalitesinde bozulmalara neden olur. Maliyeti artırır. Kesme derinliği değeri belirlenenden çok fazla verilir ise, kesici takımın veya uçlarının kırılmasına yol açar. Az bir değer verilir ise de birden fazla işlem yapmak zorunda kalınacağından dolayı zaman kaybını ortaya çıkarır [73]-[75].

4.6. KRİYOJENİK İŞLEM

Kriyojenik işlem kesici takımlara veya malzemelere, eksi derecelerdeki sıcaklıklar altında, farklı birçok özellik kazandırabilmek ve bu özellikleri iyileştirebilmek için uygulanan bir yöntemdir. Kriyojenik soğutma işlemi, üzerinde veya dış kısmında bilgisayar kontrollü denilen ekranlardan ayarlanarak, içerisindeki malzemelere, takımlara azot tanklarında bulunan sıvı azot (liquid nitrogen-LN₂) uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Kriyojenik işlem üç aşamadan oluşur. Bunlar:

- Kontrollü soğutma işlemi (1-2 °C/dk hızlar ile).
- Bekleme süresi.

- Kontrollü ısıtma işlemi [78].

Isıl işlem gibi mekanik özelliklerin kazanılmasını sağlayan kriyojenik işlem ile; malzemelere, kesici takımlara birden fazla özellikler kazandırılabilir. Bu özellikler:

- Daha iyi tokluk ve çekme mukavemeti.
- İşlenebilirlik geliştirme.
- Malzemelerin, kesici takımların kullanılmasındaki ömürlerinde artma.
- Sertlik değerlerinde artmalar veya azalmalar.
- Yorulma ömründe iyileştirme.
- Aşınma direncinde artma.
- Korozyon direncini geliştirme.
- Kalıntı gerilmelerini çözebilme olarak belirtilebilir [79].

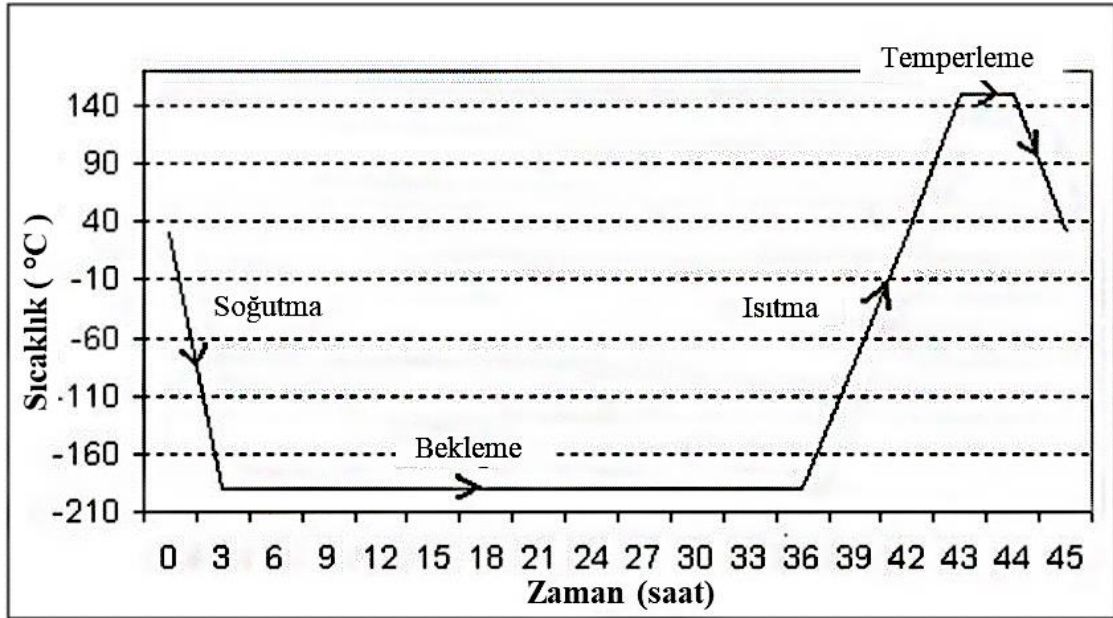
Kriyojenik işlem iki grup altında toplanabilir. Bu gruplar;

- Sığ kriyojenik işlem; -150 °C'ye kadar.
- Derin kriyojenik işlem; -196 °C'ye kadar [78].

Derin kriyojenik işlem, çalışmalarda sığ kriyojenik ile birlikte kullanılan veya kıyaslama yapılan malzemelerin; tokluk, çekme kuvveti, mukavemeti, aşınma ve korozyon dirençleri olmak üzere birçok özelliği kazandırılması veya iyileştirmesi için uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde, malzemeler ilk olarak -196 °C'ye kadar soğutulur. Bu soğutma işlemi yavaş bir şekilde yapılır.

Malzeme bir süre bekletilir ve ardından tekrar oda sıcaklığına yavaş yavaş yükseltilir. Son olarak bu malzemelere temperleme uygulanır [80], [81]. Ayrıca derin kriyojenik işlem, sıg kriyojenik işleme göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Derin olarak işlem görmüş kesici takımlar, geleneksel ısıl işlem görmüş kesici takımlara göre maksimum takım ömrü iyileştirmeleri yaklaşık %50'dir [82]. Şekil 4.8'de standart olarak derin kriyojenik uygulaması gösterilmektedir [83], [84].



Şekil 4.8. Standart derin kriyojenik ısıl işlem uygulaması.

Sıg kriyojenik işlem uygulanacak malzemeler, 5 saat süre ile -80 °C'ye kadar mekanik bir dondurucuda bekletilir. Bekletilme süresinin ardından malzemeler, oda sıcaklığına bırakılırlar [85]. Sıg kriyojenik olarak işlem görmüş kesici takımlar, geleneksel ısıl işlem görmüş kesici takımlara göre maksimum takım ömrü iyileştirmeleri yaklaşık %35'tir [82].

4.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

4.7.1. Yüzey Pürüzlülüğü Tanımı

Yüzey pürüzlülüğü, iş parçanın kalitesinin değerlendirilmesinde dikkat edilen en önemli özelliklerdendir [86].

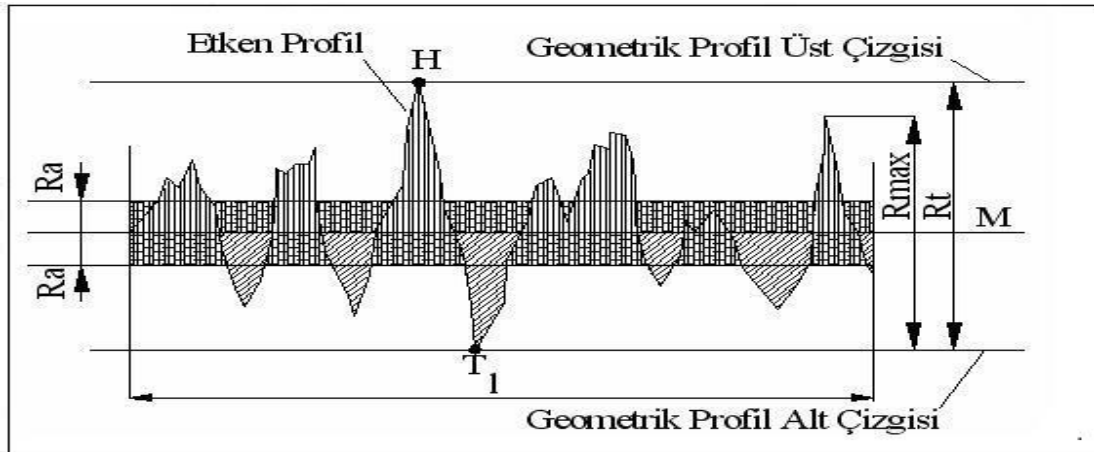
Pürüzlülük, bir nesnenin çevresi ile nasıl bir etkileşim içerisinde olacağını belirlemede önemli bir etkidir. Pürüzlü olan yüzeyler, pürüzsüz yüzeylere göre, yüksek sürtünme

katsayıları ve hızlı aşınmaya neden olabilir. Yüzey pürüzlülüğü imalat işlemlerinde istenmeyen bir durumdur [87].

Elde edilmek istenilen yüzey kalitesi talaşlı imalatta her zaman en önemli parametrelerden birisi olmuştur. Yüzey hassasiyeti; yüzey pürüzlülüğü, yüzeyde oluşan çatlaklar, kalıcı olarak oluşan gerilme ve ek olarak kimyasal değişim, temperleme, yanma durumu gibi termal olan hasarlar gibi birden fazla parametreyi içinde bulunduran terimdir [88], [89].

Frezeleme ve tornalama işlemlerinde genel olarak talaş derinliği ve ilerlemenin düşük olması pürüzlülüğü azaltır. Yüzey pürüzlülüğü değeri için kullanmakta olan değerler vardır. Şekil 4.9'da pürüzlülük için belirlenmiş ölçüm bilgileri ifade edilmiştir [55], [90].

- R_a = Ortalama Pürüzlülük Değeri (μm).
- R_t = Pürüzlülük Yüksekliği (μm).
- R_{max} = En Büyük Pürüzlülük Derinliği (μm).
- L = Örnek Uzunluk (mm).

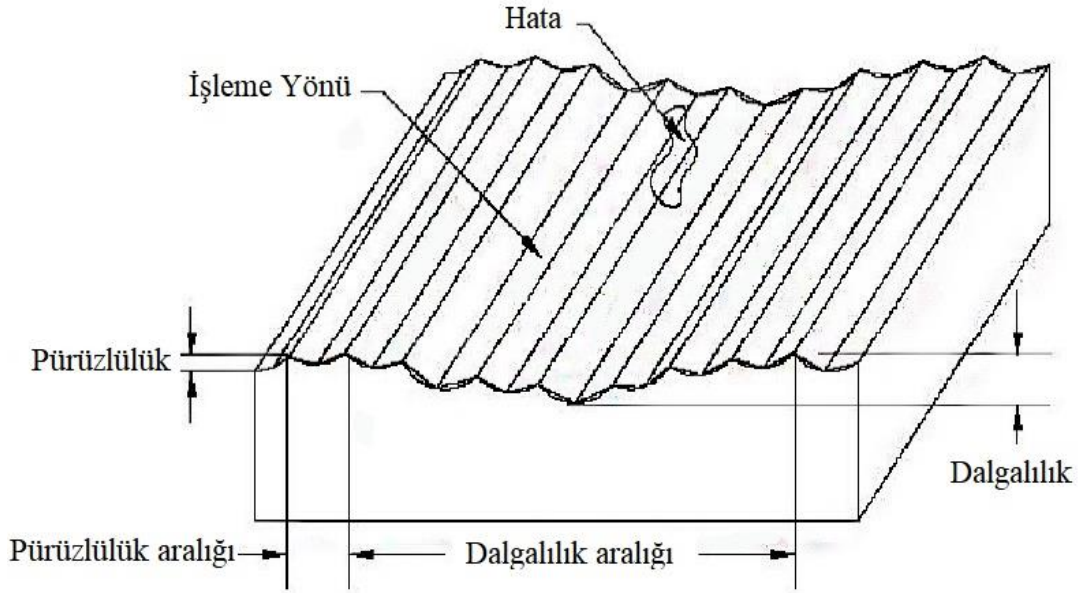


Şekil 4.9. Yüzey pürüzlülük profili.

Talaş kaldırma işlemi ile işlenen iş parçalarının yüzeylerinde, iki tür yüzey sapması meydana gelir. Bunlar; pürüzlülük ve dalgalanmadır. Pürüzlülük, yüzeyin kalitesinde rol oynar iken, dalgalanma ise yüzeyde oluşacak geometrik şekli belirler [91], [92].

Düz bir yüzey, dalgasız olarak ifade edilir. Pürüzlük ise dalgalı olarak belirtilir. Bu ifadeler ancak bir tırnak ile kontrol edilen veya gözle bakılarak anlaşılmaya çalışılan, pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler olarak ifade edilmek istenir. Yüzey şekilleri,

işlem yöntemine göre değişmektedir. Şekil 4.10'da işlem görmüş bir yüzey şekli görülmektedir [63], [92].



Şekil 4.10. İşlem görmüş bir yüzeyin yapısı.

4.7.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Talaşlı imalat işlemleri esnasında, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen durumlar bulunmaktadır. Bunlar [88], [89]:

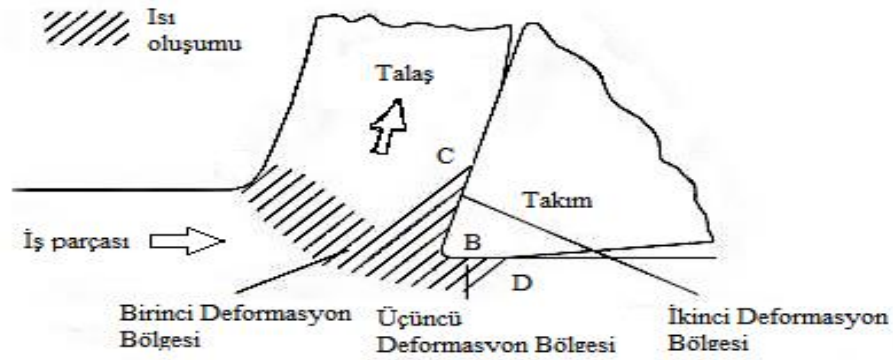
- Takım tezgâhının rijitlik durumu.
- Talaş akışının neden olduğu bozukluklar.
- Yataklama sisteminden ortaya çıkan hatalar.
- Kullanılıyor ise soğutma sıvıları.
- Takım tutucu rijitlik durumu.
- Malzemenin kimyasal özellikleri.
- Malzemenin mekanik özellikleri.
- Takım aşınmasının etkileri.
- Talaş kaldırma şekilleri.
- Takım geometrisi.
- Kesme parametreleri (ilerleme hızı kesme derinliği, kesme hızı vb.) faktörleridir.

4.8. KESME SICAKLIĞI

4.8.1. Kesme Sıcaklığı Tanımı

Talaş kaldırma işlemi esnasında, toplam enerjinin %98'e yakını ısıya dönüşmektedir. Bu durum takım ve talaş ara yüzünde oluşan sıcaklığın değerlerinin, normal değerlerinin üzerine çıkmasına neden olur. Geriye kalan %2 oranında ki enerji, talaştaki elastik depolamayı barındırır [63].

Mekanik ve ekonomik sorunların çoğu, doğrudan veya dolaylı olarak talaş kaldırma işlemi sürecince meydana gelen ısıdan kaynaklanır. Isı oluşumu üç bölgede gerçekleşir. Şekil 4.11'de bu bölgeler gösterilmiştir [6], [93], [94].



Şekil 4.11. Dik (ortogonal) kesme işleminde ısı oluşumu.

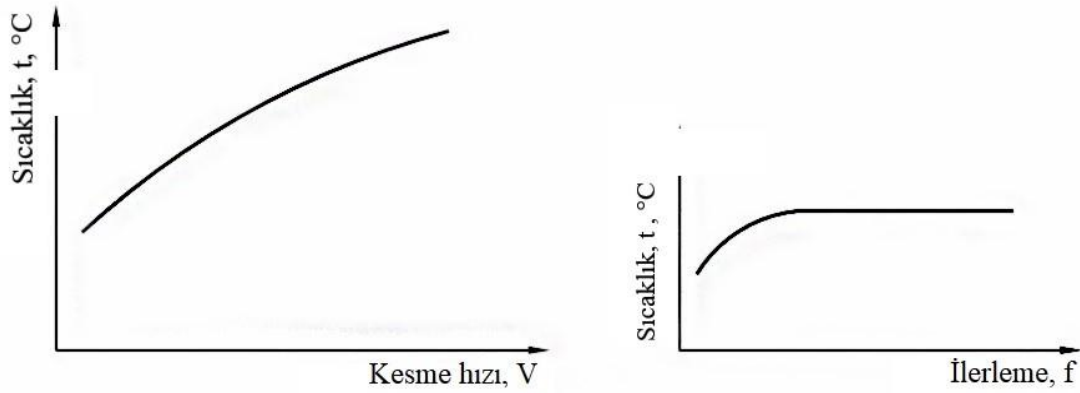
- Plastik deformasyon ile oluşan ısı, kayma alanında (birinci deformasyon bölgesi)-(AB) meydana gelir. Bu ısının çoğu, talaş içerisinde kalır. İçeride kalmış olan ısı, atılan talaş ile birlikte kesme işlemi alanından savuşturulur. En büyük ısı değeri, kayma alanında oluşmaktadır.
- Sürtünme sebebi ile ortaya çıkan ısı, takım ile talaş ara yüzünde (BC)-(ikinci deformasyon bölgesi) meydana gelir. Isının bir kısmı, kesici takım gövdesine iletilerek, bir kısmı da işlem esnasında çıkan talaş ile kesme alanından savuşturulur.
- İşlenmiş yüzey ile kesici takım arasındaki kenarda oluşan ısı da üçüncü bölge (BD) olarak ifade edilir [6], [94].

4.8.2. Kesme Sıcaklığına Etki Eden Faktörler

Talaş kaldırma işleminde oluşan kesme sıcaklığını etkileyen durumlar bulunmaktadır. Bunlar:

- Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği vb.).
- Kullanılıyor ise soğutma sıvıları.
- Malzemenin kimyasal özellikleri.
- Malzemenin mekanik özellikleri.
- Takım geometrisi.
- Takım aşınması gibi faktörlerdir.

Kesme parametreleri, kesme sıcaklığına etki eden faktörlerden biridir. Isı oluşumunda süper alaşımların kesme işlemlerinden alüminyum alaşımlarının kesme işlemlerine kadar farklı kesme parametreleri kullanılabilir. Bu parametrelerden en büyük etkiyi kesme hızı yaparken, ilerlemenin de etkisi bulunmaktadır. Şekil 4.12’de kesme hızı ve ilerleme parametresinin kesme sıcaklığına etkisi ifade edilmiştir [95].



Şekil 4.12. Kesme hızının ve ilerlemenin sıcaklık üzerindeki değişimi.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. DENEYSEL ÇALIŞMASINDA KULLANILANLAR

5.1.1. Deney Malzemeleri

Bu çalışmada, T0, T5 ve T6 olmak üzere üç farklı işlem görmüş alüminyum alaşımı 6082 iş parçası frezelenmiştir. Kullanılan üç iş parçasının da kimyasal özellikleri Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te belirtilmiştir [96], [97]. İşlenen alüminyum alaşımı 6082, Şekil 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 6082-T0 kimyasal bileşimi özellikleri (%).

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0,5	0,7-1,3	0,1	0,1-0,4	0,6-1,2	0,05	0,15	0,02	Kalan

Çizelge 5.2. 6082-T5 kimyasal bileşimi özellikleri (%).

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0,5	1,3	0,1	0,4	1,2	0,2	0,25	0,1	Kalan

Çizelge 5.3. 6082-T6 kimyasal bileşimi özellikleri (%).

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0,23	0,92	0,04	0,55	0,68	0,01	0,01	0,03	Kalan



Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan AA 6082 numunesi.

5.1.2. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı

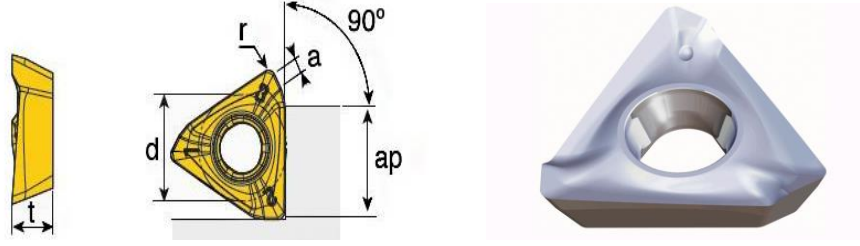
Frezeleme deneyleri, Düzce Üniversitesi Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü'nde bulunan DELTA SEIKI CNC-1050-A freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.4'te CNC freze tezgâhı özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 5.4. DELTA SEIKI CNC 1050-A freze tezgâhı özellikleri.

Teknik Özellikler		
MODEL	-	CNC – 1050 A
Tabla ölçüsü	mm	1270 x 400
Max.iş parça ağırlığı	kg	500
(x*y*z) eksen hareketi	mm	1020 * 500 * 570
Fener mili koniği	d/d	BT*40 / 10 000
Aktarım sistemi	-	Kasnak tahrikli
Kesme hızı	m/dak	1-10
(x*y*z) eksen hızı	m/dak	10*10*10
Magazin kapasitesi	-	24 Takım
Fener mili motor gücü	kW	11/15
Eksen motorları (x*y*z)	kW	2,0*2,0*2,0
Takribi ağırlık	kg	5,200

5.1.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım

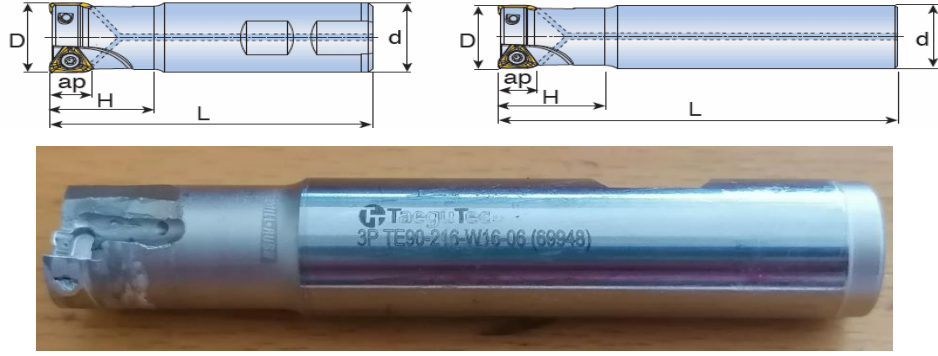
Alüminyum alaşımı 6082 iş parçasının frezelenmesinde kullanılan Şekil 5.2'de görülen 3PHT-060304R-AL K10 kodlu kaplamasız kesici uçlar TaeguTec firmasında üretilmiştir.



Şekil 5.2. Deneylerde kullanılan 3 kesici kenarlı uçlar.

5.1.4. Deneylerde Kullanılan Takım Tutucu

Deney çalışmalarında, kesici uçlar Şekil 5.3'te gösterilen TAEGUTEC marka iki ağızlı 3P TE90- 216- W16- 06 takım tutucu ile bağlanmıştır.



Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan takım tutucu.

5.1.5. Deneylerde Kullanılan Soğutucu Azot Tankı

Deneyler için iş parçalarının frezelenmesinde kesici uçlar arasında, kuru kesme işlemi ve kriyojenik işlem karşılaştırması yapılmıştır. Kesici uçların yarısı, Şekil 5.4'te görülen Düzce Üniversitesi'nde üretilen azot tankında, sıvı azot tüpleri yardımıyla kriyojenik işleme tâbi tutulmuştur.



Şekil 5.4. Kesici uçların kriyojenik işlemi için kullanılan azot tankı.

5.1.6. Deneylerde Kullanılan Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

İşlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri, Şekil 5.5'te gösterilen 'MarSurf PS 10' marka yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Cihazın özellikleri Çizelge 5.5'te verilmiştir. İşlenen yüzeylerden üç defa yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmış ve bunların ortalama yüzey pürüzlülük değerleri alınmıştır.



Şekil 5.5. MarSurf PS 10 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.

Çizelge 5.5. MARSURF PS 10 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı özellikleri.

Ölçme Ünitesi	Metrik/inç
Kalibrasyon İşlevi	Dinamik; Ra, Rz
Ölçüm Aralığı	350 µm, 180 µm, 90 µm (otomatik geçiş)
Ölçme Prensibi	Tarama ucu yöntemi
Hareket Uzunluğu	1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 12 mm, 16 mm
Değerlendirme Uzunluğu	1,25 mm, 4,0 mm, 12,5 m
Örneklemeye Uzunluğu	Seçilebilir 1-5
Ölçüm Aralığı	350 µm, 180 µm, 90 µm (otomatik geçiş)
Ölçüm Kuvveti	Yaklaşık 0,7 mN
Koruma Sistemi	IP 40
Geniş Aralıklı Güç Kaynağı	100-264 V
Mm Cinsinden Boyutlar	160 mm x 77 mm x 50 mm
Depolama Kapasitesi	Maks. 15 profili maks. 20000 sonuç

5.1.7. Deneylerde Kullanılan Kesme Sıcaklığı Ölçüm Cihazı

CNC freze tezgâhında gerçekleştirilen işlemlerde, meydana gelen kesme sıcaklıkları Optris PI450i termal kamera ile yapılmıştır. Şekil 5.6'da kullanılan kızılötesi kamera gösterilmiş, Çizelge 5.6'da ise özellikleri belirtilmiştir.



Şekil 5.6. Optris PI 450i sıcaklık ölçüm cihazı.

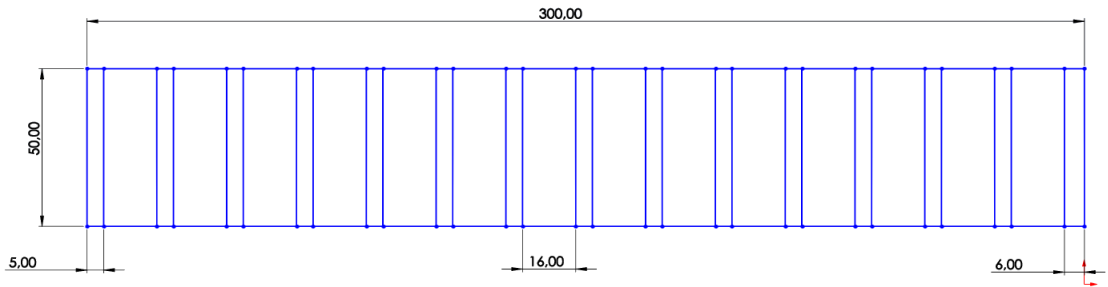
Çizelge 5.6. Optris PI450i termal kamera özellikleri.

Sıcaklık aralığı	-20 °C'den 1500 °C'ye
Spektral aralığı	8 ile 14 µm
Çerçeve hızı	80 Hz
Optik çözünürlük	382 x 288 piksel
Yüksek termal hassasiyet	40 mK
Ağırlık	320 gr
Boyut	46 x 56 x 68 – 77mm

5.2. DENEYİN HAZIRLANMASI VE UYGULANMASI

5.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada Şekil 5.7'de gösterilen 300x50x25 mm boyutlarında üç farklı alüminyum alaşımı 6082 iş parçası kriyojenik ve kriyojenik olmayan uçlar ile CNC freze tezgâhında işlenmek üzere 12 adet olarak hazırlanmıştır.



Şekil 5.7. Kullanılan alüminyum alaşımı 6082 iş parçası teknik resmi.

5.2.2. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri

Alüminyum alaşım malzemelerinin CNC freze tezgâhında işlenmesi için, deneysel uygulamalardan önce yapılan planlamada kesme parametreleri belirlenmiş ve Çizelge 5.7'de gösterilmiştir. Tek kesici uç ve üç farklı; kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği ile $1 \times 3 \times 3 \times 3 = 27$ adet deney her kesme koşulu için gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme sıcaklığına etkileri araştırılmıştır.

Çizelge 5.7. Deneyler kullanılan kesme parametreleri.

Sembol	Kontrol Faktörleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Kesme Hızı- V_c (m/dak)	100	150	200
B	İlerleme – f_n (mm/dev)	0,1	0,15	0,2
C	Kesme Derinliği- a_p (mm)	1	1,5	2

5.2.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Uçların Azot Tankına Yerleştirilmesi

Deneylerde 12 adet alüminyum alaşımı 6082 iş parçası kullanırken, bu iş parçalarının 6 adedi kriyojenik işlemler için hazırlanmıştır. Şekil 5.8’de kriyojenik uçlar bir tel yardımı ile azot tankı içerisinde bulunan askıya asılmış ve soğutma işleminin gerçekleşmesi için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5.8. Kesici uçların kriyojenik işlem için hazırlanması.

5.2.4. Deney Parçalarının CNC Freze Tezgâhına Bağlanması

Deneylerde kullanılan iş parçaları, Max. 500 kg ağırlığına sahip malzeme işleyebilen, 1270x400 mm tabla ölçüsüne sahip, üç eksenli CNC freze tezgâhında işlenmiştir. Şekil 5.9’da görüldüğü gibi CNC freze tezgâhında iş parçaları tablaya bağlanmıştır.



Şekil 5.9. İş parçasının CNC freze tezgâhına bağlanması.

5.2.5. Deneylerin Uygulanması

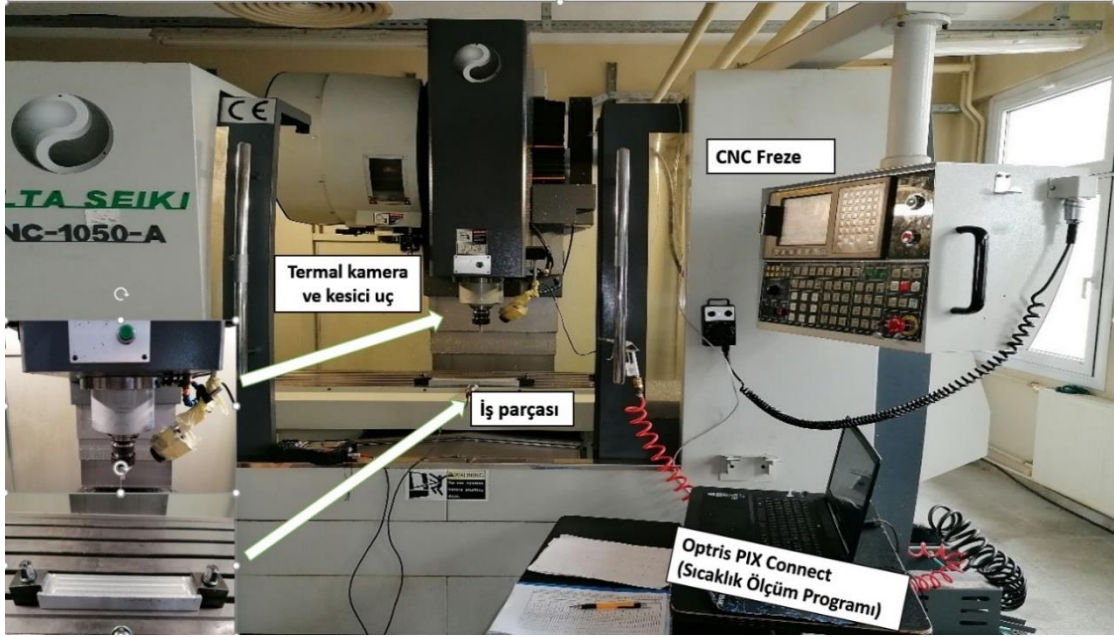
Deneylerde, kesici uçlar arasında kıyaslama yapılacağından planlandığı üzere ilk olarak Şekil 5.10'da gösterildiği gibi kesici uçların yarısı kriyojenik işleme tâbi tutulmuştur. Kriyojenik işlem; malzemelerin takım ömrünü ve aşınma direnci gibi birçok özelliğini iyileştirir. Bu çalışmada kesici uçlara uygulanacak kriyojenik işlem için, sıvı azot tüpleri yardımı ile sıvı azot tanklarındaki sıcaklık dk'da $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ azaltılarak $-165\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye inilmiş, kesici uçlar 24 saat boyunca $-165\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilmiş ve ardından azot tankı tekrar oda sıcaklığına yükseltilerek derin kriyojenik işlem tamamlanmıştır.



Şekil 5.10. Kesici uçlara kriyojenik işlem uygulanması.

Kriyojenik işlem tamamlandıktan sonra, derin kriyojenik işlem görmüş kesici uçlara 2 saat süresince $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta temperleme işlemi uygulanmıştır. Kesici uçlar ile

alüminyum 6082 alaşımları kuru kesme şartlarında CNC freze tezgâhında işlenmek üzere hazır hale getirilmiştir. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı ölçülmek istenmiştir. Termal kamera yerleştirildikten sonra termal diğer koşullarda ayarlanmış ve 5.11’de olduğu gibi deney düzeneği tamamlanmıştır.

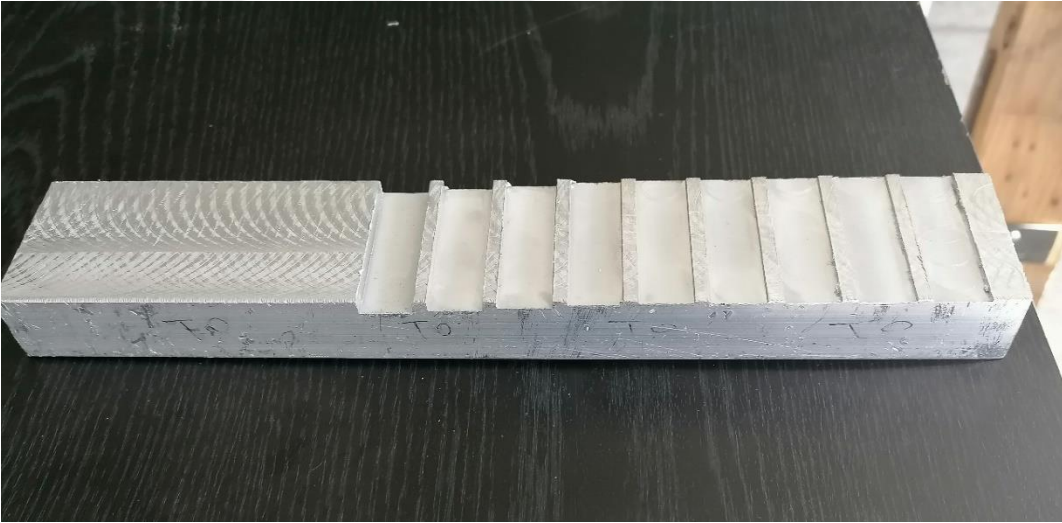


Şekil 5.11. Deney düzeneği.

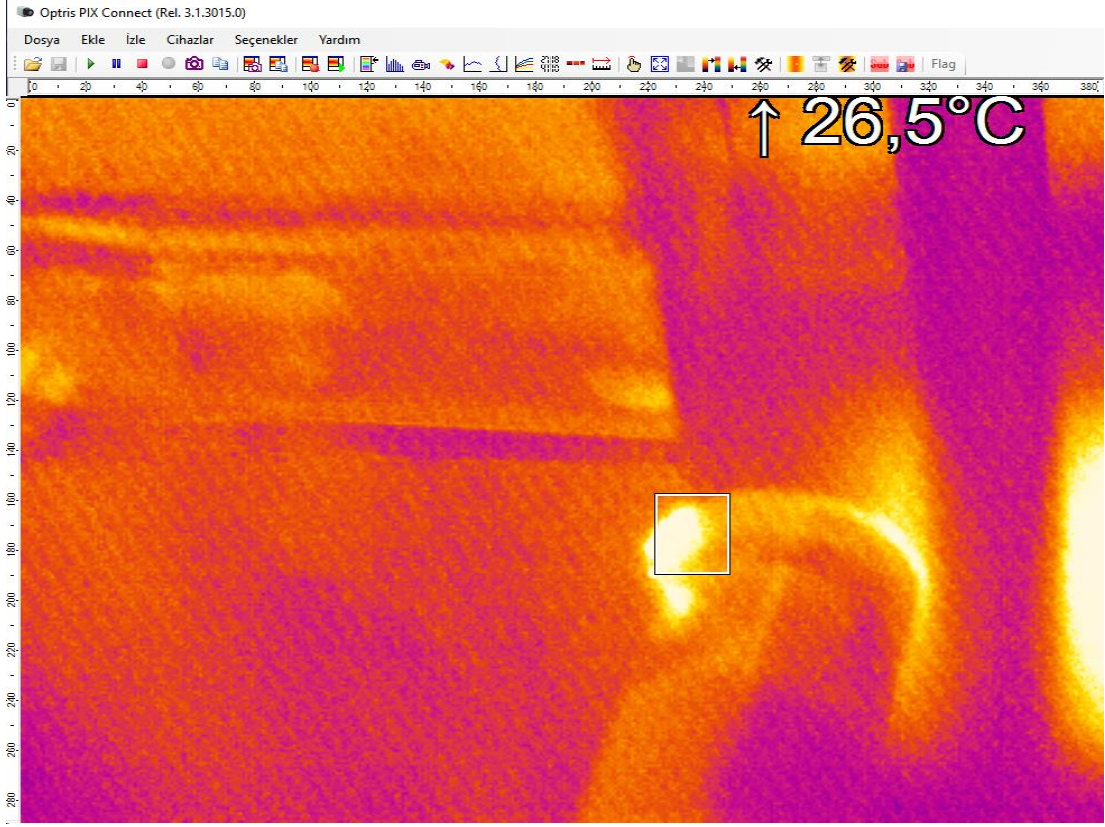
Deney düzeneğinin tamamlanmasının ardından, alüminyum alaşımı 6082 iş parçalarının her birinden yüzey dengesi sağlanana kadar talaş kaldırılmıştır. Yüzeylerin dengelenmesi ile uygulanacak deneyler için belirlenmiş olan kesme parametreleriyle birlikte CNC freze çalışmasına uygun programlar yazılmıştır. Bu işlemler için üç farklı; kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve tek kesici uç olarak toplamda $3 \times 3 \times 3 \times 1 = 27$ adet deney planlanmıştır. T0, T5 ve T6 olarak 6082 alüminyum alaşımlarının her biri için 4 adet iş parçası belirlenmiştir. Üç farklı alüminyum 6082 alaşımı için, 27 adet deney çalışması tek iş parçasına sığmadığı için üç farklı alüminyum 6082 alaşımı için 2 adet ve kriyojenik ve kriyojenik olmayan koşulları kendi içinde karşılaştırabilmek için de 2 adet toplamda $3 \times 2 \times 2 = 12$ adet iş parçası frezeleme için kullanılmıştır. Gerçekleştirilen frezeleme işlemi esnasından ve işlemlerin bitmiş halinden örnekler Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’te verilmiştir. Her bir deney çalışması için CNC freze programı değiştirilmiş ve frezeleme işlemleri tamamlanmıştır. Şekil 5.14’te ise işlemleri gerçekleştirilmiş iş parçalarının Optris PIX Connect programında sıcaklık ölçümünün gerçekleştirilmesi esnasından bir görüntü gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Frezeleme işlemi.



Şekil 5.13. İşlemlerin tamamlanmış halinden bir numune.



Şekil 5.14. Sıcaklık ölçümü esnasından bir görüntü.

Sıcaklığın termal kamera yöntemi ile ölçümü hakkında araştırma yapıldığında çok büyük bir belirsizlik vardır, bu belirsizlik yayma katsayısı değeridir (emissivity değeri). Termal kamera ışınım ilkelerine bağlı çalışmaktadır. Yüzeyin ışınım yayma gücü aşağıdaki denklem ile bulunabilir:

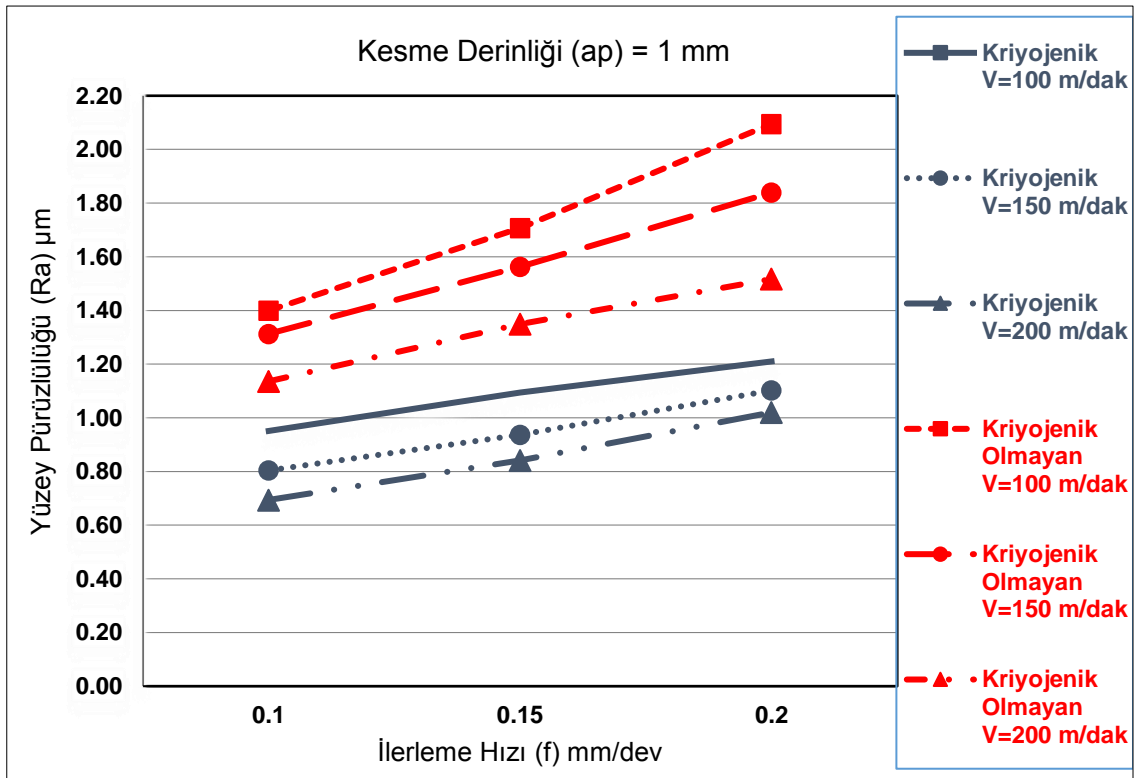
$$q = \varepsilon \sigma T^4 \quad (5.1)$$

Burada ki denklemde; sıcaklık T, Stefan-Boltzmann sabiti σ , emissivity değeri ε , ısı akısı ise q ile gösterilir. Bundan dolayı, bir yüzey sıcaklığının bilinebilmesi için yayma katsayısı bilinmelidir [42]. Bu çalışmada kullanılan 6082 alüminyum alaşımının sıcaklığının ölçülebilmesi için gerekli olan emissivity değeri hakkında araştırma yapılmış, yayma katsayısı değeri 0,235 olarak alınmıştır [98].

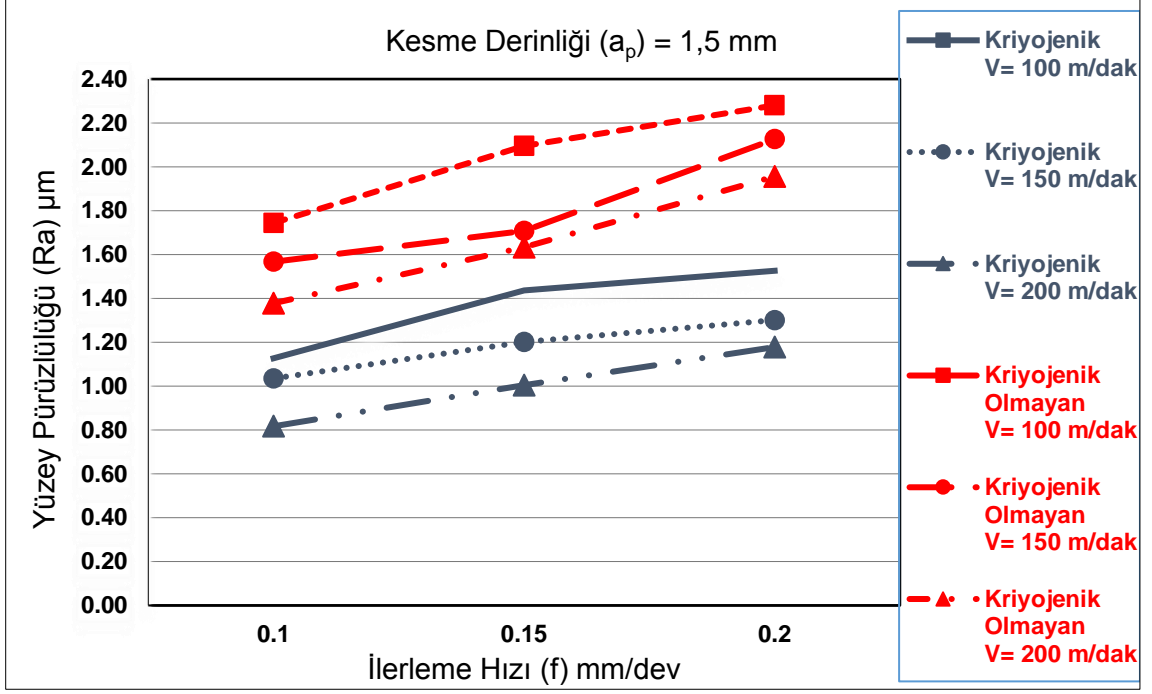
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu kısımda, üç farklı (T0, T5, T6) alüminyum alaşım 6082 malzemesinin üçünün de kendi içinde kriyojenik ve kriyojenik olmayan uçlar ile CNC freze tezgâhında işlenmesi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bununla yine kendi içinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığına etkisi incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

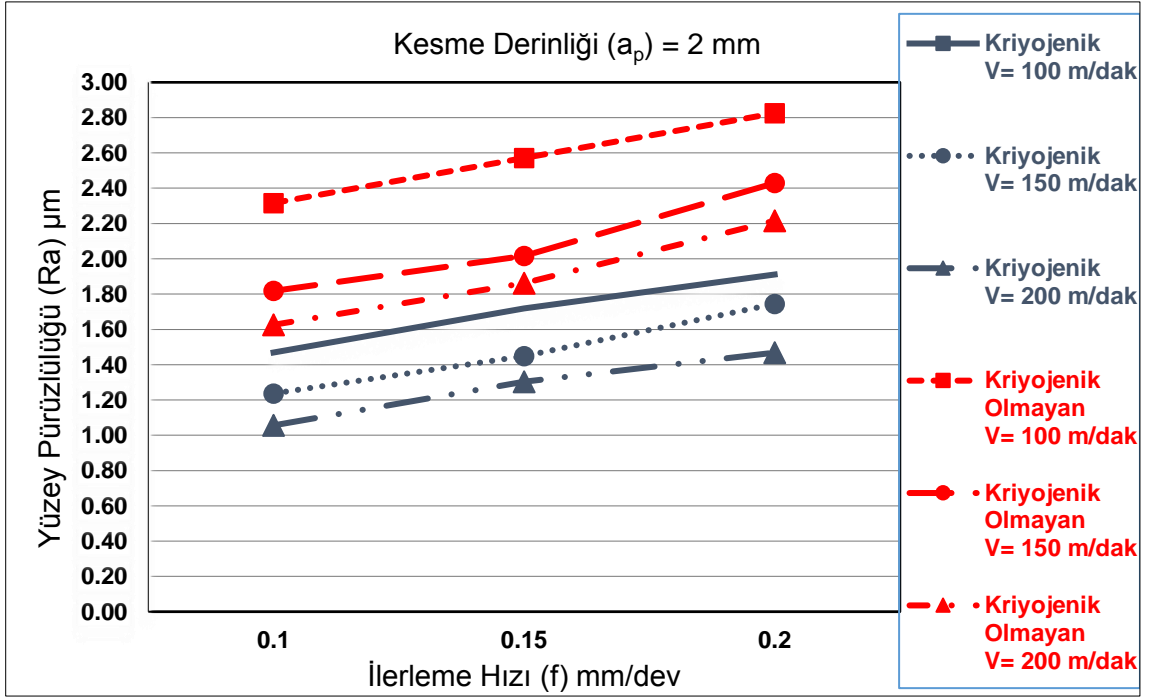
6.1. 6082-T0 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ



a)



b)



c)

Şekil 6.1. AA 6082-T0 işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.

Bu çalışmada gerçekleştirilen alüminyum alaşımı 6082-T0 iş parçasının frezelenmesi işlemlerinde kesme parametrelerinin ve kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Şekil 6.1a’da 1 mm kesme derinliği sabit tutularak, yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme hızının artması ile birlikte ise pürüzlülüğün arttığı görülmektedir. Şekil 6.1b’de sabit tutulan 1.5 mm kesme derinliği grafiği incelendiğinde değerler, kesme hızının ve kriyojenik uçların yüzey pürüzlülüğünü azalttığını, ilerleme hızının ise pürüzlülüğü artırdığını göstermektedir. İlerlemenin artmasının sebebini ifade edersek; artan ilerleme hızı kaldırılan talaş hacmini artırmakta ve kesme kuvvetleri de bu durumla birlikte paralel olarak artmaktadır. Kesme kuvvetlerinin artışı da titreşim genliğinin artmasına neden olur. Oluşan titreşim genliği de yüzey pürüzlülüğünün kötü çıkmasına sebebiyet vermektedir [55]. Şekil 6.1c’de 2 mm kesme derinliği sabit alınarak grafikler elde edilmiştir. İlerleme hızının, yüzey pürüzlülüğünün bozulmasına neden olduğuna, kriyojenik uçların ve kesme hızının ise pürüzlülük üzerinde iyileşme sağladığı sonucuna ulaşılmaktadır. Ek olarak kesme derinliğinin değerleri artış gösterdiğinde, yüzey pürüzlülüğü ile olan ilişkisini olumsuz etkilediği tespit edilmektedir. Shukla ve arkadaşları kesme parametrelerinin AA 6061-T6 iş parçası üzerindeki etkisini üç farklı koşulda incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar ile kıyaslandığında benzer sonuçlar olduğu görülmektedir. Kesme derinliğinin ve ilerleme hızının artmasının yüzey pürüzlülüğünü artırdığını, kesme hızının artmasının ise yüzey pürüzlülüğünde azalma sağladığını vurgulamışlardır [35]. Başka bir çalışmada Dhokia ve arkadaşları, kriyojenik soğutmanın AA 6061 malzemesinin işlenebilirliği üzerindeki etkisini iki farklı koşul ile (kuru, geleneksel soğutma) karşılaştırmışlardır ve paralel sonuçların elde edildiği görülmektedir [21]. Şekil 6.1a grafiğinde 0,694 µm ile en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri, Şekil 6.1c grafiğinde ise 2,825 µm değeri ile en kötü yüzey pürüzlülüğü değeri ölçülmüştür.

6.1.1. Ra için AA 6082-T0 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Çizelge 6.1’de kriyojenik işlemlerle kesici uçlar (U) ile, Çizelge 6.2’de ise kriyojenik işlemsiz kesici uçlar (UCTT) ile alüminyum alaşımı (AA) 6082-T0 iş parçasının frezelenmesi ile gerçekleştirilen deneylerin yüzey pürüzlülüğü (Ra) sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. AA 6082-T0 için U kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.

KRİYOJENİK İŞLEMLİ KESİCİ UÇ (U)	Deney No	Kesme Hızı (V _c), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (a _p), mm	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)
	1	100	0,1	1	0,951
	2		0,15	1,5	1,127
	3		0,2	2	1,469
	4	150	0,1	1	1,094
	5		0,15	1,5	1,436
	6		0,2	2	1,719
	7	200	0,1	1	1,21
	8		0,15	1,5	1,526
	9		0,2	2	1,911
	10	100	0,1	1	0,804
	11		0,15	1,5	1,035
	12		0,2	2	1,237
	13	150	0,1	1	0,937
	14		0,15	1,5	1,202
	15		0,2	2	1,448
	16	200	0,1	1	1,102
	17		0,15	1,5	1,301
	18		0,2	2	1,744
	19	100	0,1	1	0,694
	20		0,15	1,5	0,817
	21		0,2	2	1,056
	22	150	0,1	1	0,841
	23		0,15	1,5	1,005
	24		0,2	2	1,304
	25	200	0,1	1	1,02
	26		0,15	1,5	1,178
27	0,2		2	1,468	

Çizelge 6.2. AA 6082-T0 için UCTT kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.

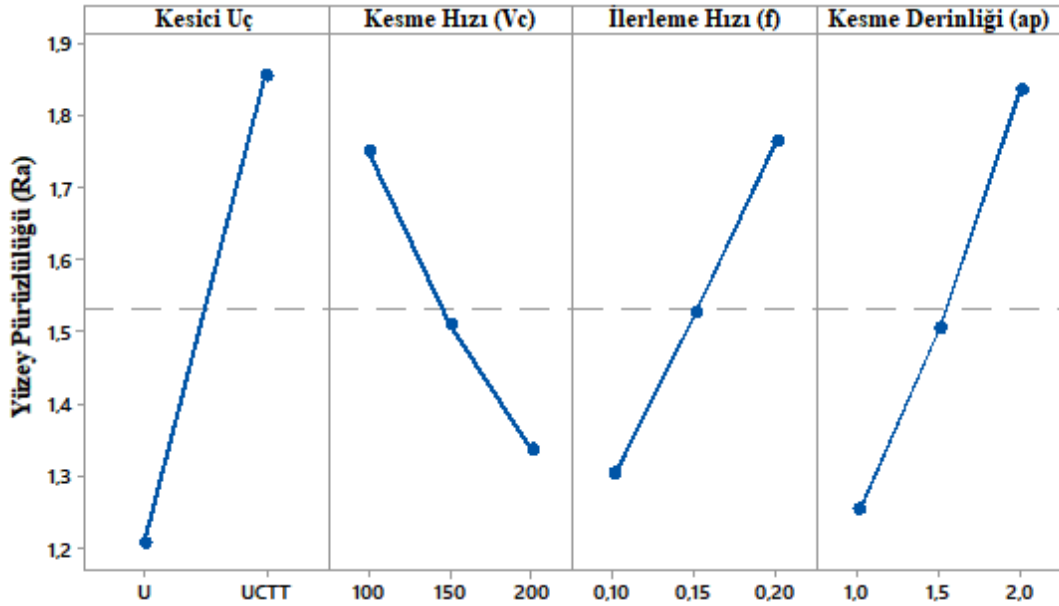
KRIYOJENİK İŞLEMSİZ KESİCİ UÇ (UCTT)	Deney No	Kesme Hızı (V _c), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (a _p), mm	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)
	1	100	0,1	1	1,4
	2		0,15	1,5	1,744
	3		0,2	2	2,316
	4	150	0,1	1	1,707
	5		0,15	1,5	2,095
	6		0,2	2	2,572
	7	200	0,1	1	2,095
	8		0,15	1,5	2,28
	9		0,2	2	2,825
	10	100	0,1	1	1,313
	11		0,15	1,5	1,567
	12		0,2	2	1,818
	13	150	0,1	1	1,563
	14		0,15	1,5	1,708
	15		0,2	2	2,017
	16	200	0,1	1	1,839
	17		0,15	1,5	2,126
	18		0,2	2	2,429
	19	100	0,1	1	1,136
	20		0,15	1,5	1,378
	21		0,2	2	1,626
	22	150	0,1	1	1,349
	23		0,15	1,5	1,634
	24		0,2	2	1,862
	25	200	0,1	1	1,517
	26		0,15	1,5	1,956
27	0,2		2	2,216	

Kriyojenik işlemlenmiş ve kriyojenik işlemlenmemiş kesici uçlar ile AA 6082-T0 iş parçasının frezelenmesi işlemleri sonucunda Ra üzerinde etkili olan değişkenleri belirlemek için %95 güven düzeyinde Varyans Analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.3'te Ra değerleri için ANOVA sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 6.3'e bakıldığında en etkili değişkenlerin sırasıyla; kesici uç (%44,98), kesme derinliği (%24,40), ilerleme hızı (%15,10) ve kesme hızı (%12,29) olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6.3. AA 6082-T0 iş parçasının Ra değerleri için ANOVA sonuçları.

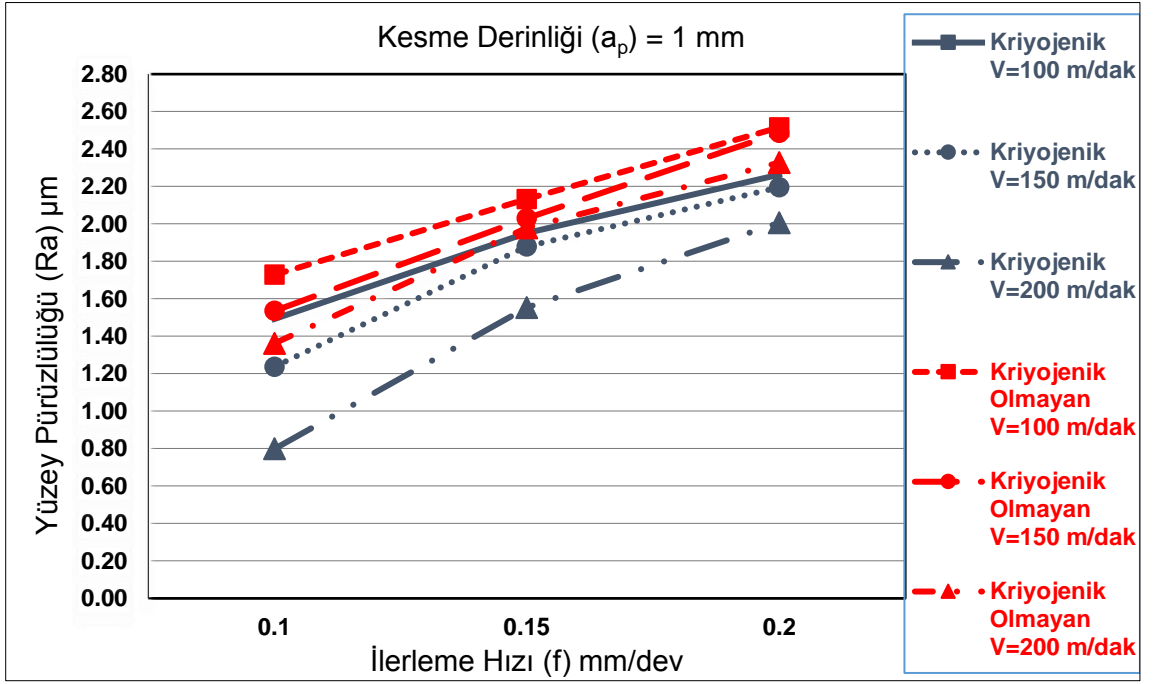
Kontrol Faktörü	SD	KT	Katkı	Kare Ort.	F	P
Kesici Uç	1	5,6402	%44,98	5,64023	641,83	0,000
Kesme Hızı	2	1,5417	%12,29	0,77084	87,72	0,000
İlerleme Hızı	2	1,8935	%15,10	0,94674	107,73	0,000
Kesme Derinliği	2	3,0597	%24,40	1,52986	174,09	0,000
Hata	46	0,4042	%3,22	0,00879		
Toplam	53	12,5393	%100,00			
SD: Serbestlik Derecesi		KT: Kareler Toplamı		KO: Kareler Ortalaması		

Şekil 6.2’de ise Ra değerlerine etki eden değişkenler ifade edilmektedir. Şekil 6.2 incelendiğinde en fazla etkiyi kesici uç ve kesme derinliğini değişkenlerinin sağladığı gözlemlenmektedir.

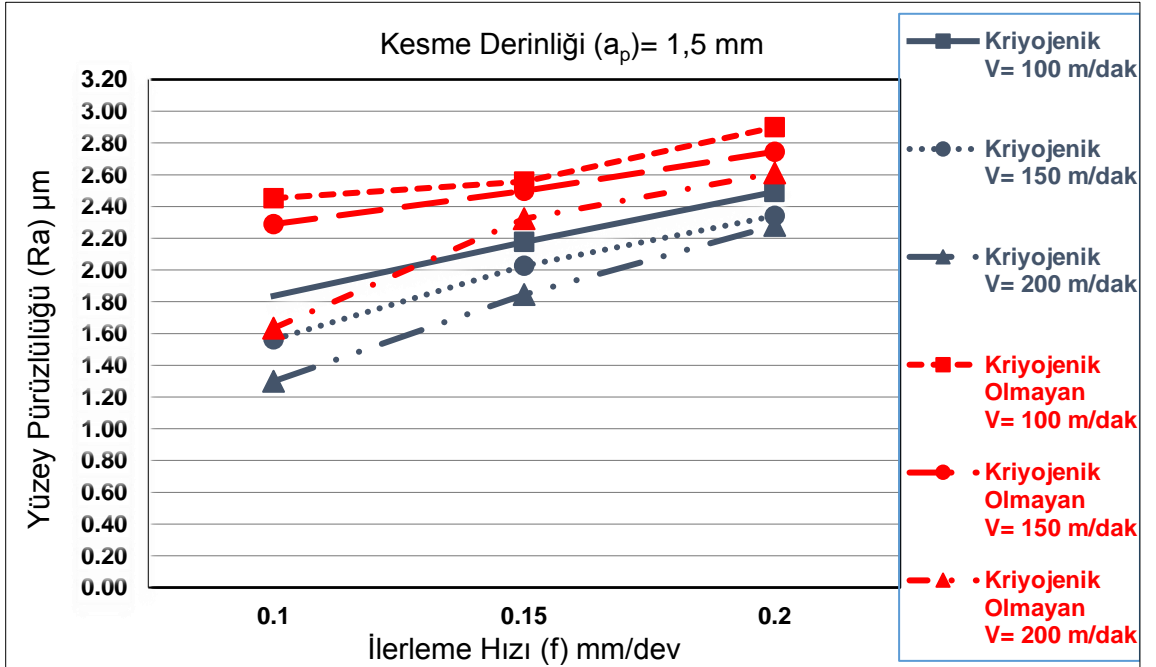


Şekil 6.2. AA 6082-T0 iş parçasının Ra değerlerine etki eden parametreler.

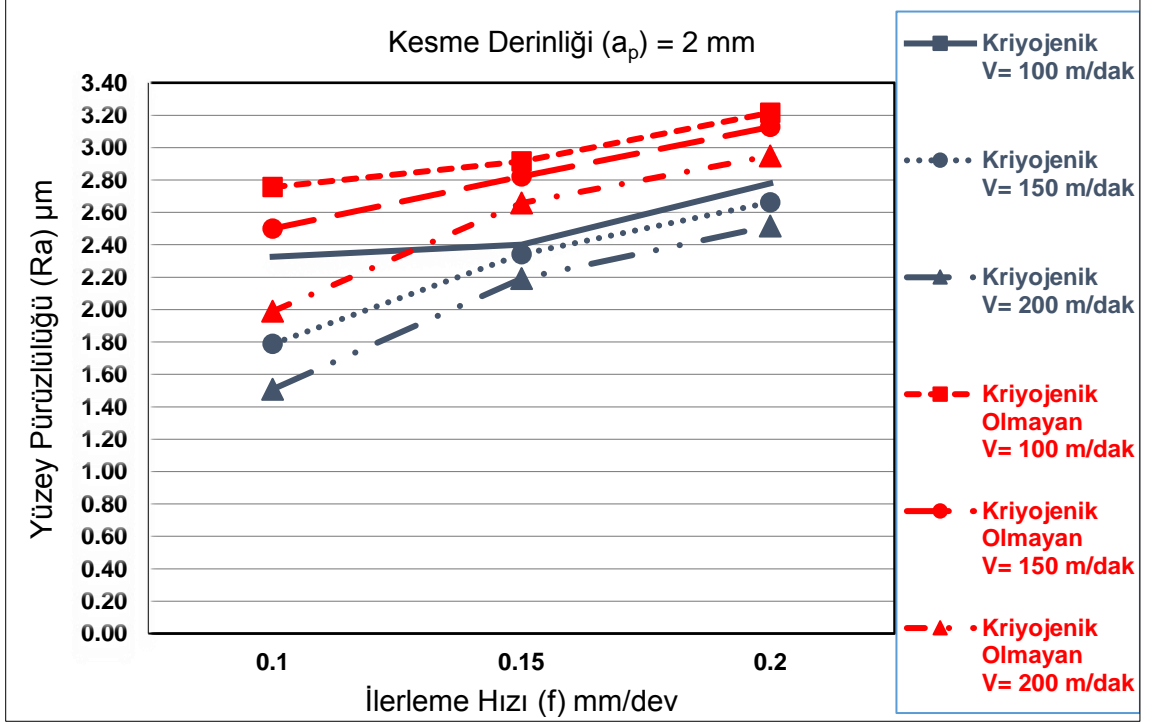
6.2. 6082-T5 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ



a)



b)



c)

Şekil 6.3. AA 6082-T5 işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.

Üç farklı ilerleme hızı, üç farklı kesme hızı ve üç farklı kesme derinliği kullanılan çalışmada, Şekil 6.3 incelendiğinde, alüminyum alaşımı 6082-T5 iş parçasının işlenmesinde üç grafikte de ilerleme hızı ve kesme derinliği, kesme hızı ile ilişkisine bakıldığında ters orantılı bir görüntü çizmiştir. Pınar çalışmasında, AA 6013 alüminyum alaşımında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmış ve yapılan çalışma ile benzer sonuçlar elde edilmiştir [4]. En kötü yüzey pürüzlülüğü değeri Şekil 6.3c'de 100 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve 2 mm kesme derinliğinde kriyojenik olmayan uçlar ile yapılan deneyde 3,215 μm olarak görülmüştür. En iyi yüzey pürüzlülüğü değeri Şekil 6.3a'da ki grafikte 200 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 1 mm kesme derinliğinde kriyojenik işlem görmüş uçlar ile yapılan deneyde 0,798 μm olarak bulunmuştur.

6.2.1. Ra için AA 6082-T5 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Çizelge 6.4'te kriyojenik işlemlili kesici uçlar (U) ile, Çizelge 6.5'te ise kriyojenik işlemsiz kesici uçlar (UCTT) ile AA 6082-T5 iş parçasının frezelenmesi ile gerçekleştirilen deneylerin yüzey pürüzlülüğü (Ra) sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. AA 6082-T5 için U kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.

KRİYOJENİK İŞLEMLİ KESİCİ UÇ (U)	Deney No	Kesme Hızı (V _c), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (a _p), mm	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)
	1	100	0,1	1	1,492
	2		0,15	1,5	1,837
	3		0,2	2	2,326
	4	150	0,1	1	1,951
	5		0,15	1,5	2,176
	6		0,2	2	2,401
	7	200	0,1	1	2,263
	8		0,15	1,5	2,492
	9		0,2	2	2,779
	10	100	0,1	1	1,237
	11		0,15	1,5	1,562
	12		0,2	2	1,788
	13	150	0,1	1	1,879
	14		0,15	1,5	2,026
	15		0,2	2	2,342
	16	200	0,1	1	2,195
	17		0,15	1,5	2,341
	18		0,2	2	2,662
	19	100	0,1	1	0,798
	20		0,15	1,5	1,299
	21		0,2	2	1,508
	22	150	0,1	1	1,552
	23		0,15	1,5	1,845
	24		0,2	2	2,192
	25	200	0,1	1	2,006
	26		0,15	1,5	2,28
27	0,2		2	2,516	

Çizelge 6.5. AA 6082-T5 için UCTT kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.

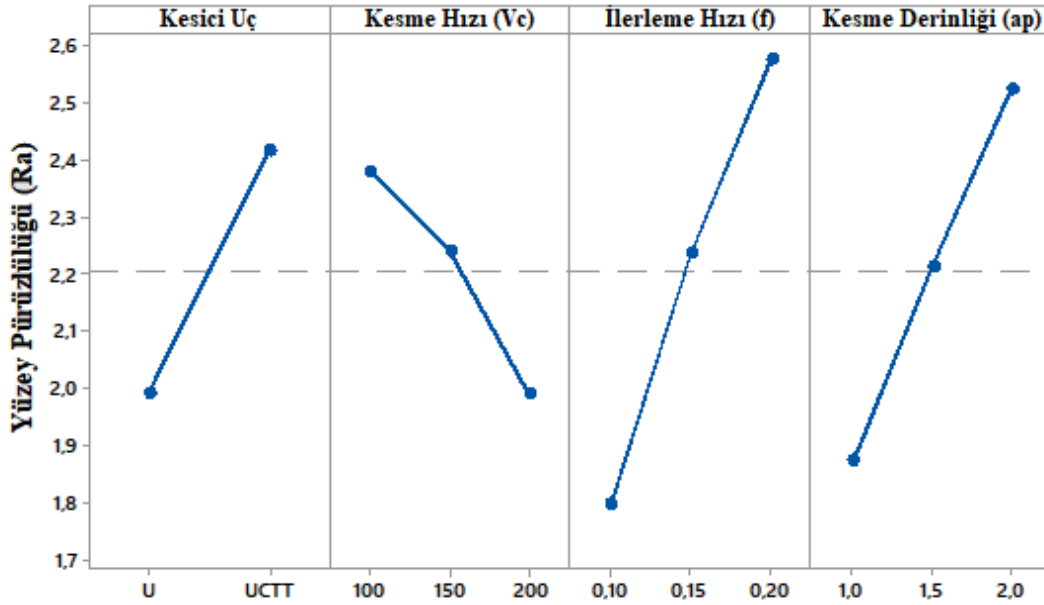
KRIYOJENİK İŞLEMSİZ KESİCİ UÇ (UCTT)	Deney No	Kesme Hızı (V _c), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (a _p), mm	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)
	1	100	0,1	1	1,728
	2		0,15	1,5	2,452
	3		0,2	2	2,756
	4	150	0,1	1	2,133
	5		0,15	1,5	2,556
	6		0,2	2	2,915
	7	200	0,1	1	2,47
	8		0,15	1,5	2,899
	9		0,2	2	3,215
	10	100	0,1	1	1,835
	11		0,15	1,5	2,289
	12		0,2	2	2,5
	13	150	0,1	1	2,03
	14		0,15	1,5	2,498
	15		0,2	2	2,821
	16	200	0,1	1	2,486
	17		0,15	1,5	2,745
	18		0,2	2	3,127
	19	100	0,1	1	1,362
	20		0,15	1,5	1,634
	21		0,2	2	1,989
	22	150	0,1	1	1,978
	23		0,15	1,5	2,322
	24		0,2	2	2,658
	25	200	0,1	1	2,327
	26		0,15	1,5	2,611
27	0,2		2	2,949	

Kriyojenik işlemler ve kriyojenik işlemsiz kesici uçlar ile AA 6082-T5 iş parçasının frezelenmesi işlemleri sonucunda Ra üzerinde etkili olan değişkenleri belirlemek için %95 güven düzeyinde Varyans Analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.6'da Ra değerleri için ANOVA sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 6.6'ya bakıldığında en etkili değişkenlerin sırasıyla; ilerleme hızı (%39,22), kesme derinliği (%27,48), kesici uç (%17,74) ve kesme hızı (%10,12) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.6. AA 6082-T5 iş parçasının Ra değerleri için ANOVA sonuçları.

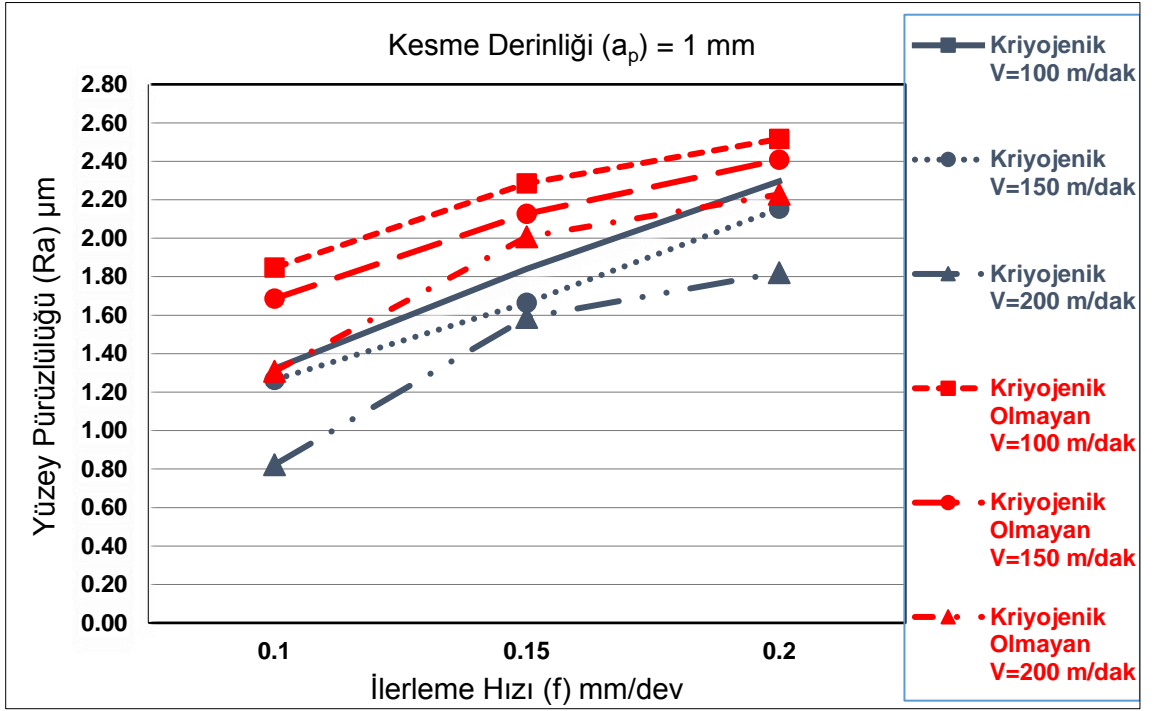
Kontrol Faktörü	SD	KT	Katkı	Kare Ort.	F	P
Kesici Uç	1	2,4661	%17,74	2,46614	149,65	0,000
Kesme Hızı	2	1,4062	%10,12	0,70310	42,67	0,000
İlerleme Hızı	2	5,4517	%39,22	2,72587	165,41	0,000
Kesme Derinliği	2	3,8197	%27,48	1,90987	115,90	0,000
Hata	46	0,7580	%5,45	0,01648		
Toplam	53	13,9019	%100,00			

Şekil 6.4'te ise Ra değerlerine etki eden değişkenler ifade edilmektedir. Şekil 6.4'e bakıldığında en fazla etkiyi ilerleme hızı ve kesme derinliği değişkenlerinin sağladığı görülmektedir.

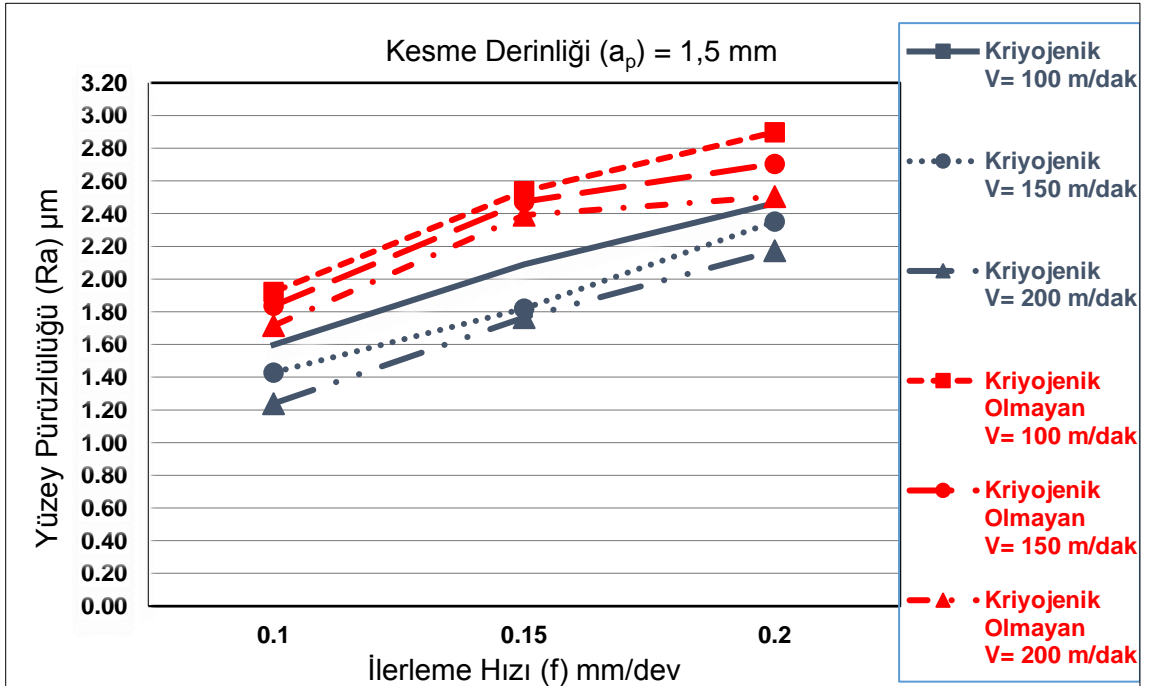


Şekil 6.4. AA 6082-T5 iş parçasının Ra değerlerine etki eden parametreler.

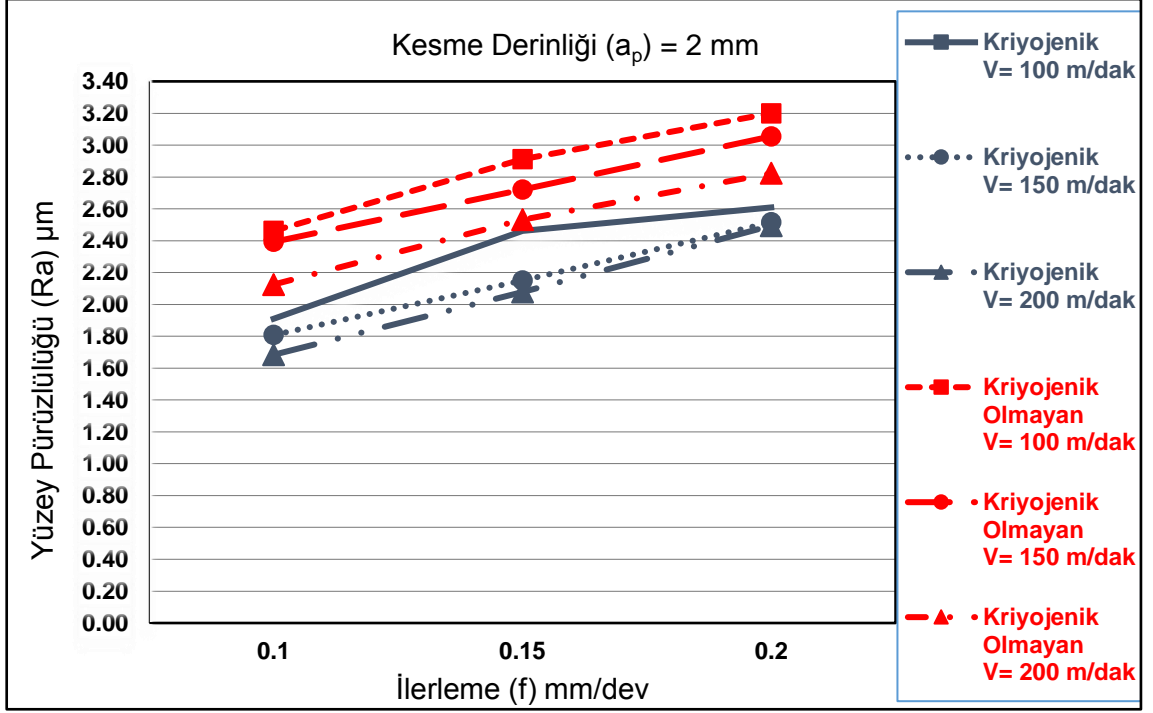
6.3. 6082-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ



a)



b)



c)

Şekil 6.5. AA 6082-T6 işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.

Alüminyum alaşımı 6082-T6 iş parçasının yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Kesme hızı değerinin artması, kriyojenik uçlar ile yapılan deneylerde ve kriyojenik olmayan uçlar ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma yaşanmasını sağlamıştır. Bunun sebebi talaş-temas mesafesinin kısaltılmasının etkisiyle kesme kuvvetlerinde azalma oluşması ve ayrıca yüksek hızlarda sıcaklığın artması ile deformasyonların küçülerek kolay hale gelmesi ile açıklanabilir [55], [99]. Şekil 6.5a, Şekil 6.5b ve Şekil 6.5c'de grafikler incelendiğinde ilerleme hızı 0,1 mm/dev değeri, 0,2 mm/dev değerine doğru yüzey pürüzlülüğünde artış göstermiştir. Kesme derinliği değerlerine bakıldığında, ilerleme ile paralel bir etki yarattığını ve 2 mm değerine ulaştığında birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasının sebebi ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de arttığı görülmüştür [55]. En yüksek yüzey pürüzlülüğü 3,2 μm , en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ise 0,822 μm bulunmuştur. Kriyojenik işlem uygulanmış kesici uçlar, kriyojenik işlem uygulanmamış kesici uçlara göre yüzey pürüzlülüğü sonuçlarında daha iyi sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Mavi yaptığı çalışmada, kriyojenik işlemsiz kesici takımlar (UCTT), kriyojenik işlemlili kesici takımlar (U) ve kriyojenik işlemden sonra temperleme işlemi görmüş kesici takımlar ile deneysel işlemleri kuru ve ıslak koşullarda gerçekleştirmiştir. Kriyojenik işlemden sonra

temperleme görmüş kesici takımın, en iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ulaşıldığı kesici takım olduğunu gözlemlemiştir [14]. Bu haliyle bakıldığında deneysel sonuçlar literatürde bulunan çalışmalara benzerlik göstermektedir.

6.3.1. Ra için AA 6082-T6 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Çizelge 6.7’de kriyojenik işlemlenmiş kesici uçlar (U) ile, Çizelge 6.8’de ise kriyojenik işlemlenmemiş kesici uçlar (UCTT) ile AA 6082-T6 iş parçasının frezelenmesi ile gerçekleştirilen deneylerin yüzey pürüzlülüğü (Ra) sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. AA 6082-T6 için U kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.

KRIYOJENİK İŞLEMLİ KESİCİ UÇ (U)	Deney No	Kesme Hızı (Vc), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (ap), mm	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)
	1	100	0,1	1	1,322
	2		0,15	1,5	1,598
	3		0,2	2	1,91
	4	150	0,1	1	1,841
	5		0,15	1,5	2,089
	6		0,2	2	2,461
	7	200	0,1	1	2,296
	8		0,15	1,5	2,464
	9		0,2	2	2,609
	10	100	0,1	1	1,264
	11		0,15	1,5	1,429
	12		0,2	2	1,808
	13	150	0,1	1	1,664
	14		0,15	1,5	1,819
	15		0,2	2	2,151
	16	200	0,1	1	2,153
	17		0,15	1,5	2,351
	18		0,2	2	2,515
	19	100	0,1	1	0,822
	20		0,15	1,5	1,239
	21		0,2	2	1,684
	22	150	0,1	1	1,588
	23		0,15	1,5	1,765
	24		0,2	2	2,077
	25	200	0,1	1	1,821
	26		0,15	1,5	2,173
27	0,2		2	2,494	

Çizelge 6.8. AA 6082-T6 için UCTT kesici uçların deneylerinin Ra sonuçları.

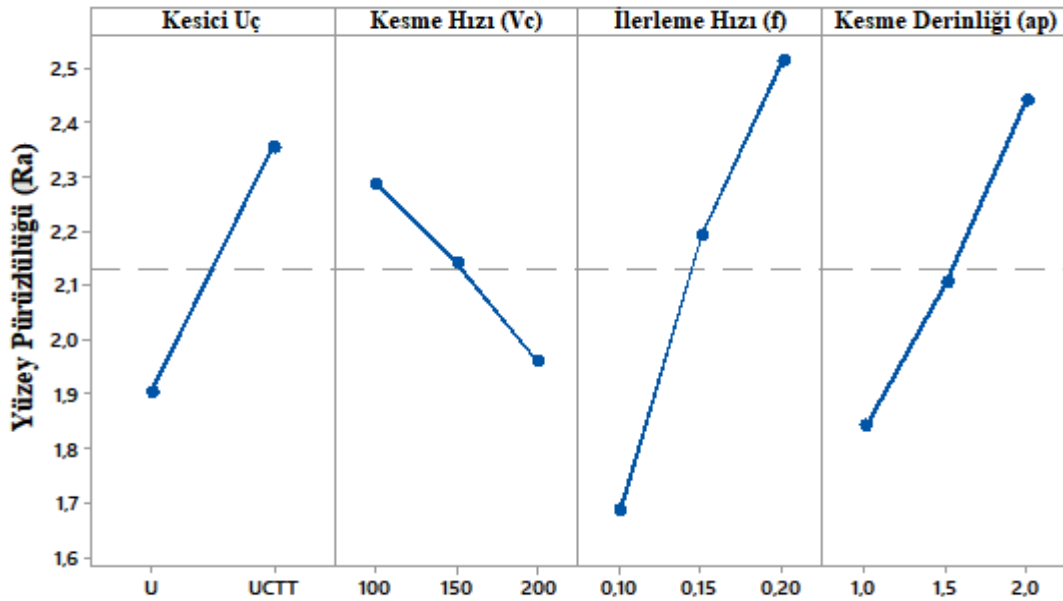
KRIYOJENİK İŞLEMSİZ KESİCİ UÇ (UCTT)	Deney No	Kesme Hızı (Vc), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (ap), mm	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)
	1	100	0,1	1	1,847
	2		0,15	1,5	1,922
	3		0,2	2	2,462
	4	150	0,1	1	2,285
	5		0,15	1,5	2,537
	6		0,2	2	2,911
	7	200	0,1	1	2,516
	8		0,15	1,5	2,898
	9		0,2	2	3,2
	10	100	0,1	1	1,686
	11		0,15	1,5	1,837
	12		0,2	2	2,393
	13	150	0,1	1	2,127
	14		0,15	1,5	2,473
	15		0,2	2	2,72
	16	200	0,1	1	2,408
	17		0,15	1,5	2,705
	18		0,2	2	3,055
	19	100	0,1	1	1,308
	20		0,15	1,5	1,715
	21		0,2	2	2,125
	22	150	0,1	1	2,007
	23		0,15	1,5	2,391
	24		0,2	2	2,532
	25	200	0,1	1	2,228
	26		0,15	1,5	2,504
27	0,2		2	2,823	

Kriyojenik işlemlenmiş ve kriyojenik işlemlenmemiş kesici uçlar ile AA 6082-T6 iş parçasının frezelenmesi işlemleri sonucunda Ra üzerinde etkili olan değişkenleri belirlemek için %95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.9’da Ra değerleri için ANOVA sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 6.9’a bakıldığında en etkili değişkenlerin sırasıyla; ilerleme hızı (%46,11), kesme derinliği (%23,90), kesici uç (%20,46) ve kesme hızı (%7,13) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.9. AA 6082-T6 iş parçasının Ra değerleri için ANOVA sonuçları.

Kontrol Faktörü	SD	KT	Katkı	Kare Ort.	F	P
Kesici Uç	1	2,7599	%20,46	2,75991	391,93	0,000
Kesme Hızı	2	0,9617	%7,13	0,48086	68,29	0,000
İlerleme Hızı	2	6,2194	%46,11	3,10969	441,60	0,000
Kesme Derinliği	2	3,2238	%23,90	1,61190	228,90	0,000
Hata	46	0,3239	%2,40	0,00704		
Toplam	53	13,4887	%100,00			

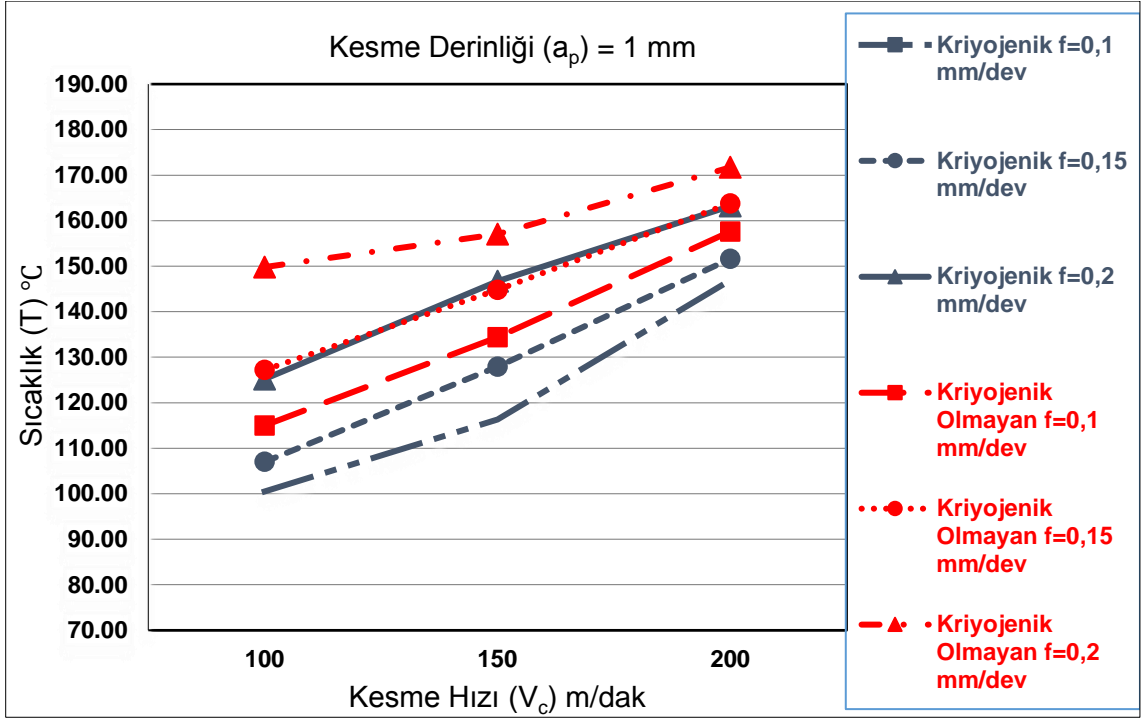
Şekil 6.6'da ise Ra değerlerine etki eden değişkenler ifade edilmektedir. Şekil 6.6'ya bakıldığında en fazla etkiyi ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesici uç değişkenlerinin sağladığı gözlenmektedir.



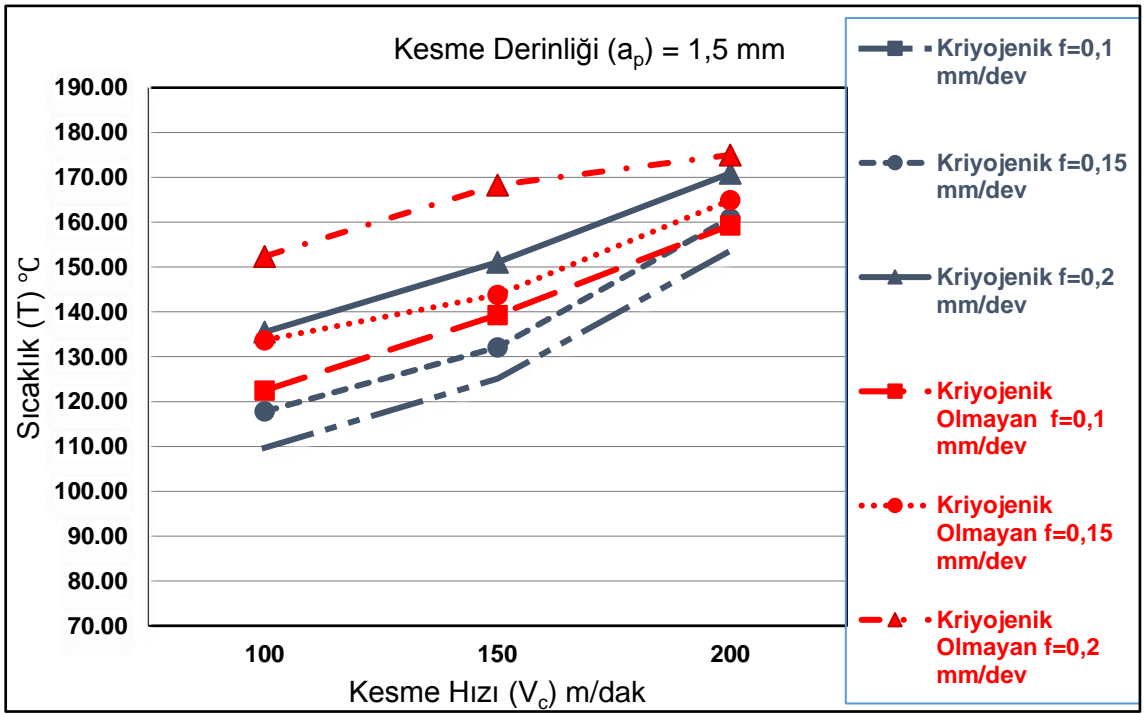
Şekil 6.6. AA 6082-T6 iş parçasının Ra değerlerine etki eden parametreler.

6.4. 6082-T0 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN KESME SICAKLIĞINA ETKİSİ

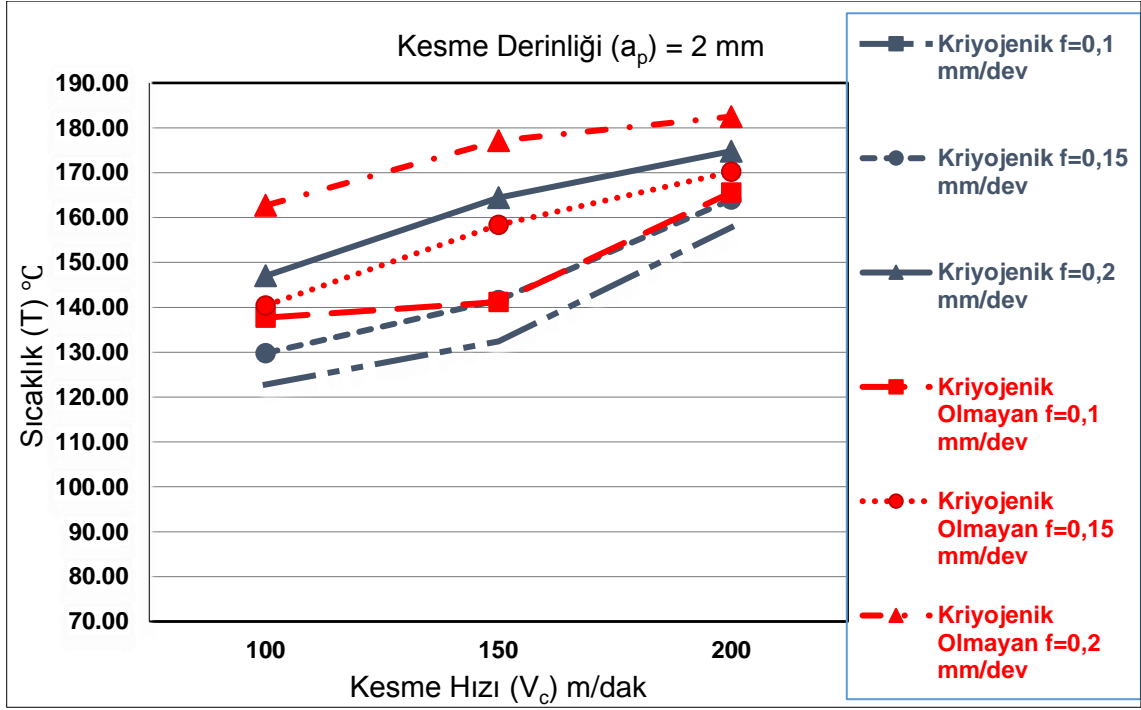
Kesici uçlara uygulanan kriyojenik işlem ile birlikte üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme hızı, üç farklı kesme derinliği kombinasyonu ile yapılan çalışmada alüminyum alaşımı 6082-T0 işlenmesinde ulaşılan sonuçlar; 1 mm kesme derinliği için Şekil 6.7a'da, 1,5 mm kesme derinliği için Şekil 6.7b'de, 2 mm kesme derinliği için Şekil 6.7c'de grafiklerde verilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 6.7. AA 6082-T0 işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.

Şekil 6.7'de ifade edilen grafiklerde, Şekil 6.7a 1 mm kesme derinliği grafiği incelendiğinde, en düşük kesme sıcaklığı 100,5 °C ölçülmüştür. Bu sıcaklığa 100 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme hızı ve kriyojenik işlemlili kesici uç ile yapılan deney sonucunda ulaşılmıştır. Bu grafikteki en yüksek sıcaklık ise 171,7 °C olarak ölçülmüştür. Şekil 6.7b incelendiğinde 1,5 mm kesme derinliği grafiğinde ve Şekil 6.7c incelendiğinde 2 mm kesme derinliği grafiğinde kriyojenik işlemlili uçların kesme sıcaklığını düşürdüğü görülmektedir. Kesme hızı ve ilerleme değerlerinde ki artışın kesme sıcaklığını artırdığı görülmektedir. Bu durumun sebebi takım-talaş arayüzündeki sürtünme gücünün artmasıyla beraber kesme sıcaklığını da artırması olarak açıklanabilir [100], [101]. İlerleme hızı ve kesme derinliğinin de kesme sıcaklığını olumsuz etkilediği görülmektedir. Kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme hızının kesme sıcaklığına yaptığı etkinin paralel olduğu ve parametrelerin değerleri arttıkça kesme sıcaklığı değerlerini de artırdığı tespit edilmiştir. Literatürde belirtildiği gibi Yalcin ve arkadaşları, grafikler ile açıkladıkları sonuçlarında benzer sonuçlara ulaşmış olup, uyguladığı kesme parametrelerinden kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme hızının artmasının, sıcaklık değerlerinde artış gösterdiğini belirlemişlerdir [47]. Ayrıca Şekil 6.7c de 2 mm kesme derinliği grafiğinde alüminyum alaşımı 6082-T0 işlenmesinde en yüksek sıcaklığı 200

m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve kriyojenik işlemsiz kesici uç ile yapılan deneyde 182,5 °C olarak elde edilmiştir.

6.4.1. T için AA 6082-T0 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Çizelge 6.10'da kriyojenik işlemlili kesici uçlar (U) ile, Çizelge 6.11'da ise kriyojenik işlemsiz kesici uçlar (UCTT) ile AA 6082-T0 iş parçasının frezelenmesi ile gerçekleştirilen deneylerin kesme sıcaklığı (T) sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.10. AA 6082-T0 için U kesici uçların deneylerinin T sonuçları.

KRIYOJENİK İŞLEMLİLİ KESİCİ UÇ (U)	Deney No	Kesme Hızı (Vc), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (ap), mm	Kesme Sıcaklığı (T), °C
	1	100	0,1	1	100,5
	2		0,15	1,5	109,7
	3		0,2	2	122,8
	4	150	0,1	1	107
	5		0,15	1,5	117,8
	6		0,2	2	129,8
	7	200	0,1	1	125,2
	8		0,15	1,5	135,5
	9		0,2	2	147
	10	100	0,1	1	116,3
	11		0,15	1,5	125,1
	12		0,2	2	132,4
	13	150	0,1	1	127,9
	14		0,15	1,5	132,1
	15		0,2	2	141,6
	16	200	0,1	1	146,7
	17		0,15	1,5	151,1
	18		0,2	2	164,4
	19	100	0,1	1	146,9
	20		0,15	1,5	153,6
	21		0,2	2	157,8
	22	150	0,1	1	151,6
	23		0,15	1,5	160,9
	24		0,2	2	164
	25	200	0,1	1	163,2
	26		0,15	1,5	170,9
27	0,2		2	174,8	

Çizelge 6.11. AA 6082-T0 için UCTT kesici uçların deneylerinin T sonuçları.

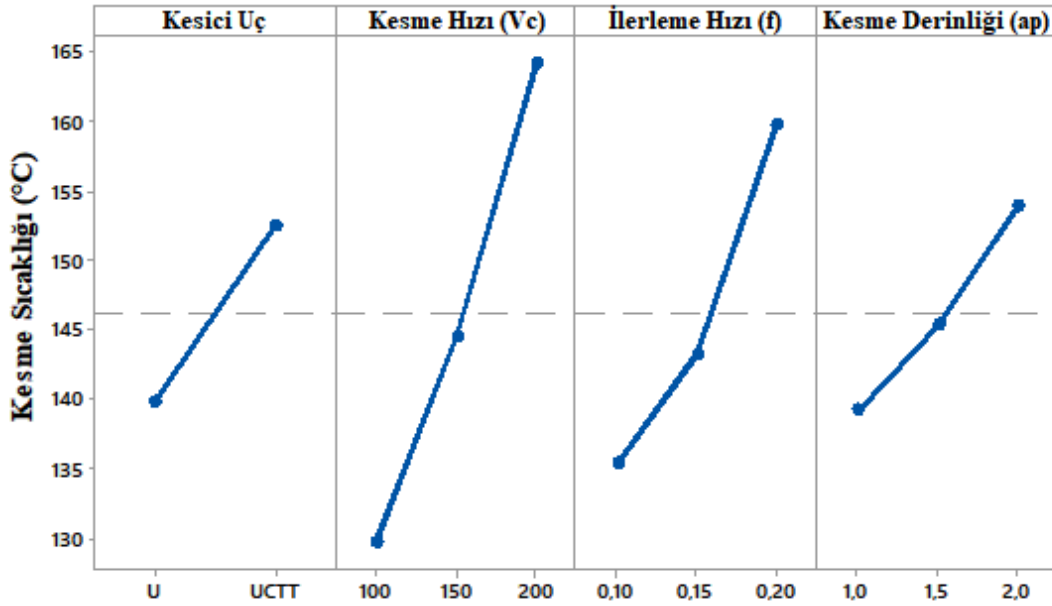
KRIYOJENİK İŞLEMSİZ KESİCİ UÇ (UCTT)	Deney No	Kesme Hızı (Vc), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (ap), mm	Kesme Sıcaklığı (T), °C
	1	100	0,1	1	115
	2		0,15	1,5	122,5
	3		0,2	2	137,7
	4	150	0,1	1	127,2
	5		0,15	1,5	133,7
	6		0,2	2	140,4
	7	200	0,1	1	149,8
	8		0,15	1,5	152,4
	9		0,2	2	162,7
	10	100	0,1	1	134,4
	11		0,15	1,5	139,3
	12		0,2	2	141,2
	13	150	0,1	1	144,8
	14		0,15	1,5	143,8
	15		0,2	2	158,4
	16	200	0,1	1	157
	17		0,15	1,5	168,3
	18		0,2	2	177,1
	19	100	0,1	1	157,6
	20		0,15	1,5	159,3
	21		0,2	2	165,6
	22	150	0,1	1	163,8
	23		0,15	1,5	164,9
	24		0,2	2	170,2
	25	200	0,1	1	171,7
	26		0,15	1,5	175
27	0,2		2	182,5	

Kriyojenik işlemler ve kriyojenik işlemsiz kesici uçlar ile AA 6082-T0 iş parçasının frezelenmesi işlemleri sonucunda T üzerinde etkili olan değişkenleri belirlemek için %95 güven düzeyinde Varyans Analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.12’de T değerleri için ANOVA sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 6.12’ye bakıldığında en etkili değişkenlerin sırasıyla; kesme hızı (%50,39), ilerleme hızı (%26,16), kesici uç (%10,10) ve kesme derinliği (%9,22) olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6.12. AA 6082-T0 iş parçasının T değerleri için ANOVA sonuçları.

Kontrol Faktörü	SD	KT	Katkı	Kare Ort.	F	P
Kesici Uç	1	2137,0	%10,10	2136,96	112,31	0,000
Kesme Hızı	2	10665,7	%50,39	5332,84	280,28	0,000
İlerleme Hızı	2	5536,6	%26,16	2768,29	145,50	0,000
Kesme Derinliği	2	1952,0	%9,22	975,99	51,30	0,000
Hata	46	875,2	%4,13	19,03		
Toplam	53	21166,4	%100,00			

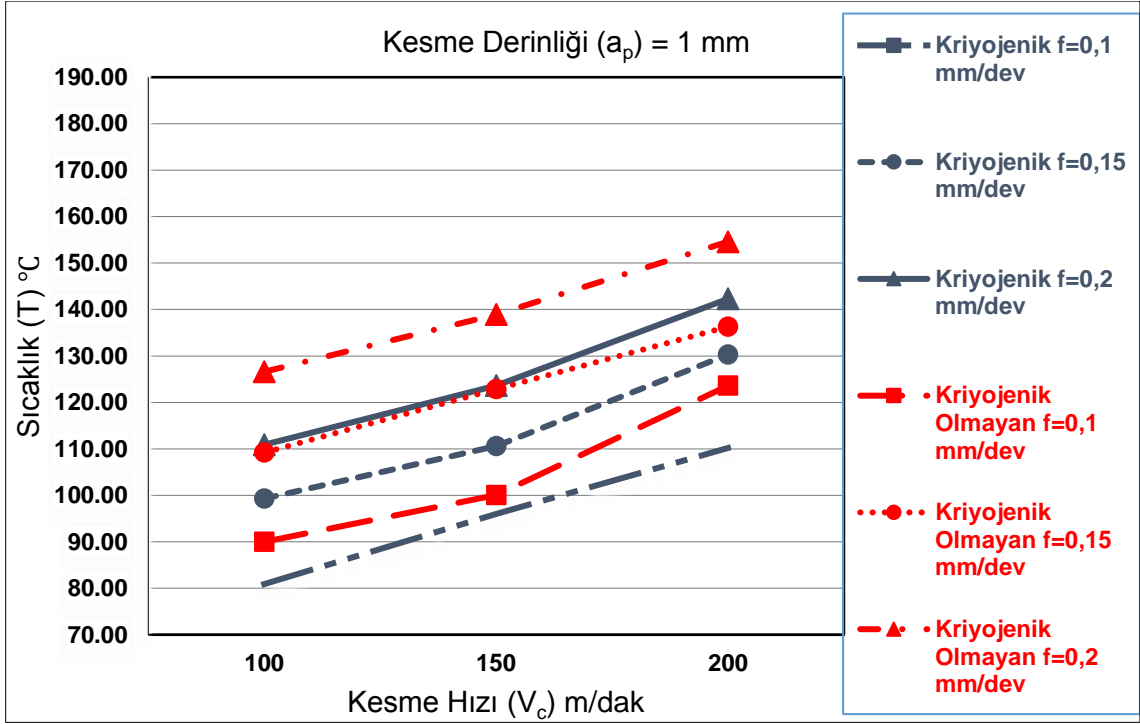
Şekil 6.8’de ise T değerlerine etki eden değişkenler ifade edilmektedir. Şekil 6.8 incelendiğinde en fazla etkiyi kesme hızı ve ilerleme hızı değişkenlerinin sağladığı gözlemlenmektedir.



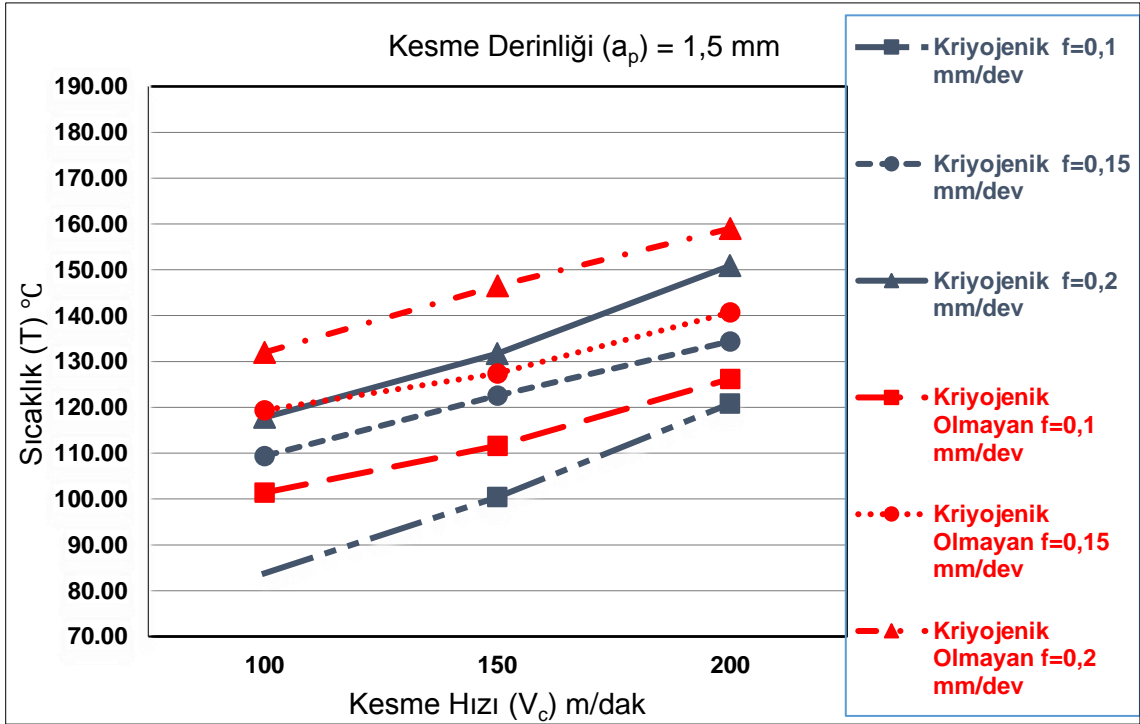
Şekil 6.8. AA 6082-T0 iş parçasının T değerlerine etki eden parametreler.

6.5. 6082-T5 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN KESME SICAKLIĞINA ETKİSİ

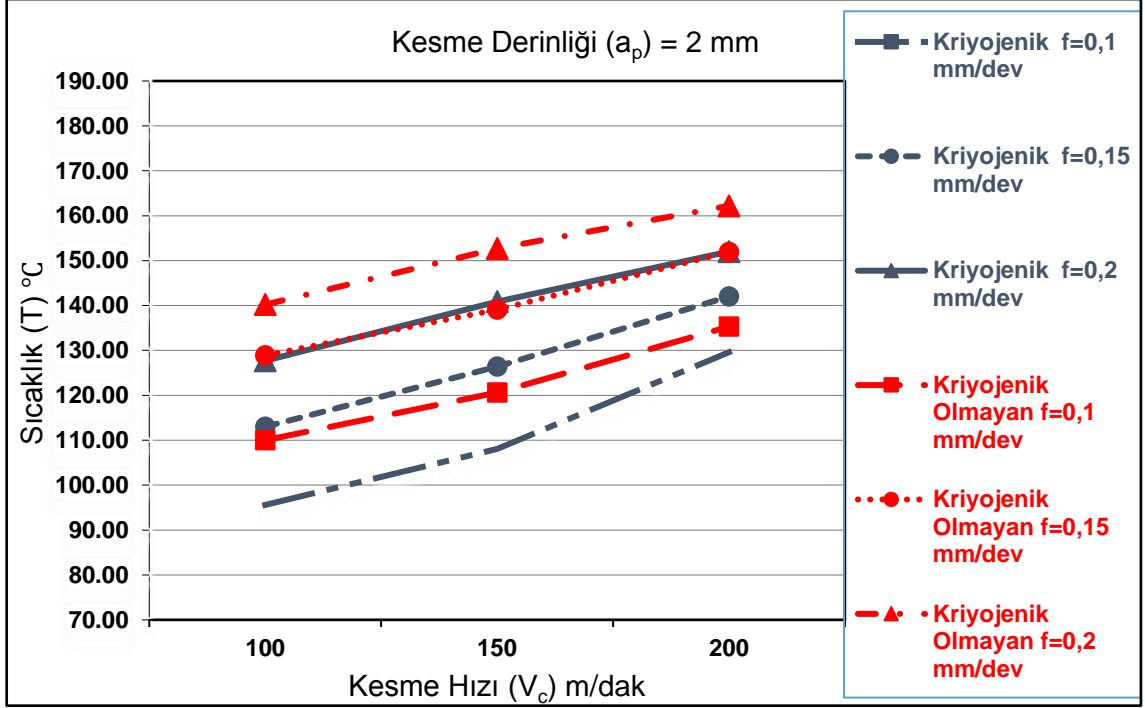
Kesme parametrelerinin ve kriyojenik işlemlerle uçlar ile alüminyum alaşımı 6082-T5 iş parçalarının işlenmesinin kesme sıcaklığına etkisi Şekil 6.9’da grafikler ile ifade edilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 6.9. AA 6082-T5 işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.

Şekil 6.9'da gösterilen grafiklerde, Şekil 6.9a'da 1 mm kesme derinliği grafiği, Şekil 6.9b 1,5 mm kesme derinliği grafiği ve Şekil 6.9c 2 mm kesme derinliği grafikleri incelendiğinde, kesme derinliklerinin artması kesme sıcaklığı değerinde yükselmeye sebep olmuştur. Kesme derinliğinin artmasıyla talaş kesitinin ve kesici uç-iş parçası sürtünme mesafesinin artması, paralel olarak kesme kuvvetlerinin artmasına sebebiyet vermektedir. Kesme kuvvetlerindeki meydana gelen artış ile oluşan titreşime bağlı sürtünmelerin artması da kesme sıcaklığı değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır [102]. Her üç grafikte de kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerinin etkisi de önemlidir. Kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerinin yükseldiği durumlarda kesme sıcaklığı değerleri de olumsuz etkilenmiştir. Yakut, deneysel çalışmasında benzer sonuçlara ulaşmış olup, ANOVA kullanarak kesme hızı ve ilerleme oranındaki artış ile sıcaklık değerlerinde artış olduğunu gözlemlemiştir [37]. Grafiklerin incelemesi ile ortaya çıkan en yüksek sıcaklık değeri, Şekil 6.9c'de 2 mm kesme derinliği, 200 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve kriyojenik işlemsiz uç ile gerçekleştirilen deney sonucunda 162,2 °C tespit edilmiştir. En düşük kesme sıcaklığı değerine ise 6.9a'da 1 mm kesme derinliği, 100 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme hızı ve kriyojenik işlemlili kesici uç ile uygulanan deney çalışması sonucu 80,9 °C olarak belirlenmiştir.

6.5.1. T için AA 6082-T5 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Çizelge 6.13'te kriyojenik işlemlili kesici uçlar (U) ile, Çizelge 6.14'te ise kriyojenik işlemsiz kesici uçlar (UCTT) ile AA 6082-T5 iş parçasının frezelenmesi ile gerçekleştirilen deneylerin kesme sıcaklıkları (T) sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.13. AA 6082-T5 için U kesici uçların deneylerinin T sonuçları.

KRIYOJENİK İŞLEMLİLİ KESİCİ UÇ (U)	Deney No	Kesme Hızı (Vc), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (ap), mm	Kesme Sıcaklığı (T), °C
	1	100	0,1	1	80,9
	2		0,15	1,5	83,8
	3		0,2	2	95,6
	4	150	0,1	1	99,3
	5		0,15	1,5	109,4
	6		0,2	2	113
	7	200	0,1	1	110,9
	8		0,15	1,5	117,8
	9		0,2	2	127,7
	10	100	0,1	1	96
	11		0,15	1,5	100,4
	12		0,2	2	108,1
	13	150	0,1	1	110,6
	14		0,15	1,5	122,6
	15		0,2	2	126,4
	16	200	0,1	1	123,6
	17		0,15	1,5	131,7
	18		0,2	2	140,9
	19	100	0,1	1	110,2
	20		0,15	1,5	120,8
	21		0,2	2	129,6
	22	150	0,1	1	130,3
	23		0,15	1,5	134,4
	24		0,2	2	142
	25	200	0,1	1	142,3
	26		0,15	1,5	150,9
27	0,2		2	152	

Çizelge 6.14. AA 6082-T5 için UCTT kesici uçların deneylerinin T sonuçları.

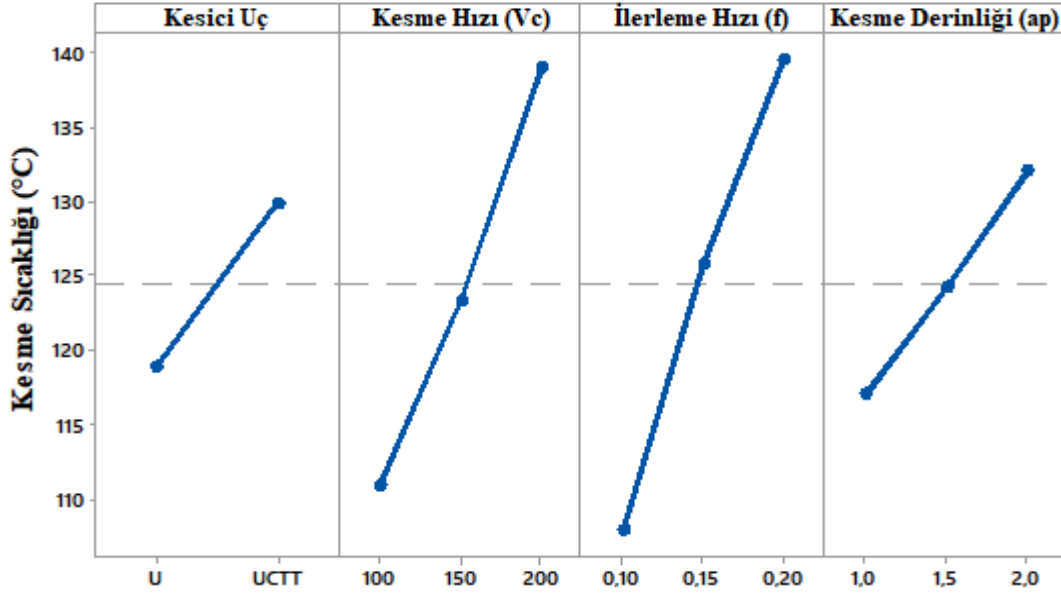
KRIYOJENİK İŞLEMSİZ KESİCİ UÇ (UCTT)	Deney No	Kesme Hızı (Vc), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (ap), mm	Kesme Sıcaklığı (T), °C
	1	100	0,1	1	90
	2		0,15	1,5	101,4
	3		0,2	2	110
	4	150	0,1	1	109,2
	5		0,15	1,5	119,4
	6		0,2	2	128,9
	7	200	0,1	1	126,6
	8		0,15	1,5	132
	9		0,2	2	140,2
	10	100	0,1	1	100,1
	11		0,15	1,5	111,6
	12		0,2	2	120,6
	13	150	0,1	1	122,9
	14		0,15	1,5	127,4
	15		0,2	2	139,1
	16	200	0,1	1	138,9
	17		0,15	1,5	146,5
	18		0,2	2	152,7
	19	100	0,1	1	123,6
	20		0,15	1,5	126,2
	21		0,2	2	135,3
	22	150	0,1	1	136,3
	23		0,15	1,5	140,7
	24		0,2	2	151,9
	25	200	0,1	1	154,6
	26		0,15	1,5	159
27	0,2		2	162,2	

Kriyojenik işlemlenmiş ve kriyojenik işlemlenmemiş kesici uçlar ile AA 6082-T5 iş parçasının frezelenmesi işlemleri sonucunda T üzerinde etkili olan değişkenleri belirlemek için %95 güven düzeyinde Varyans Analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.15'te Ra değerleri için ANOVA sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 6.15'e bakıldığında en etkili değişkenlerin sırasıyla; ilerleme hızı (%44,65), kesme hızı (%35,63), kesme derinliği (%10,09) ve kesici uç (%8,09) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.15. AA 6082-T5 iş parçasının T değerleri için ANOVA sonuçları.

Kontrol Faktörü	SD	KT	Katkı	Kare Ort.	F	P
Kesici Uç	1	1623,6	%8,09	1623,62	242,50	0,000
Kesme Hızı	2	7149,1	%35,63	3574,55	533,90	0,000
İlerleme Hızı	2	8957,4	%44,65	4478,71	668,94	0,000
Kesme Derinliği	2	2024,5	%10,09	1012,26	151,19	0,000
Hata	46	308,0	%1,54	6,70		
Toplam	53	20062,6	%100,00			

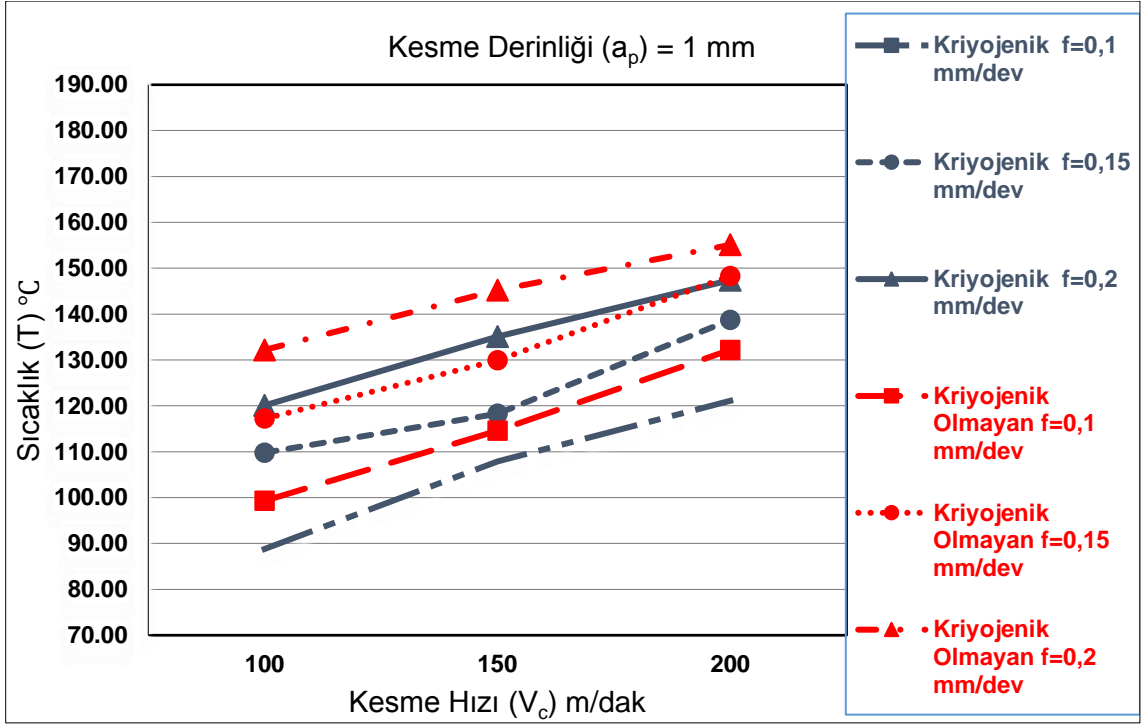
Şekil 6.10'da ise T değerlerine etki eden değişkenler ifade edilmektedir. Şekil 6.10'a bakıldığında en fazla etkiyi ilerleme hızı ve kesme hızı değişkenlerinin sağladığı görülmektedir.



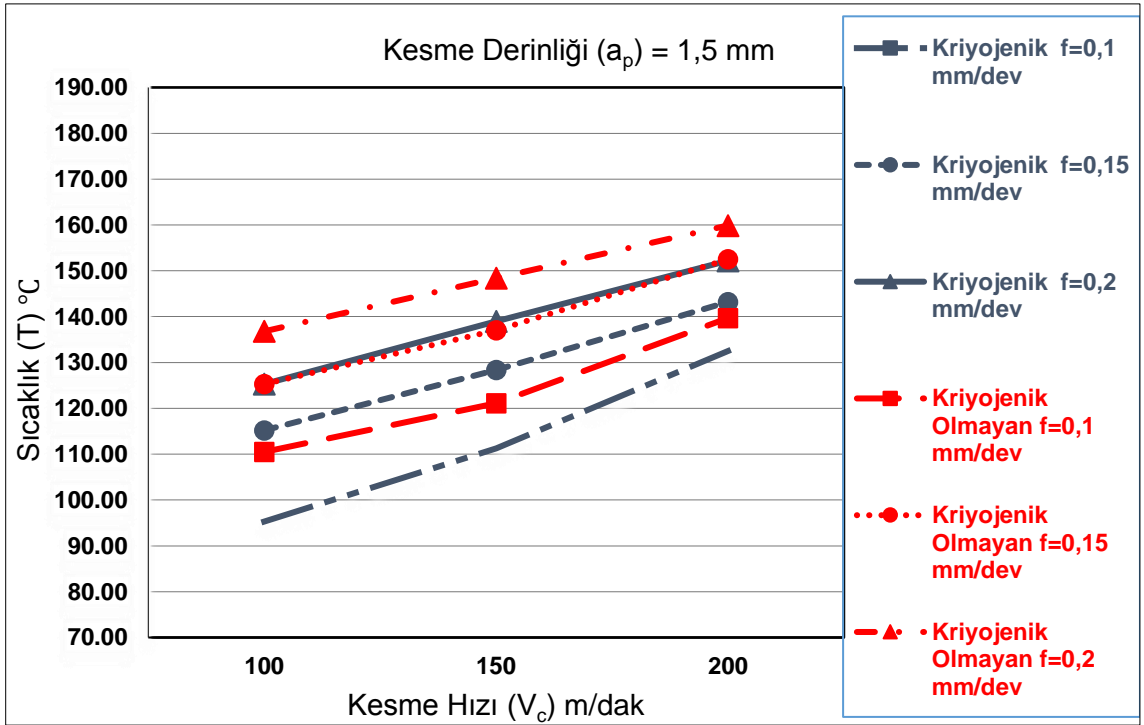
Şekil 6.10. AA 6082-T5 iş parçasının T değerlerine etki eden parametreler.

6.6. 6082-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMI FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN KESME SICAKLIĞINA ETKİSİ

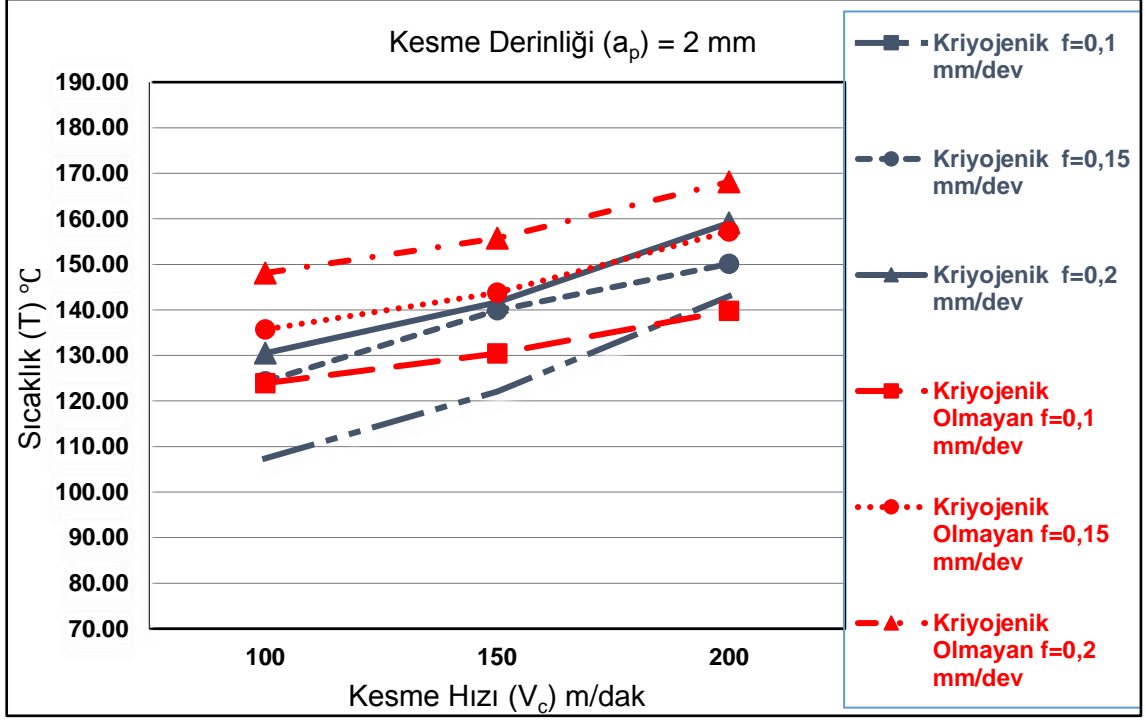
Alüminyum alaşımı 6082-T6 iş parçasının frezeleme işleminde. Şekil 6.11'de alüminyum alaşımı 6082-T6 iş parçasının işlenmesinde kriyojenik işlem ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı üzerinde etkileri grafiklere dönüştürülmüştür.



a)



b)



c)

Şekil 6.11. AA 6082-T6 işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına etkisi; a) Sabit 1 mm a_p , b) Sabit 1,5 mm a_p , c) Sabit 2 mm a_p 'ne göre.

Şekil 6.11'de belirtilen grafikler incelendiğinde, kriyojenik işlemler, kriyojenik işlemsiz uçlar ile kıyaslandığında olumlu yönde etki ettiği görülmektedir. Kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerinin etkisi kesme sıcaklığında da olumsuz yönde eğilim göstermiştir. Kayhanlar, AZ31B magnezyum alaşımını kriyojenik ve kuru kesme şartları altında incelemiş ve sıcaklık, talaş, kesme kuvveti gibi faktörleri araştırmıştır. Benzer sonuçlara ulaştığı deneylerinde kriyojenik olarak yapılan işlemlerde çok daha iyi sonuçlar elde edildiğini ayrıca kesme derinliği, fener mili hızı, ilerleme parametrelerinin artmasının sıcaklık değerlerinde artış meydana getirdiğini gözlemlemiştir [12]. Şekil 6.11a 1 mm kesme derinliğindeki deneyler sonucunda elde edilen sıcaklık değerleri, Şekil 6.11b'de 1,5 mm kesme derinliğinde ulaşılan deneyler neticesinde yükselmektedir. Şekil 6.11c 2 mm kesme derinliği grafiğinde ise tüm kesme sıcaklığı sonuçları, diğer iki grafiğe göre kıyaslandığında daha yüksek kesme sıcaklıkları ortaya çıkarmıştır. Şekil 6.11c grafiği incelendiğinde, üç grafikteki en yüksek kesme sıcaklığı değeri 168,1 °C ile bu grafikte elde edilmiştir. Üç grafikte ki en düşük sıcaklık 88,8 °C ile Şekil 6.11a grafiğinde ölçülmüştür.

6.6.1. T için AA 6082-T6 Varyans Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Çizelge 6.16'da kriyojenik işlemlili kesici uçlar (U) ile, Çizelge 6.17'de ise kriyojenik işlemsiz kesici uçlar (UCTT) ile AA 6082-T6 iş parçasının frezelenmesi ile gerçekleştirilen deneylerin kesme sıcaklıkları (T) sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.16. AA 6082-T6 için U kesici uçların deneylerinin T sonuçları.

KRIYOJENİK İŞLEMLİLİ KESİCİ UÇ (U)	Deney No	Kesme Hızı (Vc), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (ap), mm	Kesme Sıcaklığı (T), °C
	1	100	0,1	1	88,8
	2		0,15	1,5	95,3
	3		0,2	2	107,4
	4	150	0,1	1	109,8
	5		0,15	1,5	115,2
	6		0,2	2	124,3
	7	200	0,1	1	120,1
	8		0,15	1,5	125,3
	9		0,2	2	130,5
	10	100	0,1	1	107,9
	11		0,15	1,5	111,3
	12		0,2	2	122,1
	13	150	0,1	1	118,3
	14		0,15	1,5	128,4
	15		0,2	2	139,9
	16	200	0,1	1	135,1
	17		0,15	1,5	139
	18		0,2	2	141,7
	19	100	0,1	1	121,1
	20		0,15	1,5	132,5
	21		0,2	2	143
	22	150	0,1	1	138,7
	23		0,15	1,5	143,2
	24		0,2	2	150,1
	25	200	0,1	1	147,4
	26		0,15	1,5	152,2
27	0,2		2	159,1	

Çizelge 6.17. A A 6082-T6 için UCTT kesici uçların deneylerinin T sonuçları.

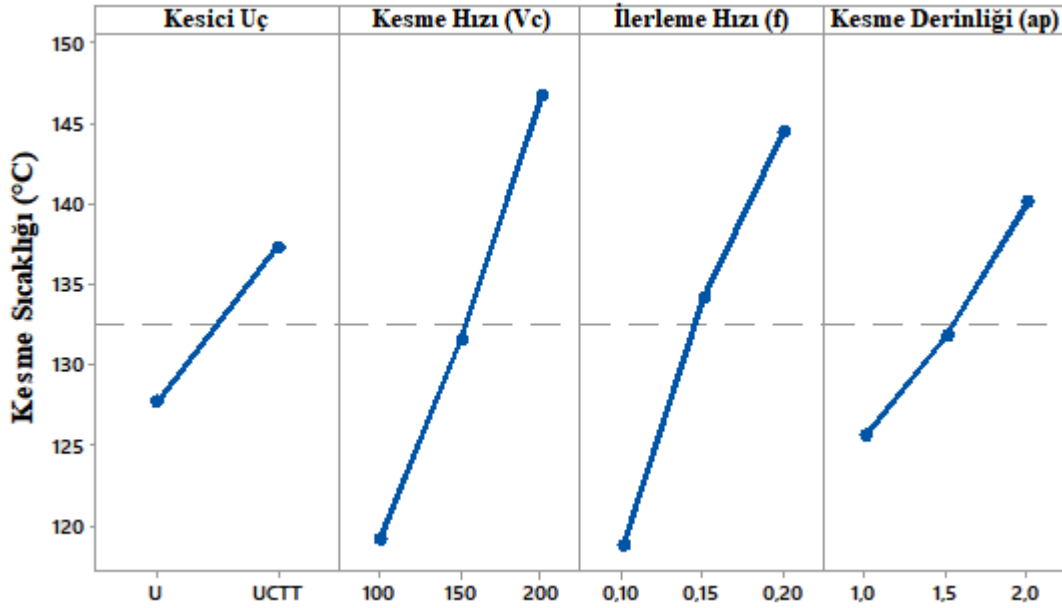
KRIYOJENİK İŞLEMSİZ KESİCİ UÇ (UCTT)	Deney No	Kesme Hızı (Vc), m/dak	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (ap), mm	Kesme Sıcaklığı (T), °C
	1	100	0,1	1	99,3
	2		0,15	1,5	110,5
	3		0,2	2	123,9
	4	150	0,1	1	117,2
	5		0,15	1,5	125,3
	6		0,2	2	135,7
	7	200	0,1	1	132,2
	8		0,15	1,5	136,8
	9		0,2	2	148,1
	10	100	0,1	1	114,6
	11		0,15	1,5	120,1
	12		0,2	2	130,4
	13	150	0,1	1	129,9
	14		0,15	1,5	137
	15		0,2	2	143,8
	16	200	0,1	1	145,2
	17		0,15	1,5	148,4
	18		0,2	2	155,7
	19	100	0,1	1	132,2
	20		0,15	1,5	139,7
	21		0,2	2	139,8
	22	150	0,1	1	148,3
	23		0,15	1,5	152,5
	24		0,2	2	157,2
	25	200	0,1	1	155,1
	26		0,15	1,5	159,9
27	0,2		2	168,1	

Kriyojenik işlemler ve kriyojenik işlemsiz kesici uçlar ile AA 6082-T6 iş parçasının frezelenmesi işlemleri sonucunda T üzerinde etkili olan değişkenleri belirlemek için %95 güven düzeyinde Varyans Analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.18’de T değerleri için ANOVA sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 6.18’e bakıldığında en etkili değişkenlerin sırasıyla; kesme hızı (%41,78), ilerleme hızı (%36,51), kesme derinliği (%11,56) ve kesici uç (%7,63) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.18. AA 6082-T6 iş parçasının T değerleri için ANOVA sonuçları.

Kontrol Faktörü	SD	KT	Katkı	Kare Ort.	F	P
Kesici Uç	1	1244,2	%7,63	1244,16	139,43	0,000
Kesme Hızı	2	6811,3	%41,78	3405,64	381,65	0,000
İlerleme Hızı	2	5952,4	%36,51	2976,22	333,53	0,000
Kesme Derinliği	2	1884,5	%11,56	942,27	105,60	0,000
Hata	46	410,5	%2,52	8,92		
Toplam	53	16302,9	%100,00			

Şekil 6.12’de ise T değerlerine etki eden değişkenler ifade edilmektedir. Şekil 6.12’ye bakıldığında en fazla etkiyi kesme hızı ve ilerleme hızı değişkenlerinin sağladığı görülmektedir.



Şekil 6.12. AA 6082-T6 iş parçasının T değerlerine etki eden parametreler.

Üç iş parçasının işlenmesinde hem kesme sıcaklığı deneylerinde hem yüzey pürüzlülüğü deneylerinde elde edilen grafiklere göre kriyojenik işlem uygulanmış kesici uçların daha iyi sonuçlar gösterdiği görülmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada T0, T5 ve T6 alüminyum alaşımı 6082 iş parçaları frezeleme yöntemi ile işlenmiştir. Frezeleme işlemlerinde üç farklı; kesme hızı (100-150-200 m/dak), ilerleme hızı (0,1-0,15-0,2 mm/dev) ve kesme derinliği (1-1,5-2 mm) kesme parametreleri kullanılmıştır. Ek olarak kesici uçların bir kısmına kriyojenik işlem uygulanmış ve kriyojenik uygulamanın etkisi kriyojenik işlem görmemiş uçlar ile karşılaştırılmıştır. İşlem sonrasında yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerleri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı birbirleri ile ilişkilendirilmemiş ve ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel analiz sonuçları için ANOVA uygulanmıştır. Deneylerin ve gözlemlerin sonuçları aşağıda ifade edilmiştir.

Alüminyum alaşımı 6082-T0 iş parçası için:

- En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerine 2,825 µm olarak, kriyojenik işlemsiz uç, 100 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve 2 mm kesme derinliği parametrelerinde ulaşılmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü 200 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme hızı, 1 mm kesme derinliği ve kriyojenik işlemlili kesici uç ile yapılan deneyde 0,694 µm değerinde bulunmuştur.
- ANOVA ile elde edilen sonuçlara göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili kontrol faktörlerin sırasıyla; %44,98 ile kesici uç, %24,40 ile kesme derinliği, %15,10 ile ilerleme hızı ve %12,29 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir.
- Kesme sıcaklığı için elde edilen sonuçlarda en yüksek sıcaklık 182,5 °C ile kriyojenik işlemsiz uç, 200 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve 2 mm kesme derinliği değişkenlerinde ölçülmüştür. En düşük sıcaklık değerine 100 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme hızı, 1 mm kesme derinliği ve kriyojenik işlemlili kesici uç deneyinde 100,5 °C olarak belirlenmiştir.
- ANOVA ile elde edilen sonuçlara göre kesme sıcaklığı üzerinde kontrol faktörlerinin etkileri sırasıyla; %50,39 ile kesme hızı, %26,16 ile ilerleme hızı, %10,10 ile kesici

uç ve %9,22 ile kesme derinliği olduğu gözlemlenmiştir.

Alüminyum alaşımı 6082-T5 iş parçası için:

- Yüzey pürüzlülüğü deney sonuçları için en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,798 µm değeri ile bulunmuştur. Bu değeri sağlayan kesme parametreleri; kriyojenik işlemsiz kesici uç, 1 mm kesme derinliği, 0,1 mm/dev ilerleme hızı ve 100 m/dak kesme hızı olduğu görülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülüğüne 3,215 µm değerinde ulaşılmıştır. Ulaşılan bu değere; 2 mm kesme derinliği, 0,2 mm/dev ilerleme hızı, 100 m/dak kesme hızı ve kriyojenik işlemsiz kesici uç ile yapılan deneyde gözlemlenmiştir.
- ANOVA ile elde edilen sonuçlara göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerin etkileri sırasıyla; %39,22 oranıyla ilerleme hızı, %27,48 oranıyla kesme derinliği, %17,74 oranıyla kesici uç ve %10,12 oranıyla kesme hızı olduğu ortaya çıkmıştır.
- Kesme sıcaklığı için en düşük değer 80,9 °C olarak ölçülmüştür. 80,9 °C'ye kriyojenik işlemlili kesici uç, 1 mm kesme derinliği, 0,1 mm/dev ilerleme hızı ve 100 m/dak kesme hızı değişkenleri ile yapılan deney neticesinde varılmıştır. En yüksek sıcaklık değeri ise 162,2 °C olarak bulunmuştur. Bulunan 162,2 °C; 2 mm kesme derinliği, 0,2 mm/dev ilerleme hızı, 200 m/dak ilerleme hızı ve kriyojenik işlemsiz uç parametrelerinin uygulandığı deney sonucunda saptanmıştır.
- ANOVA ile elde edilen sonuçlara göre kesme sıcaklığı için kesme parametrelerinin etkileri sırasıyla; %44,65 oranıyla ilerleme hızı, %35,63 oranıyla kesme hızı, %10,09 oranıyla kesme derinliği ve %8,09 oranıyla kesici uç olduğu gözlemlenmiştir.

Alüminyum alaşımı 6082-T6 iş parçası için:

- Frezeleme işlemleri neticesinde ulaşılan en yüksek yüzey pürüzlülüğü sonucu kriyojenik işlemsiz uç, 100 m/dak kesme hızı, 2 mm kesme derinliği ve 0,2 mm/dev ilerleme hızı kesme parametreleri ile gerçekleştirilen deneylerde 3,2 µm değeridir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ise kriyojenik işlemlili kesici uç, 200 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/dev ilerleme hızı değişkenleri ile yapılan deney çalışmasında 0,822 µm olarak görülmüştür.
- ANOVA ile elde edilen sonuçlara göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde sırasıyla; ilerleme hızının %46,11, kesme derinliğinin %23,90, kesici uç etkisinin %20,46 ve kesme hızının %7,13 oranında katkı sağladığı bulunmuştur.

- Elde edilen en yüksek kesme sıcaklığı değeri kriyojenik işlemsiz uç, 200 m/dak kesme hızı, 2 mm kesme derinliği ve 0,2 mm/dev ilerleme hızı deneyinde 168,1 °C olarak ölçülmüştür. En düşük kesme sıcaklığı 88,8 °C'ye kriyojenik işlemlili uç, 100 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/dev ilerleme hızı parametreleri ile ulaşılmıştır.
- ANOVA ile elde edilen sonuçlara göre kesme sıcaklığı üzerinde sırasıyla; kesme hızının %41,78, ilerleme hızının %36,51, kesme derinliğinin %11,56 ve kesici uç etkisinin %7,63 oranında katkısının olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak sonuçlar incelendiğinde:

- T0, T5 ve T6 alüminyum alaşımı 6082 iş parçaları kendi içerisinde kıyaslandığında kriyojenik işlemlili uçlar, kriyojenik işlem uygulanmamış uçlara göre yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı değerlerinde daha iyi sonuçlar sağlamıştır.
- Üç iş parçasının sonuçları incelendiğinde, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde de azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.
- Üç iş parçası için ilerleme hızında ve kesme derinliğinde görülen artış kesme hızı ile ters bir ilişki içerisinde olmuş ve yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Üç iş parçası karşılaştırıldığında en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri alüminyum alaşımı 6082-T0 iş parçası üzerinde gerçekleştirilen deneylerde elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri alüminyum alaşımı 6082-T5 iş parçası üzerinde gerçekleştirilen deneylerde ortaya çıkmıştır. En yüksek kesme sıcaklığı değerine ise alüminyum alaşımı 6082-T0 iş parçası üzerinde yapılan deney çalışmalarında ulaşılmıştır. Üç iş parçası kıyaslandığında en düşük kesme sıcaklığı değeri alüminyum alaşımı 6082-T5 iş parçası üzerinde yapılan deney çalışmalarında tespit edilmiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen veriler, %95 güven aralığında yapılan doğrulama deneyleriyle optimizasyon başarıyla gerçekleştirilmiştir.

7.2. ÖNERİLER

CNC freze tezgâhında üç farklı iş parçasının kuru kesme koşullarında işlenmesinde kriyojenik işlem görmüş kesici uçların ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığına etkilerinin araştırılmasını amaçlayan bu çalışma aşağıda belirtilen

öneriler ile geliştirilebilir;

- Bu çalışmada tüm deneyler kuru kesme koşulu altında gerçekleştirilmiştir. Islak kesme koşulları uygulanarak deney sonuçları arasında kıyaslamalar yapılabilir.
- Kullanılan kesme parametreleri ile farklı malzemelerde yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı, titreşim ve kesme kuvvet etkisine bakılabilir.
- Farklı kesme parametreleri belirlenerek, yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıkları ile elde edilen sonuçlar iyileştirilebilir.
- Araştırılan yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığına ek olarak titreşim ve kesme kuvveti değerleri incelenebilir.
- Farklı kesici uç ve takımlar kullanılarak deneyler tekrarlanabilir.
- CNC freze tezgâhlarında gerçekleştirilen bu çalışma yerine farklı tezgâhlar tercih edilerek deneylerde çalışılabilir.
- İncelenen yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı vb. terimlerin birbirine etkisi araştırılabilir.
- Kriyojenik soğutmanın etkisine hem insan sağlığı hem de çevreye etkisinin olumlu yönde tesiri sayesinde uygulanacak araştırmalarda fazla değinilebilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] İ. Asiltürk ve M. T. Demirci, “Karbür kesici kullanarak sertleştirilmiş AISI 1040 çeliklerin frezelenmesindeki yüzey pürüzlülüğünün regresyonla modellenmesi,” *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 2010, ss. 1-11.
- [2] L. S. Mike, C. C. Joseph and M. Caleb, “Surface roughness prediction technique for CNC end-milling,” *Journal of Industry Technology*, c. 15, sayı 1, ss. 1-6, 1998.
- [3] P. M. Escalona, P. G. Maropoulos, “A geometrical model for surface roughness prediction when face milling Al 7075-T7351 with square insert tools,” *Journal of Manufacturing Systems*, c. 309, ss. 1-8, 2014.
- [4] A. M. Pınar, “AA 6013 alüminyum alaşımının frezelenmesinde ortalama ve toplam yüzey pürüzlülüğüne göre kesme parametreleri etkilerinin incelenmesi,” *e-Journal of New World Sciences Academy*, c. 5, sayı 1, ss. 1-13, 2010.
- [5] H. Sarı, “Frezelemede takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2008.
- [6] H. Gökkaya ve M. Nalbant, “Talaş kaldırma sırasında ısı oluşumu ve dağılımı,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 2, ss. 33-44, 2006.
- [7] G. Boothroyd and W. A. Knight, *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*, 2. baskı, New York, USA: McGraw-Hill, 1981, ss. 1-531.
- [8] M. I. Sadik, S. Isakson, A. Malakizadi and L. Nyborg, “Influence of coolant flow rate on tool life and wear development in cryogenic and wet milling of Ti-6Al-4V,” *7th CIRP Conference on High Performance Cutting*, Gothenburg, Sweden, 2016, ss. 91-94.
- [9] B. Kurşuncu, “Inconel 718 süperalaşımının frezelenmesinde kriyojenik ısı işlem görmüş farklı ince film kaplamalı karbür kesici takımların kesme performansının araştırılması,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2016.
- [10] F. H. Çakır, “Ti6Al4V alaşımına kriyojenik işlemin etkilerinin araştırılması,” Doktora Tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2019.
- [11] F. Kara, M. Karabatak, M. Ayyıldız ve E. Nas, “Effect of machinability, microstructure and hardness of deep cryogenic treatment in hard turning of AISI D2 steel with ceramic cutting,” *Journal of Materials Research and Technology*, c. 9, sayı 1, ss. 969-983, 2020.
- [12] H. Kayhanlar, “Magnezyum alaşımının kriyojenik ve kuru şartlar altında frezelenebilirliğinin deneysel araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Karaman, Türkiye, 2019.
- [13] A. Takmaz, “Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin işlenebilirliğe

- etkisinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.
- [14] A. Mavi, “Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti6Al4V titanyum alaşımının işlenmesinde kesici takım performansının etkisi,” Doktora tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [15] F. Kara ve A. Takmaz, “Optimization of cryogenic treatment effects on the surface roughness of cutting tools,” *Materials Testing*, c. 61, sayı 11, ss. 1101-1104, 2019.
- [16] E. Demir ve İ. Toktaş, “AISI D2 çeliğine uygulanan farklı bekletme sürelerindeki derin kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi,” *2th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Karabük, Türkiye, 2014, ss. 1-12.
- [17] A. Damir, A. Sadek and H. Attia, “Characterization of machinability and environmental impact of cryogenic turning of Ti-6Al-4V,” *25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference*, Copenhagen, Denmark, 2018, ss. 893-898.
- [18] N. A. Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin ve O. Özbek, “Kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız Wc-Co takımlarla AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin incelenmesi,” *1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences*, Afyon, Türkiye, 2016, ss. 1-8.
- [19] F. Kara, A. Çiçek ve H. Demir, “Multiple regression and ANN models for surface qualification of cryogenically-treated AISI 52100 bearing steel,” *Journal of The Balkan Tribological Association*, c. 19, ss. 570-584, 2013.
- [20] N. Uçak ve A. Çiçek, “Talaşlı imalat süreçlerinde kriyojenik soğutma uygulamaları üzerine bir araştırma,” *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Bakü, Azerbaycan, 2017, ss. 1-10.
- [21] V. Dhokia, A. Shokrani, D. C. Paulino and S. T. Newman, “Effects of cryogenic cooling on the surface quality and tool wear in end-milling 6061-T6 aluminium,” *22nd International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, Helsinki, Finland, 2012, ss. 1-7.
- [22] A. Shokrani, V. Dhokia and S. T. Newman, “Investigation of the effects of cryogenic machining on surface integrity in CNC end milling of Ti-6Al-4V titanium alloy,” *Journal of Manufacturing Processes*, c. 21, ss. 172-179, 2016.
- [23] A. M. Pinar, E. Atik ve U. Çavdar, “AA 7075 alaşımının frezelenmesinde kesme hızı, ilerleme oranı, işleme deseni ve talaş derinliği işlem parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi,” *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 2010, ss. 1-8.
- [24] S. Rawangwong, J. Chatthong, W. Boonchouytan and R. Burapa, “Influence of cutting parameters in face milling semi-solid AA 7075 using carbide tool affected the surface roughness and tool wear,” *11th Eco-Energy and Materials Science and Engineering*, Songkhla, Thailand, 2014, ss. 448-457.
- [25] Ş. Bayraktar ve Y. Turgut, “Al-5083 alaşımının frezelenmesinde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliğinin optimizasyonu,” *7th International Symposium on Machining*, İstanbul, Türkiye, 2016, ss. 1-11.
- [26] M. K. Kulekçi, U. Eşme, A. K. Ekşi, Z. Koçoğlu ve N. F. Yılmaz, “EN AW 5754 (AlMg3) alüminyum alaşımının frezelenmesi işleminde kesme parametrelerinin

yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 32, sayı 2, ss. 153-160, 2017.

- [27] Y. Seymen, “Alüminyumun (Al7075) elmas benzeri karbon (DLC) kaplanmış parmak freze ile işlenmesinin deneysel incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [28] S. Rawangwong, J. Chatthong, W. Boonchouytan, C. Homkhiew, W. Cheewawuttipong and R. Burapa, “Influence of cutting parameters in face milling semi-solid AA 2024 using a carbide tool affecting the surface roughness and tool wear,” *Walailak Journal Engineering and Physical Sciences*, c. 16, sayı 6, ss. 441-449, 2017.
- [29] K. Ozbeyaz, “Prediction of surface roughness value for machining of aluminum 1050 material by using artificial neural network,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [30] M. F. F. A. Rashid, S. Y. Gan and N. Y. Muhammad, “Mathematical modeling to predict surface roughness in CNC milling,” *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, c. 3, sayı 5, ss. 1-4, 2009.
- [31] J. Z. Zhang, J. C. Chen and E. D. Kirby, “Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 184, ss. 233-239, 2007.
- [32] P. G. Benardos, G. C. Vosniakos, “Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi’s design of experiments,” *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, c. 18, ss. 343-354, 2002.
- [33] A. M. Zain, H. Haron and S. Sharif, “Prediction of surface roughness in the end milling using artificial neural network,” *Expert Systems with Applications*, c. 37, ss. 1755-1768, 2010.
- [34] S. V. Alagarsamy, M. Ravichandran, M. Meingnanamoorthy, S. Sakthivelu and S. Dineshkumar, “Prediction of surface roughness and tool wear in milling process on brass (C26130) alloy by Taguchi technique,” *Materials Today: Proceedings*, c. 21, ss. 189-193, 2020.
- [35] A. Shukla, A. Kotwani and D. R. Unune, “Performance comparison of dry, flood and vegetable oil based minimum quantity lubrication environments during CNC milling of aluminium 6061,” *Materials Today: Proceedings*, c. 21, ss. 1483-1488, 2020.
- [36] A. Kus, Y. Isik, M. C. Cakir, S Coşkun and K. Özdemir, “Thermocouple and infrared sensor-based measurement of temperature distribution in metal cutting,” *Sensors*, c. 15, ss. 1274-1291, 2015.
- [37] H. Yakut, “Al 7075 alüminyum matkaplarla delinmesinde kesme parametreleri ile sıcaklık arasındaki ilişkinin deneysel incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [38] C. Dinc, I. Lazoglu and A. Serpenguzel, “Analysis of thermal fields in orthogonal machining with infrared imaging,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 198, ss. 147-154, 2008.

- [39] G. L. Coz, M. Marinescu, A. Devillez, D. Dudzinski and L. Velnom, "Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys," *Applied Thermal Engineering*, c. 36, ss. 434-441, 2012.
- [40] W. Grzesik, "Experimental investigation of the cutting temperature when turning with coated indexable inserts," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, c. 39, ss. 355-369, 1999.
- [41] S. Chinchankar and S. K. Choudhury, "Evaluation of chip-tool interface temperature: Effect of tool coating and cutting parameters during turning hardened AISI 4340 steel," *Procedia Materials Science*, c. 6, ss. 996-1005, 2014.
- [42] U. Karagüzel, "Ti6Al4v alaşımının talaşlı imalatı sırasında termal kamera ile sıcaklık ölçümü ve sonlu elemanlarla modellenmesi," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 7, sayı 2, ss. 265-271, 2019.
- [43] Z. Wang, S. Nakashima and M. Larson, "Energy efficient machining of titanium alloys by controlling cutting temperature and vibration," *Procedia CIRP*, c. 17, ss. 523-528, 2014.
- [44] K. Yang, Y. C. Liang, K. N. Zheng, Q. S. Bai and W. Q. Chen, "Tool edge radius effect on cutting temperature in micro-end-milling process," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 52, ss. 905-912, 2011.
- [45] S. Bagavathiappan, B. B. Lahiri, S. Suresh, J. Philip and T. Jayakumar, "Online monitoring of cutting tool temperature during micro-end-milling using infrared thermography," *Thermography*, c. 57, sayı 1, ss. 9-17, 2015.
- [46] D. Shah and S. Bhavsar, "Effect of tool nose radius and machining parameters on cutting force, cutting temperature and surface roughness an experimental study of Ti-6Al-4V (ELI)," *Materials Today: Proceedings*, c. 22, ss. 1977-1986, 2020.
- [47] U. Yalcin, A. D. Karaoglan and I. Korkut, "Optimization of cutting parameters in face milling with neural networks and Taguchi based on cutting force, surface roughness and temperatures," *International Journal of Production Research*, c. 51, sayı 11, ss. 3404-3414, 2013.
- [48] T. Y. Karabulut, "AA5005 Alüminyum alaşımının Lazer ve Tig kaynak yöntemi kullanılarak kaynaklanabilirliğinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye, 2019.
- [49] E. Taban, "5xxx serisi alüminyum alaşımlarının Tig, Mig ve sürtünen eleman ile birleştirme kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2004.
- [50] Y. Sun, "Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları," Yüksek lisans tezi, Metalürji Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1998.
- [51] G. Mathers, *The Welding of Aluminium and Its Alloys*, 1. baskı, Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2002, ss. 1-242.
- [52] Kaplan, H., "The making of magnesium," *Light Metal Age*, ss. 18-19, 1990.
- [53] A. Onur, "AA6xxx serisi alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemine bağlı olarak işlenebilirliğinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine ve İmalat

Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye, 2014.

- [54] Askeland D. R., Fulay, P. P. and Wright, W. J., *The Science and Engineering of Materials*, 6. baskı, Stamford, USA: Cengage Learning, 2010, böl. 14, ss. 539-569.
- [55] S. Bozkurt, "AA7075 T651 alüminyum alaşımının tornada işlenmesinde kesme parametrelerinin geometrik toleranslara ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2019.
- [56] S. Otorawanna, *Fundamentals of Aluminium Metallurgy-Casting of Aluminium Alloys*, 1. baskı, Cambridge, UK: A Volume in Woodhead Publishing Series, 2011, böl. 6, ss. 141-154.
- [57] M. Övündür, "Alüminyum alaşımlarına uygulanan mikroark oksidasyon ve anodik-oksidasyon işlemlerinin karşılaştırılması," Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [58] J. R. Kissell, N. G. Haidemenopoulos, G. S. Pantelakis, *Handbook of Advanced Materials: Enabling New Designs-Aluminum and Aluminium Alloys*, 1. baskı, Hoboken-New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2004, böl. 9, ss. 321- 463.
- [59] J. Zvinys, R. J. Kandrotaitė, J. Meskys and K. Juzenas, "Investigation of thermo mechanical effect on structure and properties of aluminium alloy 6082," *Scientific Proceedings IX International Congress: Machines, Technologies, Materials*, Lithuania, 2012, ss. 1-4.
- [60] F. Emanetçi, "Otomobillerde kullanılan ön süspansiyon sistemlerinden Al (6082) salıncak tasarımı, analizi ve ısıtılma işlem uygulaması," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2019.
- [61] P. T. Mihir, A. Vivek and A. Deshpande, "Experimental investigation of effect of process parameters on MRR and surface roughness in turning operation on conventional lathe machine for aluminum 6082 grade material using taguchi method," *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, c. 4, ss. 177-185, 2014.
- [62] Ş. Şirin, "Al₂O₃ seramik malzemenin talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilmesinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2012.
- [63] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4. baskı, Hoboken-New Jersey, USA: Prentice-Hall Inc., 1996, ss. 251-639.
- [64] L. R. D. L. Garcia, *Residual Stress and Part Distortion in Milled Aerospace Aluminium*, 1. baskı, Hannover, Germany: Garbsen PZH, 2010, ss. 1-139.
- [65] O. Kurt, "Alaşımlı alüminyum köpüklerin talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilirliğinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2019.
- [66] T. G. Smith, *Advanced Machining The Handbook of Cutting Technology*, Bedford, UK.: IFS Publications, 1989, ss. 1-281.

- [67] Y. Özçatalbaş, “Çeliklerin işlenebilirliği: kimyasal bileşim, mikroyapı, mekanik özellikler ve işlenebilirlik ilişkisi,” *Politeknik Dergisi*, c. 23, sayı 2, ss. 457-482, 2020.
- [68] H. Tonshoff, W. Spintig, W. König, and A. Neises, “Machining of holes developments in drilling technology,” *Annal of the CRIP*, c. 43, sayı 2, ss. 551-560, 1994.
- [69] T. Yıldız, “Paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde minimum miktarda yağlama etkisinin istatistiksel olarak araştırılması,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2019.
- [70] G. Sarıışık ve E. Özkan, “Bilgisayar kontrollü makine (CNC) ile mermerlerin işlenebilirliğinde kesme kuvveti ve spesifik enerjinin belirlenmesi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi*, c. 16, ss. 420-430, 2016.
- [71] N. Tuğral, “CNC makinesinde gerçek mermerlerin kesme genişliğinin yüzey kalitesine etkisinin taguchi yöntemiyle incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Maden Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2019.
- [72] R. Aşkar, *CNC Torna, Frezele Çalışma Prensipleri ve Takım Teknolojisi*, Ankara, Türkiye: Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayını, 2006, ss. 1-261.
- [73] Y. Şahin, *İmal Usulleri*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Yayınevi, 2003, ss. 269-280.
- [74] A. Gezgin, “Prizmatik parçaların frezelenmesi esnasında, kesici uç sayısının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [75] E. Yılmaz, “Etial 180 alüminyum alaşımının işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2010.
- [76] Y. Şahin, *Talaş Kaldırma Prensipleri 1, 2*, baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2000, ss. 1-398.
- [77] C. M. Çakır, *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*, Bursa, Türkiye: Dora Basım Yayın Dağıtım, 2000, ss. 232-235.
- [78] İ. Bayrak, “Kriyojenik işleminin termal sprey Wc-Co kaplamaların aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2019.
- [79] D. A. Gök, “Kriyojenik işlem koşullarının vanadyumlu çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkilerinin deneysel araştırılması,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2019.
- [80] G. Akıncıoğlu, “Derin kriyojenik işlem uygulanan tungsten karbür matkap kullanılarak AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin farklı parametreler ile delinebilirliğinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.

- [81] V. Firouzdor, E. Nejati and F. Khomamizadeh, "Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill," *Journal of Materials Processing Technology*, c. 206, ss. 467-472, 2008.
- [82] S. P. Arunram, N. Nishal, M. Thirumugham and A. G. Raghunath, "Effect of deep and shallow cryogenic treatment on high speed steel grade M2 drilling tool," *Materials Today: Proceeding*, 2020.
- [83] Barron, R. F. and Mulhern, C. R., "Cryogenic treatment of AISI-T8 and C1045 steel," *Advances in Cryogenic Engineering Materials*, c. 26, ss. 171–178, 1980.
- [84] M. S. Gül, "Kriyojenik ısıt işleminin Hastelloy C-22 süper alaşımının aşınma davranışına olan etkisinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2019.
- [85] A. Bensely, A. Prabhakaran, D. M. Lal and G. Nagarajan, "Enhancing the wear resistance of case carburized steel (EN 353) by cryogenic treatment," *Cryogenics*, c. 45, ss. 747-754, 2006.
- [86] T. R. Soren, R. Kumar, I. Panigrahi, A. K. Sahoo, A. Panda and R. K. Das, "Machinability behavior of aluminium alloys: a brief study," *Materials Today: Proceeding*, c. 18, ss. 5069-5075, 2019.
- [87] K. Kadirgama, M. M. Noor, M. N. N. M. Zuki, M. M Rahman, M. R. M. Rejab, R. Daud and K. A. Abou-El-Hossein, "Optimization of surface roughness in end milling on mould aluminium alloys (AA6061-T6) using response surface method and radian basis function network," *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, c. 2, sayı. 4, ss. 209-214, 2008.
- [88] M. Tufan, "AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısıt işleminin işlenebilirliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2011.
- [89] B. Özses, "Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgâhlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.
- [90] Y. Şahin, *Talaş Kaldırma Prensipleri 2*, Ankara, Türkiye: Nobel Basın Yayın Dağıtım, 2001, ss. 1-501.
- [91] M. Akkurt, *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları*, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 1992, ss. 217-221.
- [92] S. Filiz, "Alüminyum alaşımlarının frezelenmesinde kesme parametrelerinin ve soğutma şartlarının işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, 2015.
- [93] M. E. Trent and K. P. Wright, *Metal Cutting*, 4. baskı, Boston, USA: Butterworth-Heinemann, 2000, ss. 1-464.
- [94] M. O. Çiftçi, "Tren tekeri malzemesinin işlenmesinde optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2019.
- [95] Ü. Yalçın, "Talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklık ve termal yorulma

- faktörlerinin takım aşınma davranışlarına etkisi,” Doktora tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [96] M. Benedetti, T. Bortolamedi, V. Fontarani and F. Frendo, “Bending fatigue behaviour of differently shot peened Al 6082 T5 alloy,” *International Journal of Fatigue*, c. 26, ss. 889-897, 2004.
- [97] R. F. Garcia, E. C. Felx, H. T. Mendel, A. R. Gonzalez and A. J. Souza,” Optimization of cutting parameters for finish turning of 6082-T6 aluminum alloy under dry and RQL conditions,” *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, c. 41, sayı 317, ss. 1-10, 2019.
- [98] R. Senthilkumar, M. Prakash, N. Arun and A. A. Jeyakumar, “The effect of the number of passes in friction stir processing of aluminum alloy (AA6082) and its failure analysis,” *Applied Surface Science*, c. 491, ss. 420-431, 2019.
- [99] C. C. A. Chen, W. C. Liu and N. A. Duffie, “A surface topography model for automated surface finishing,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 38, sayı 5-6, ss. 543-550, 1998.
- [100] O. Özbek, “Tornalamada kriyojenik soğutma ve minimum miktarda yağlamanın kesici takım aşınması ve titreşimine etkilerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2020.
- [101] H. Aouici, M. A. Yallese, B. Fnides ve T. Mabrouki, “Machinability investigation in hard turning of AISI H11 hot work steel with CBN tool,” *Mechanika*, c. 86, sayı 6, ss. 71–77, 2010.
- [102] N. Şahin, “Kalıp çeliklerinin freze tezgâhında işlenmesinde kesme parametrelerinin, takım talaş arayüzey sıcaklığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlüğüne etkisinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.

9. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aykut Eser
Doğum Tarihi ve Yeri : 25/03/1993 BURSA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : aykut.eser.93@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2020
Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2017
Lise	CNC Bölümü	Mimar Sinan A.T.L.	2011

YAYINLAR

A. Eser ve M. Ayyıldız, “AA 6082 Alüminyum Alaşımında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Araştırılması,” 2. *Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi*, Bolu, Türkiye, 2020, ss. 217-225.