

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

**Ti6Al4V ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE FARKLI SOĞUTMA
TEKNİKLERİNİN İŞLEME PERFORMANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eray SARIGÜL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erkan BAHÇE

HAZİRAN 2022

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

**Ti6Al4V ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE FARKLI SOĞUTMA
TEKNİKLERİNİN İŞLEME PERFORMANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

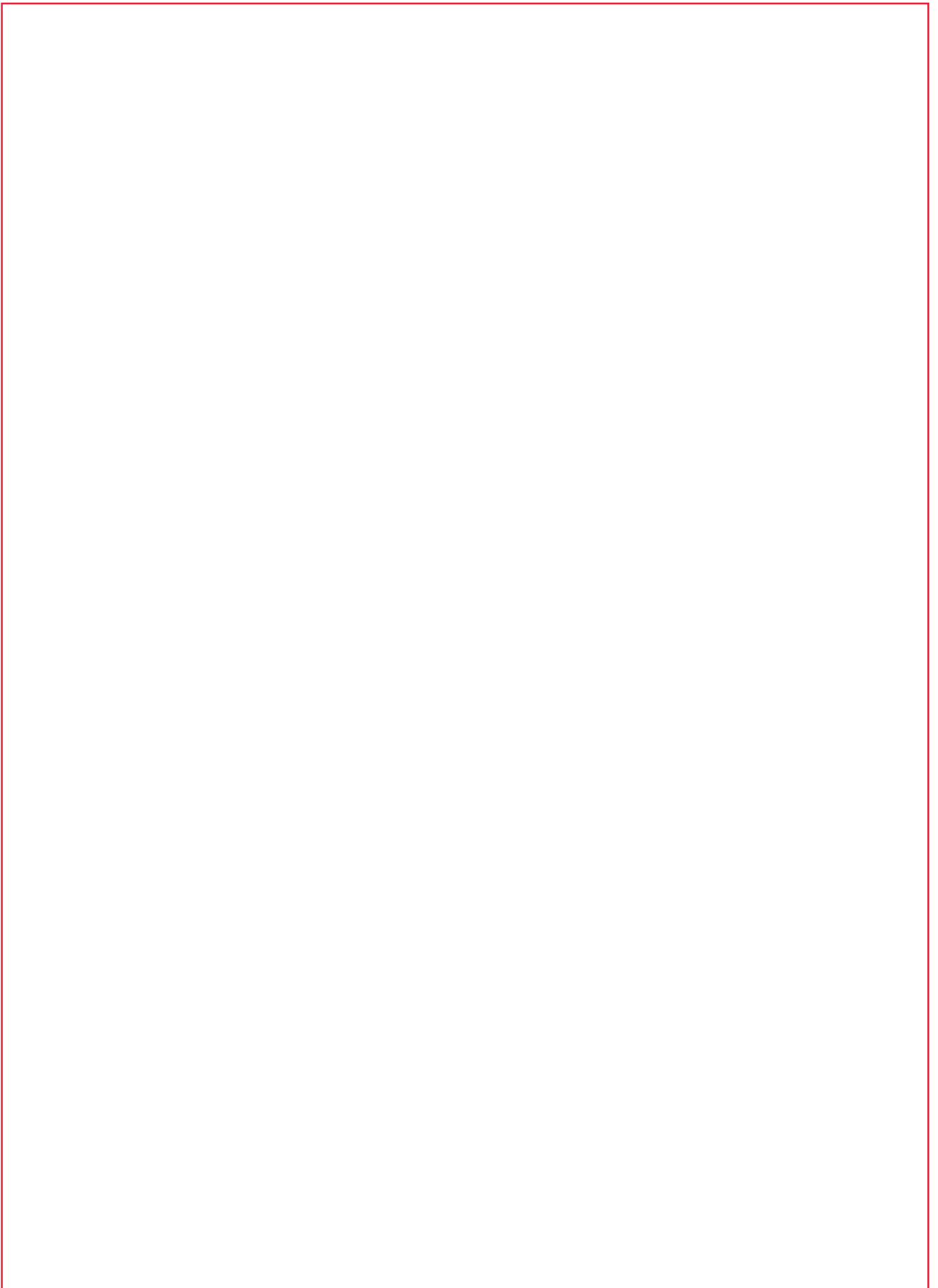
Eray SARIGÜL

36173618030

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erkan BAHÇE

HAZİRAN 2022



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca ilgisini, bilgisini ve tecrübelerini her zaman aktaran, her türlü destek ve yardımda bulunan saygı değer danışmanım Doç. Dr. Erkan BAHÇE'ye;
FYL-2020-2038 nolu proje ile desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne;

Şimdiye kadar olduğu gibi bu zorlu tez sürecimde de desteklerini her zaman hissettiğim, sıkıntılara ortak olan canım aileme teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “

Ti6Al4V ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE FARKLI SOĞUTMA TEKNİKLERİNİN İŞLEME PERFORMANSINA ETKİSİ” başlıklı bu çalışmanın bilimsel, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yönetimine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Eray SARIGÜL



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	3
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Araştırma Konusu ve Önemi	8
2.2 Araştırma Konusunun Önemi	11
3. GENEL BİLGİLER	12
3.1 Talaş Kaldırma Prosesi	12
3.2 Frezeleme İşlemi	13
3.2.1 Frezelemede kullanılan kesici takımlar.....	17
3.3 Takım Aşınması.....	19
3.3.1 Yan kenar aşınması	20
3.3.2 Talaş yüzeyi aşınması.....	24
3.3.3 Boşluk yüzeyi aşınması	25
3.3.4 Mekanik hasar veya kırılma	26
3.3.5 Çentik aşınması	26
3.4 Talaşlı İmalatta Kullanılan Soğutma/Yağlama Yöntemleri.....	27
3.4.1 Geleneksel soğutma yöntemleri	28
3.4.2 Minimum miktarda yağlama sistemi (MMY)	29
3.4.3 Sıfır altı soğutma yöntemi	30
3.4.3.1 Soğuk soğutma yöntemi (CO ₂)	30
3.4.3.2 Kriyojenik soğutma yöntemi (LN ₂).....	31
3.5. Talaşlı İmalatta Çapak Oluşumu.....	31
3.6. Yüzey Pürüzlülüğü	33
4. MATERYAL ve METHOD	36
4.1 Materyal	36
4.2 Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	38
4.3 Talaş Tiplerinin SEM Analizi	39
4.4 Çapak Oluşumunun Ölçülmesi	40
4.5 Soğutma Yöntemleri	40
4.5.1 Soğutma sistemlerinin tasarımı	42
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	44
5.1. Soğutma Yöntemlerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi	44
5.2. Soğutma Yöntemlerinin Talaş Yapısına Etkisi.....	46
5.3. Soğutma Yöntemlerinin Çapak Oluşumuna Etkisi	55
5.4. Soğutma Yöntemlerinin Talaş Kaldırma Sıcaklığına Etkisi.....	56
5.5. Soğutma Yöntemlerinin Takım Aşınmasına Etkisi	58
6. GENEL SONUÇLAR.....	60
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ	66

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A	: Alan
A_{max}	: Deformasyona Uğramış Alan
CETP	: Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit
D	: Takım Çapı
dak	: Dakika
dev	: Devir
D_{max}	: Deformasyona Uğramış Delik Çapı
f	: İlerleme miktarı
F_d	: Deleminasyon faktörü
F_z	: Bir Ağıza Karşılık Gelen İlerleme Miktarı
h	: Talaş kalınlığı
ISO	: ISO International Organization for Standardization
mm	: Milimetre
n	: İş mili hızı
R_a	: Yüzey pürüzlülüğü
R_t	: Pürüzlülük Yüksekliği
R_{max}	: En Büyük Pürüzlülük Değeri
R_p	: Profil Üst Sınırı
R_v	: Profil Alt Sınırı
S	: Saniye
V_c	: Kesme Hızı
V_f	: İlerleme Hızı
Z	: Kesici Ağız Sayısı
µm	: Mikrometre
γ₀	: Talaş açısı
β₀	: Kama açısı
α₀	: Serbest açısı
Ψ	: Takım uç açısı
X	: Yerleşme açısı
%	: Yüzde

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Kesme bölgesinde meydana gelen ısının gösterimi.....	9
Şekil 3.1: Talaş tiplerinin SEM görüntüsü.....	13
Şekil 3.2: Çevresel frezeleme ve alın frezeleme parametrelerin gösterimi.....	14
Şekil 3.3: Eş yönlü frezeleme ve zıt yönlü frezeleme parametrelerin gösterimi	15
Şekil 3.4: Alın frezelemede açılar ve oluşan kuvvetler.....	16
Şekil 3.5: Asimetrik alın frezeleme.....	17
Şekil 3.6: Frezelemede kullanılan kesici takımlar	18
Şekil 3.7: Kesme işleminde takım aşınma bölgeleri ve aşınma tipleri.	20
Şekil 3.8: Bir kesici takımda yan kenar aşınma miktarının zamanla değişimi	21
Şekil 3.9: Farklı kesme hızlarında yan kenar aşınması için tipik takım aşınması eğrileri ..	22
Şekil 3.10: Takım ömrü gibi rastgele olarak gösterilen yan kenar üzerindeki takım aşınması	23
Şekil 3.11: Tipik yan kenar aşınma çizgileri.....	24
Şekil 3.12: Meyilli kesme esnasında değişik aşınma alanlarını gösteren aşınmış bir takım	25
Şekil 3.13: Aşınma mekanizmaları ve birbirleriyle olan ilişkileri	27
Şekil 3.14: Soğutma yöntemlerinin sınıflandırılması.....	28
Şekil 3.15: MMY şematik gösterimi.....	30
Şekil 3.16: Yüzey pürüzlülük gösterimi	33
Şekil 4.1: Hann Deelz Kesici Takım.....	37
Şekil 4.2: Euromex Mikroskop.	37
Şekil 4.3: Frezeleme işleminde Yüzey Pürüzlülük Ölçümü	38
Şekil 4.4: Termal Kamera	39
Şekil 4.5: Kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan talaş tipleri SEM görüntüsü.....	40
Şekil 4.6: Kriyojenik soğutma için kullanılan Lowtemp marka sıvı azot tankı.....	41
Şekil 4.7: Hibrit işleme yöntemi ile Ti6Al4V alaşımının işlenmesi	41
Şekil 4.8: Tezin organizasyon şeması	43
Şekil 5.1: İşleme yöntemlerine göre yüzey pürüzlülüğün değişimi.....	44
Şekil 5.2: İşleme parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	46
Şekil 5.3: Talaş yapısının değişimi	46
Şekil 5.4: İşleme yöntemine göre talaş yapılarının değişimi	47
Şekil 5.5: Geleneksel soğutma sıvısına göre talaş yapısı.....	48
Şekil 5.6: MQL ile işlemede talaş yapısı	48
Şekil 5.7: Talaşın arka yüzünün SEM görüntüleri	49
Şekil 5.8: Kriyojenik işleme sonrası meydana gelen talaş yapısı	50
Şekil 5.9: Kriyojenik işlemede meydana gelen testere talaş yapısı	50
Şekil 5.10: Hibrit işlemede meydana gelen talaş yapısı.....	51
Şekil 5.11: İlerleme değerlerine göre talaş kalınlığının değişimi	52
Şekil 5.12: Frezeleme yöntemine göre talaş oluşumu.....	53
Şekil 5.13: İşleme yöntemlerine göre talaşın kıvrılması ve yönlenmesinin şekilleri.....	54
Şekil 5.14: Frezeleme yönüne göre çapak oluşumu.....	55
Şekil 5.15: İşleme yöntemlerine göre çapak yüksekliği değişimi.....	56
Şekil 5.16: Soğutma yöntemlerine göre işleme esnasında sıcaklık ölçümleri	57
Şekil 5.17: Soğutma Yöntemlerinin Takım Aşınmasına Etkisi	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1: Ti6Al4V Kimyasal Bileşenleri	36
Çizelge 4.2: Deney Parametreleri	38



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Ti6Al4V ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE FARKLI SOĞUTMA TEKNİKLERİNİN İŞLEME PERFORMANSINA ETKİSİ

Eray SARIGÜL

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

66+viii sayfa

2022

Danışman: Doç. Dr. Erkan BAHÇE

Titanyum ve alaşımları, havacılık, biyomedikal ve nükleer endüstriler gibi geliştirilmiş hizmet içi performans gerektiren birçok mühendislik uygulamasında yağın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni, hafif olmaları, yüksek sıcak mukavemetleri ve sertlik ve korozyon direnci gibi özelliklere sahip olmasıdır. Bununla birlikte, bu alaşımların çoğu hala geleneksel işleme ile üretilmekte ve işlenmesi zor malzemeler olarak kabul edilmektedir. Yüksek sıcak mukavemetleri ve sertlikleri, kesici kenardaki yüksek basınç gerilmeleri nedeniyle kesici takımın plastik deformasyonuna neden olur. Titanyum alaşımlarının son derece düşük termal iletkenliği, işleme sırasında oluşan ısının dağılmasını engeller ve bu da takım-talaş arayüzünde 1000 °C'nin ötesine kolayca ulaşabilen yüksek yerel sıcaklıklara neden olur. Bu sıcaklığı azaltmak için yaygın olarak soğutma sıvıları, minimum miktar yağlayıcı (MMY) ve kriyojen gibi soğutucu/yağlayıcılar kullanılmaktadır. Ancak geleneksel soğutucular ve MMY çevreci olmamaları ve maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle alternatif soğutucu/yağlayıcılara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada frezeleme işleminde soğutma sıvısını ve MMY en az kullanılarak kriyojen destekli hibrit soğutma/yağlama sistemi önerilmiştir. Yapılan deney sonucunda hibrit işleminin takım ömrünü %25 oranında artırdığı, yüzey pürüzlülüğü üzerinde kriyojenin doğrudan kullanılmasının yararlı olmadığı görüldü. Bunun yanında hibrit işleminin yüzey kalitesi, çapak oluşumu ve sıcaklık üzerinde diğer yöntemlere göre avantajlı olduğu tespit edildi. Sonuç olarak, hibrit soğutma/yağlama stratejileri ile takım ömründeki olağanüstü gelişme, bu soğutma/yağlama tekniğinin endüstriyel olarak uygulama imkanını artırmaktadır.

Anahtar Kelime: Titanyum ve alaşımları, Hibrit işleme, Talaş yapısı

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT OF DIFFERENT COOLING TECHNIQUES ON MACHINING PERFORMANCE IN MILLING OF Ti6Al4V ALLOY

Eray SARIGÜL

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mecanical Engineering

66+viii Page

2022

Supervisor: Assoc. Dr. Erkan BAHÇE

Titanium and its alloys continue to perform excellently in many technical applications requiring superior in-service performance, such as those in the aerospace, biomedical, and nuclear sectors. This is because of their low weight, high hot strength and hardness, and improved fracture and corrosion resistance. However, the bulk of these alloys are still made using traditional machining methods and are widely known for being difficult-to-machine materials.

Because of the high compressive pressures on the cutting edge, their high hot strength and hardness promote plastic deformation of the cutting tool, resulting in premature tool failure. Titanium alloys' exceptionally poor thermal conductivity prevents heat generated during machining from being dispersed, resulting in high localised temperatures that can easily exceed 1000 °C at the tool-chip contact. Coolants/lubricants such as coolants, minimum quantity lubricant (MQL), and cryogen are routinely used to lower this temperature. However, alternative coolants/lubricants are needed because traditional coolers and MQL are not environmentally friendly and have high costs. In this study, a cryogen-assisted hybrid cooling/lubrication system is proposed by using the coolant and MQL at a minimum in the milling process. As a result of the experiment, it was seen that hybrid machining increased tool life by 25%, and direct use of cryogen on surface roughness was not beneficial. Furthermore, hybrid processing was shown to be superior to other approaches in terms of surface quality, burr development, and temperature. As a result; The remarkable improvement in tool life with hybrid cooling/lubrication strategies increases the industrial application possibilities of this cooling/lubrication technique.

Keywords: Titanium and alloy, Hybrid machining, Chip Morphology

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızlı gelişmesi ile birlikte malzemelerin kullanılabilir ürün haline getirilmesinde uygulanan yöntemler üzerindeki beklentileri artırmaktadır. Titanyum ve alaşımları eritilmesi, işlenmesi, soğuk ve sıcak şekillendirilmesi zor olmasına rağmen düşük yoğunluk, yüksek dayanım, biyouyumluluk ve korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı başta medikal olmak üzere havacılık ve uzay endüstrisi dalında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Örneğin Airbus A350-900XWB uçak yapısının %14'ü, Boeing 787'in %15'i, GF CF6 uçak motorunun %25'i titanyum alaşımlarından üretilmektedir. Önümüzdeki 20 yıl 2037 yılına kadar 37.400'den fazla yeni yolcu uçağında ihtiyaç olacağı düşünülmektedir ve Airbus şu anda 7000'den fazla siparişe sahiptir.

Titanyum ve alaşımları, takım talaş ara yüzeyinde oluşan yoğun sıcaklık artışı nedeni yaygın olarak işlenmesi zor malzeme olarak kabul edilmektedir. Sıcaklıkta aşırı artışın nedenleri şunlardır;

- 1) Titanyum talaşlı imalatta oluşan yüksek sıcaklıklarda dahi yüksek mukavemetini korur ve buna bağlı olarak yüksek kesme hızlarında dirençli bir kesme direnci sağlar.
- 2) Takım / Talaş temas alanı küçüktür ve takım ucunda yüksek yoğunluklu gerilme ve ısı oluşumuna neden olur.
- 3) Titanyum ve alaşımları, mühendislik malzemesi olarak yaygın kullanılan karbonlu çeliklere göre düşük hacimsel özgül ısıya ve zayıf termal iletkenliğe (15 W/m°C) sahiptir. Titanyum ve alaşımları işlenirken takım yüzey sıcaklığı, orta kesme hızlarında bile genellikle 1000 °C veya daha fazlasına ulaşabilmektedir. Bu yüksek sıcaklıklar, adhesiv, abrazif, yapışkan talaş gibi çeşitli takım aşınmalarını teşvik ederek düşük takım ömrüne neden olur.
- 4) Titanyum, çoğu takım malzemesi ile özellikle 500 °C üstündeki sıcaklıklarda kimyasal reaktivitesi ile bilinir. Talaş kaldırmadaki bu özellik takım malzemeleriyle alaşımlama eğilimini artırmaktadır, bunun sonucunda da talaş sıvanması, talaşın takıma kaynak olması ve takımın erken hasar görmesine neden olur. Bu nedenle uygun bir takım ömrü sağlamak

için endüstride mevcut işleme uygulamalarında kesme hızını 1 m/s (200 ft/dak) altında olmasına sınırlamak zorunda bırakmaktadır.

İş parçası malzemelerinin mekanik özellikleri, işlenebilirliği etkileyen ana faktörlerdir. Yüksek sertlik ise yüksek mukavemetli malzemeler sadece kesici takımlarda abrasif aşındırma değil aynı zamanda, yüksek kesme sıcaklığı ve kesici kenarın hareketinde meydana gelen yüksek kesme gerilmelerinden de sorumludur.

Bu alaşımın kullanıldığı yerlere bakıldığında, işlemenin ardından yüzey kalitesinin oldukça yüksek olması gerekmektedir.

Talaş kaldırma işleminde takımlar aşınır ardından aşınma takım ömrünü sonlandırana kadar devam eder. Takım ömrü; kesici kenarının işlenen malzemeyi, parçada istenilen boyut toleransları içerisinde kalması şartıyla, talaş kaldırma işlemine devam ettiği süre olarak ifade edilmektedir. Talaş kaldırma işlemi sırasında doğru takımın kullanılması, maksimum verimliliğin sağlanması açısından da önemlidir. Özellikle takım malzemesi ve kesme geometrisi seçimi önem arz etmektedir. Ancak takım doğru seçilmiş olsa bile uygun işleme koşulları sağlanamaz ise optimum takım ömrü elde etmek mümkün değildir. Bu bakımdan bu malzemelerin işlenmesinde uygun işleme şartlarının araştırılması önem arz etmektedir. Bu konuda yapılan çalışmaların bir kısmı işleme parametrelerinin optimizasyonu, kesici takımın kaplanması üzerine çalışmalara odaklanırken bir kısmı ise takım/talaş arasında oluşan ısıyı azaltmak üzerine odaklanmıştır. Çünkü kesici takımların ömrünün artırılması işleme maliyetini düşürmede etkin rol oynamıştır. Ayrıca işlemleri kuru şartlarda gerçekleştirerek arzu edilen imalat kriterlerine ulaşabilmek, işlemeyi gerçekleştirenler tarafından istenirse de bu durum işlenmesi zor malzemeler için takım ömrü ve yüzeyin kalitesini yağlayıcı ve/veya soğutucular kullanmadan mümkün gözükmemektedir. Araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda minimum miktarda yağlama (MMY), geleneksel kesme sıvısı, kuru, kriyojenik soğutma ve hibrit yağlama/soğutma sistemleri (MMY+kriyojenik) kullanılarak talaşlı imalatta performanslarının değerlendirildiği birçok çalışma bulunmaktadır.

Bu bilgilerin ışığında, yapılan çalışmada, işlenmesi zor titanyum alaşımları arasında kullanım alanı en fazla olan Ti6Al4V alaşımının frezeleme işleminde, çeşitli kesme hızları kullanılarak ortaya çıkan ısı miktarının etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Fakat işleme esnasında kesme hızının artması kesici takımların ömürlerini azalttığı, ayrıca ürün kalitesinde de düşüşe neden olduğu daha önceki çalışmalarda da tespit edilmiştir. Bu çalışmada bu olumsuzlukların giderilerek en uygun kesme şartlarının tespit edilmeye

alışılmıştır. Bu nedenle değişken kesme hızlarında çeşitli soğutucu/yağlayıcı (Kriyojenik+MMY) akışkanlar kullanılarak oluşturulan talaşlı imalat şartlarında takım ömrü ve elde edilen yüzey kalitesi değerlendirilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Yapılan bu tez çalışmasında, imalat sektörlerinde biyomedikal, kimya, uzay, havacılık vb. gibi önemli alanlarda kullanılan ve çok yüksek sıcaklıklarda iyi bir mukavemet sergileyen Ti6Al4V malzemesinin frezelenmesinde, kaplanmış takımların performansı test edilmiştir. Kullanılan kesici takımlar için performans kriteri olarak, genellikle işleme esnasında takımda meydana gelen aşınma, apak oluşumu ve ürün yüzey kalitesi incelenmiştir. Çalışmada, Ti6Al4V alaşımının iş parçası olarak seçilmesinin talaşlı imalat süreçlerinin oldukça zor olması bu alaşımın, işlenebilirliği için gerekli olan koşulların tayin edilmesini sağlamakta olup kaplanmış kesici takımlarda da kesme performansının değerlendirilmesi için iyi bir ölçüt olmasıdır. Bu sayede, Ti6Al4V alaşımının işlenmesinde, kullanılan kesici takımın sahip olması gereken niteliklerin de belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, imalatı gerçekleştirilen ürünün kalitesinin artırılması ve kullanılan takımın ömrünün uzatılması için imalat stratejilerinin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte, çalışmanın bir diğer amacı ise; Ti6Al4V alaşımının frezelenmesinde malzeme üzerinde meydana gelen apak oluşumun miktarı incelenerek soğutma yöntemlerinin kullanımı ile apak oluşumunda meydana gelen farklılıklar tayin edilmiştir. Soğutma yöntemlerinin çeşitlendirilmesinin yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini araştırarak kullanılan soğutma yönteminin optimizasyonu amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Düşük sıcaklıklarda işleme tekniği ilk olarak 19. Yüzyılda başlanmış olup, günümüzde de halen geliştirilmeye devam etmektedir. Bu dönemde termodinamiğin temellerinin ilerlemeye başlaması ile birlikte kriyojenik bilime ilk katkıda bulunan çalışmalar 1850-1900 yılları arasında yapılmıştır. Başlangıçtaki uygulamaların pratik kullanımı bulunmamaktaydı ve bu kavram sadece bilim adamlarının araştırma konularından biriydi. Çalışmalar içerisinde ilk zorluk oksijen, nitrojen, hidrojen, karbondioksit ve helyum gibi gazları sıvılaştırmak için yeterince düşük sıcaklıklara ulaşılmasıydı. Sıvılaştırma teknolojisinin gelişmesi 20. yüzyılın ilk yarısında gerçekleşmiştir. Üretim sektöründe ilk uygulaması kaynak sanayisi için oksijen üretimi üzerine yapılmıştır.

Talaşlı imalat alanında kriyojenin ilk uygulaması 1953 yılında CO₂ kullanarak gerçekleştirilmiştir. 1961 yılında Hollis, titanyum alaşımlarının işlenmesinde CO₂ kullanarak karbür takımların ömrünü arttırdığını ifade etmiştir [1]. 1960'lı yıllarda Grumman uçak fabrikasındaki araştırmacılar titanyumun işlenmesinde talaş kaldırma oranını arttırdığını belirtmişlerdir [2]. Uehara ve Kumagai 1970 yılında titanyum alaşımı, karbon ve paslanmaz çeliğin soğutularak işlenmesini incelemişlerdir. Deney sonucunda farklı metallere karşı farklı davranış gösterdiğini ve bunun sonucunda da takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerinde farklı etkilerin olduğunu belirlemişlerdir [3].

Endüstride kriyojenik soğutucu akışkanların birçok çeşidi olmasına rağmen talaşlı imalatta CO₂ ve LN₂ yaygın olarak tercih edilmektedir. Talaşlı imalat alanında kriyojenik soğutma yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı araştırma konularına odaklanıldığı görülmektedir. Bunlar kriyojenin kesici takımın içinden ve dışından uygulanması, kriyojenin basıncı ve işleme parametreleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi, kriyojenin takım iş parçası üzerindeki etkileri ve son olarak kriyojenik soğutma yönteminin diğer soğutma yöntemlerine göre sağladıkları üstünlüklerin belirlenebilmesi üzerinedir [4].

Kriyojenin basıncı ve işleme parametreleri ile ilişkisini incelendiğinde Mandal vd. TiN kaplı karbür takım ile kriyojenik işleme görmüş alüminyum alaşımının frezelemesinde,

kesici takım iş parçasından üç farklı açıdan (30°, 60°, 90°) çıkışı, üç farklı ilerleme ve kesme hızı ile deney yaparak çapak üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. En düşük ilerleme, en yüksek hız ve en düşük çıkış açısından çapağın en düşük boyutlarda kaldığını ölçmüşlerdir [5]. Hashimura vd. çapak oluşumu üzerinde kesme koşullarının, takım geometrisinin, talaş kaldırılan malzemenin mekanik özellikleri ve geometrisinin etkili olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca gevrek malzemeler için çapak oluşumunu sistematik bir şekilde adım adım açıklamışlardır [6]. Huang vd., kriyojenik işlemenin (LN₂), frezelemede titreşime ve kesme kuvvetlerine etkisini araştırmışlardır. Deneyi Al7075-T6 alaşımında farklı hız ve pasolarda ve 10.000 dev/dak 'nın üzerinde kesme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Deney sonucunda kriyojenik soğutmanın talaşın tahliyesini kolaylaştırdığını, kesme kuvvetlerini azalttığını ancak radyal kuvvetin artmasına neden olduğunu belirlemişlerdir [7]. Kaynak vd., ise çalışmalarında tornalamada havacılık ve savunma sanayide yaygın olarak kullanılan 15-5 PH paslanmaz çelik malzemeyi kuru, kesme sıvısı ve kriyojenik soğutma (CO₂) yöntemlerini kullanarak farklı kesme hızlarında (30, 60, 120, 240 m/dk), sabit paso (1.2mm) ve ilerleme (0.12 mm/dev) değerlerinde işlemişlerdir. Yapılan deneylerde düşük kesme hızı (30m/dak) değerinde kriyojenik soğutma uygulandığında mikro sertlik değerinin arttığı, kuru ve kesme sıvısı yöntemlerinde ise kesme bölgesinde meydana gelen yüksek ısı nedeniyle azaldığı görülmüş, yüksek kesme hızlarında (240 m/dak) ise her üç kesme koşulunda mikrosertlik değerinde azalma meydana geldiğini görmüşlerdir [8]. Jamil vd. ise Ti6Al4V alaşımının tornalamasında, nano akışkanlar ve kriyojenik soğutmanın etkilerini araştırmışlardır. Taguchi modeline göre deneyi dizayn ederek, farklı hız, farklı ilerleme ve soğutma tekniklerini değişken olarak kullanmışlardır. Deney sonucunda nano akışkanların yüzey pürüzlülüğünü kriyojenik soğutma ile karşılaştırıldığında %8.72, kesme gücünü %11.8, azalttığını, takım ömrünü %23 arttırdığını fakat kriyojenik işlemede kesme hızının ve ilerlemenin düşük ve yüksek değerlerinde kesme sıcaklığının nano akışkanlara göre %11.2 daha düşük olduğunu belirlemişlerdir [9]. Diğer bir çalışmada ise Bermingham vd. Ti6Al4V malzemesinin tornalamasında kesme parametrelerinin ve kriyojenik soğutucunun konumunun takımın uç kenar/yan kenar aşınmasına talaş morfolojisine etkilerini araştırmışlardır. 100 bar basınç altında yapılan tornalama işleminde takım/talaş temas mesafesi azalarak kısa ve ince talaşların oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kriyojen konumunun değiştirmesinin önemli bir etkisinin olmadığını gözlemlenmiştir [10]. Huang vd.'nin yaptığı araştırmalarda kriyojenik işlemenin frezelemede titreşime etkisini araştırmış ve geleneksel yöntem ile de karşılaştırmasını yapmıştır. Deneyde Al-7075 alaşımını kullanmışlar ve kriyojen ile

işlemenin takımın belirlenen limitlerde titreşim frekansında kaldığını geleneksel yöntemlere göre %50-%100 arasında kararlı talaş kaldırma işleminin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kriyojenin kesme bölgesine basınç ile birlikte doğru yerden uygulanması kesme kuvvetlerini ve talaşın tahliyesini etkilediğini ifade etmişlerdir [11]. Son olarak yapılan bir diğer çalışmada Ahmed vd. Ti6Al4V alaşımlı malzemenin üç farklı kesme hızı ve ilerleme hızı ile sabit bir derinlikte delinmesi sırasında kriyojenik soğutmanın etkilerini incelemişlerdir. Kriyojenik soğutma (LN₂), geleneksel soğutma yöntemine kıyasla kesme sıcaklığını yaklaşık %28-%61 arasında azalttığını belirlemişlerdir. Ayrıca kesme sıcaklıklarının kriyojenik soğutma yöntemiyle düşmesinden dolayı takım aşınmasında da iyileşmeler gözlemlenmiştir [12].

Diğer bir grup araştırmacı ise kriyojenin diğer soğutucu ve yağlayıcı yöntemlere göre ergonomisinin ve çevreci etkilerini araştırmışlardır. Uzun vd. çalışmalarında Inconel 718 malzemesinin frezelemesinde minimum miktar yağlama ve kriyojenin birlikte uygulanmasının kesme performansına etkilerini incelemişlerdir. Kriyojenin takım aşınmasını artırdığını ancak yüzey kalitesini iyileştirdiğini çapak oluşumunu azalttığını tespit etmişlerdir. Bunun yanında minimum miktar yağlamanın da takım aşınmasını azalttığını, kriyojen gibi yüzey kalitesini iyileştirdiği ve pürüzlülüğü ise azalttığını ifade etmişlerdir [13]. Shokrani vd. karbür kaplanmış takım ile Ti6Al4V alaşımının frezelemesinde kriyojenik ve MMY yağlayıcıdan oluşan yeni bir yöntem önermişlerdir. Ti6Al4V alaşımının değişik kesme hızlarında işlenmesinde kriyojen, MMY ve soğutma sıvılarının etkilerini araştırdıktan sonra hibrit işlemin etkilerine bakılmıştır. Deney sonuçlarında ise , takım ömrü, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ele alınarak incelenmiştir. MMY ve hibrit işleminin (LN₂+MMY) takım ömrünü soğutma sıvılarına göre 30 kat artırdığını belirlemişlerdir. Aynı zamanda hibrit işlemede ise yüzey pürüzlülüğü MMY'e göre 0.2mm daha fazla çıkmıştır [14]. Bir diğer çalışmada ise Rotella vd. Ti6Al4V malzemesinin kuru, minimum miktarda yağlama ve kriyojenik soğutma ile işleminin yüzeye, faz yapısına, mikro sertliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini inceleyerek, farklı devir ve ilerleme değerlerinde yapmış oldukları deney sonucuna göre yüzey pürüzlülüğünde en iyi sonuçları kriyojenik işlemede elde etmişlerdir. Ayrıca kriyojenik işlemede yüzey sertliği diğer yöntemlere göre daha yüksek çıkmıştır ve çatlak oluşumunun da az olduğunu belirtmişlerdir [15]. Hegab vd. ise Ti6Al4V'un işlenmesinde bitkisel yağ içerisine yedirilmiş çoklu karbon nano tüplerin, takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyde farklı hız ilerleme ve farklı nano-sıvı konsantrasyonu

kullanmışlardır. Deney sonucunda nano akışkanın %2 arasında kullanılması kuru işlemeye göre enerji tüketimini %11.5 oranında takım yan kenar aşınmasını ise %45 oranında azalttığını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda aynı zamanda deney sonuçlarına göre matematiksel bir model geliştirmişlerdir [16]. Yıldırım vd. yapmış oldukları çalışmalarda Ni-625 alaşımının işlenebilirliğini kolaylaştırmak için MMY, sıvı azot kriyojenik soğutma ve hibrit işlemenin yüzey pürüzlülüğüne, kesme sıcaklığına, takım aşınmasına ve talaş morfolojisine etkilerini araştırmış ve tek ilerleme (0.12 mm/dev), tek paso (0.5mm) ve üç farklı kesme hızı (50, 75 ve 100 m/dak) kullanmışlardır. Deney sonucunda hibrit işlemede yüzey pürüzlülüğü kriyojenik soğutmaya göre %24.82 daha iyi sonuçlar elde edilmiş, kriyojenik işlemeye göre, MMY takım aşınmasını %50.67, hibrit işleme ise %79.60 oranında azaltmıştır [17]. Park vd. ise araştırmalarında Ti6Al4V malzemesini kuru, soğutma sıvılı, MMY, kriyojenik ve MMY/Kriyojenik işlemenin etkilerini karşılaştırmalı olarak kesme gücüne, takım aşınmasına, mikrosertliğe ve talaş morfolojisine etkilerini araştırmışlardır. Deney sonucunda yüksek kesme hızlarında soğutma sıvısı kullanılmasında aşınma mekanizmasının hızlı gerçekleştiğini ve takımın kırılmasıyla sonuçlandığını belirtmişlerdir. Kriyojenik ile MMY kesme gücü ve takım aşınmasında benzer özellik gösterdiğini ancak Kriyojenik/MMY hibrit işlemenin daha verimli sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. MMY kullanılan işlemlerde yoğun yüksek sıcaklıklarda buharlaştığını takım/iş parçası arasındaki sürtünmeyi en aza indirmede önemli rol oynamıştır [18].

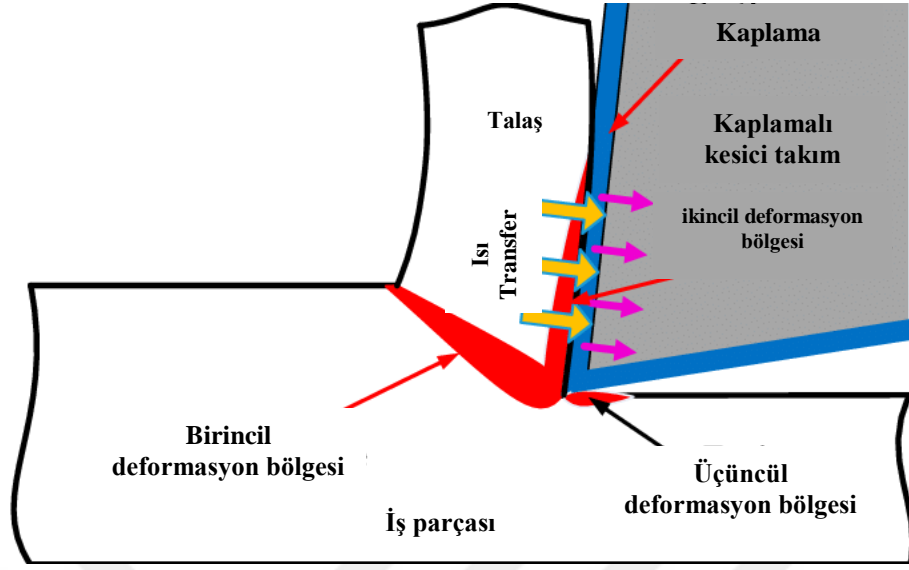
Son olarak bir grup araştırmacı ise kriyojenin talaş kaldırma yöntemleri ve takım – iş parçası çifti üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sekmen vd. ise alüminyum alaşımlarının frezelemede çıkış çapakları üzerinde takımın aşınması, iş parçasının sertliği, ilerleme ve kesme hızının önemli olduğunu belirtmişlerdir [19]. Shokrani vd yapmış olduğu araştırmalarda Ti6Al4V alaşımının frezelemede kriyojenik soğutmanın farklı geometrik takımlar kullanılması durumunda, takım aşınması, talaş kaldırma hacmi gibi parametreleri dikkate alarak işleme performansına etkilerini incelemişlerdir. Kriyojenik soğutma için talaş açısı 14° , boşluk açısı için ise 10° olan geometrinin en uygun geometri olduğunu belirlemişlerdir. Yapmış oldukları analiz sonucunda 110 m/dak kesme hızında, takım ömrü %83 arttırarak 91 dakikalık en uzun takım ömrünü elde etmişlerdir. Yeni kesici takım tasarımı ile kriyojenik soğutmanın Ti6Al4V alaşımının işlenmesinin verimlilik açısından önemli etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir [20]. Ampara Aramcharoen, çalışmasında işlenmesi zor titanyum alaşımlarının yüksek hızlarda tornalanmasında, kriyojenik soğutmanın (LN_2) takım aşınması ve talaş oluşumu üzerindeki etkilerini araştırarak

nozullar yardımı ile işleme yapılan bölgeye püskürtülmesi sağlanmıştır. Araştırmalar sonucunda yağ bazlı soğutucuya kıyasla geliştirilmiş kriyojenik soğutma sistemi kullanıldığında takım aşınma direncinin arttığını ve talaş morfolojisi üzerine yapılan çalışmalarda farklı talaş oluşumları görülmüş olup kriyojenik işleme tabii tutulan alaşımda daha kalın talaşların meydana geldiğini gözlemlemiştir [21].

Fernandez vd., [22] frezelemede takım tutucu üzerinden kriyojenik soğutma sistemi geliştirmişlerdir. Kriyojenik soğutucu malzemenin faz yapısını etkilememesi için takımın kesme ağızına optimum olacak şekilde göndermeyi amaçlamışlardır. Deneyi, Inconel Gama EAB çeliği üzerinde soğutucu olarak CO₂ kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda deney de farklı hız, ilerleme ve paso derinlerinde gerçekleştirerek gelenekse soğutma sıvışı ile de karşılaştırmasını yapmışlardır. Deney sonucunda bu yöntemin çevreci olmayan soğutma sıvılarına alternatif çevreci bir yöntem olacağını belirlemişlerdir. Takım aşınmalarında ise Inconel 718 in işlenmesinde büyük bir fakın oluşmadığını, ancak Gamma TiAl alaşımında % 100 ve grade EA1N çeliğinde takım ömrünün %175 artırdığını ölçmüşlerdir.

2.1 Araştırma Konusu ve Önemi

Titanyum ve alaşımları gibi yüksek sertlikteki malzemelerin işlenmesi genellikle düşük yüzey kalitesi, düşük verimlilik ve kısa takım ömrü sağlar. Bu tür malzemelerin frezelenmesinde yüksek sıcaklıklar meydana gelir. Şekil 2.1'de metal kesme işleminde meydana gelen büyük ısı bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Kesme Bölgesinde Meydana Gelen Isının Gösterimi

İşlem süresinde önemli ısı oluşum bölgeleri birincil, ikincil ve üçüncül deformasyon bölgeleridir. Talaşın oluşması için uygulanan enerjinin ilk ısının oluşum kaynağıdır. Takım ve talaş ara yüzeyinde meydana gelen sürtünmeyi yenmek için gerekli olan enerji sonraki ısı üretimine neden olur. Takım yan yüzeyinin iş parçası yüzeyi ile sürtünmesinin üstesinden gelmek için gereken enerji üçüncül ısı bölgesinin kaynağıdır.

İşleme sırasında ısı enerjisinin üretilmesi yüksek sıcaklıklara neden olur. Bunun sonucu olarak;

- 1- İşlenen parçada boyutsal değişikliklere neden olur, bu da boyutsal doğruluğun kontrol edilmesini zorlaştırır.
- 2- Kesici takımın ısınma direncini, mukavemetini ve sertliğini etkiler.
- 3- Takım tezgahında titreşime, dalgalanmalara, çatlamalara neden olur.
- 4- İş parçasına termal olarak zarar verir ve kullanım ömrünü ve özelliklerini etkiler.

Daha yüksek sıcaklıklar işleme sırasında, takımın alaşımli olması ve difüzyondan dolayı takımın özelliklerini etkilemektedir. Ayrıca iş parçası üzerindeki yüzey kusurlarını, termal stresi, korozyonu ve oksidasyonu etkiler. Kesici takım / talaş temas bölgesindeki difüzyon, krater aşınması oluşumunun temel nedenidir. Mazurkiewicz vd. talaşlı imalatta takımın kesme sıcaklığının, boyutsal doğrulukla ve işlenmiş parçanın temel distorsiyonunda ve kesici takımın ömründe önemli bir rol oynadığı ifade etmişlerdir [22].

İş malzemesindeki kesme sıcaklığı mekanik özelliklerden özellikle sertlik ve çekme mukavemetini büyük ölçüde etkiler. Standart bir kural olarak talaş oluşumu için büyük bir miktarda enerjiye ihtiyaç duyulması nedeniyle önemli miktarda enerji üretilir. Enerji üretiminde kesme sıcaklığında artışa neden olur. İş parçasının temel özellikleri de sıcaklıktaki artışı etkiler. Sıcaklıktaki artış iş parçasının temel iletkenliği ile ters orantılıdır.

Talaş kaldırmada, sıcaklık artışı kesme sıvısı, kesme hızı, paso ve ilerleme hızına da bağlıdır. Bu faktörler arasında kesme hızı birincil etkiye sahiptir.

İşleme esnasında kesme sıvıları ve soğutma sıvılarının kullanılması işlenebilirliği iyileştirmek için geleneksel bir uygulamadır. Kesme bölgesinden daha yüksek sıcaklığın uzaklaştırılması için kullanılır ve ayrıca temas ara yüzelerindeki sürtünmeyi azaltır. Metal kesme sıvısı soğutucu ile birlikte yağlayıcı görevi görür. Kesme sıvısının bir işlevi de ısıyı aktarmak, takımın temas noktasında ve çevresindeki alanda sıcaklık oluşumunu ve ısı birikimini önlemektir.

Dışa doğru giden talaşlar, takım ile iş parçası arasında zorlanmadan soğutma sıvısı ile hızlıca uzaklaştırılır. Kesme hızındaki artış kesme sıvılarının takım sıcaklığını düşürmedeki etkinliğini azaltır. Soğutma sıvıları talaşların arkasına yönlendirildiğinde yüksek hızlarda daha etkin olmaktadır.

Isı oluşumunda diğer bir faktörde, takım / talaş temas alanı için belirleyici bir faktör olan ve buna bağlı güç tüketimini etkileyen takım geometrisidir. Negatif talaş açısına sahip bir kesici takım, temas bölgesindeki artışa neden olduğu için daha yüksek miktarda enerji gerektirmektedir. Kesici uçtaki ısı akışını da büyük oranda etkilemektedir. Aynı kesme derinliği, hızı ve ilerleme değerlerinde takım yaklaşma açısındaki artış sıcaklıkta artışa neden olmaktadır. Takım uç yarıçapı, toplam ısı dağılımı ve ısı üretimi üzerinde etkiye sahiptir. Daha büyük bir köşe radyüsü sıcaklığı arttırır ancak aynı zamanda ısı transferini de arttırmaktadır.

Talaş kaldırmada, F_x ilerleme kuvveti, F_y normal kuvveti ve F_z kesme güçleri sırası ile x,y,z eksenlerinde meydana gelir. Bu kuvvetler daha yüksek olduğunda, parmak frezenin eğilmesine veya hasar görmesine neden olur. Bu malzemenin gücüne, hıza, ilerleme ve soğutma sıvılarına, kesici çapına, uzunluğuna ve takım geometrisine bağlıdır. Bu nedenle parmak freze üzerindeki kesme kuvvetlerinin hesabının karmaşık olmasına neden olur. Metal kesme işlemlerini etkileyen başlıca faktörler kesme kuvvetleri, sıcaklık ve

sürtünmedir. Bu faktörlerin artması takımın sertliğinin azalmasına neden olur. Bu durum kesici takıma zarar verir ve istenilen kesme performansı elde edilemez.

Sonuçta artan güç gereksinimi, boyutsal hataya ve zayıf yüzey kalitesine neden olur. Bu nedenle kayma yüzeylerinde olan sürtünmenin, kesme kuvvetinin ve sıcaklığın azalmasına özen gösterilmelidir.

2.2 Araştırma Konusunun Önemi

İşleme sırasında yüksek sıcaklık, parçada boyutsal hataya ve kesici takımların hızlı aşınmasına neden olur. Bu aşırı sıcaklık yüzeyde ve altında mikro çatlaklara, hızlı korozyona, oksidasyona ve artık gerilmelere neden olarak iş parçasının bütünlüğüne zarar verir. Genel olarak bu etkiler soğutma sıvıları kullanılarak kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Soğutma sıvıları, soğutma sıvısının yüksek sıcaklıkta kimyasal olarak parçalanması / ayrışması sonucunda kullanılamaz hale gelir. Bunun bertaraf edilmesinde ise toprak, su kirliliği gibi çevresel sorunlara neden olur. Çevre ve sağlık sorunlarının yanında koku, duman ve bakteri gibi istenmeyen sorunlar ortaya çıkar. Ayrıca bu sorunların ortaya çıkmaması için pompa, depolama, devir daim gibi ek sistemlere ihtiyaç duyulur. Birçok araştırmacı, metal kesme işlemini gerçekleştirmek için kriyojenik (CO₂) kullanmış ve daha düşük takım aşınması, kesme sıcaklığı, daha iyi yüzey kalitesi ve daha düşük kesme kuvvetlerinin elde edildiği belirtilmiştir [23]. Kriyojenik işleme çeliklerin işlenmesinde LN₂ kullanılarak erken dönemde uygulanmıştır. Titanyum gibi işlemesi zor bir malzemede soğutma sıvısı olarak LN₂ kullanılarak kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, takım aşınması ve yüzey kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Shokran vd. sınırlı kriyojenik frezelemede yapmışlardır [24]. Javahir vd. kriyojenik işlemin sürdürülebilir üretim için kullanılabileceğini vurgulamışlardır [25].

Bu çalışmada kuru, soğutma sıvısı, nano yağlayıcı ve kriyojenik talaş kaldırma performansları analiz edildi. Daha sonrasında hibrit işleme ile minimum miktarda yağ, soğutma sıvısı ve kriyojen ile işlemeye etkisi araştırıldı.

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Talaş Kaldırma Prosesi


















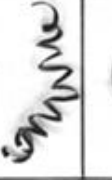

Talaşlı imalat, metal malzemelerde en sık uygulanan imalat çeşidi olup malzemenin yüzeyinden geleneksel işleme yöntemleri ile malzemelere istenilen geometrinin verilmesini amaçlamaktadır. Talaşlı imalatta malzemenin hedeflenen son geometrisinin oluşması için uygulanan işleme yöntemine göre seçilmiş kesici takımlar ile parçanın yüzeyinin işlenmesi esnasında talaş, şeklinde parça kaldırılmaktadır. İşleme sırasında meydana gelen talaşlar; kırık talaş, sürekli talaş, ağız birikintili (BUE) sürekli talaş ve testere ağzı talaş olmak üzere dört ana talaş tipi olarak sınıflandırılır [26].

Kırık talaş, yüksek sertlikte veya düşük kesme hızları ile işlenen yumuşak malzemelerde ilerlemenin ve kesme derinliği fazla olduğu uygulamalarda meydana gelir. Bu tür işlemlerde genellikle kesme bölgesinde meydana gelen sürtünme artarak kesici takım ve talaş arasında kırık talaş oluşur. Bu talaş tipi yüksek sertlikteki malzemelerde yüzey kalitesini artırırken, yumuşak malzemelerde yüzey kalitesini düşürerek, takımın ömrünün azalmasına da neden olur [26]. Sürekli talaş, genellikle kesici takımın bağlandığı bölgeye sarılmış şeklinde olup, kesme hızının yüksek, ilerleme ve pasoların ise düşük olarak işlendiği yumuşak malzemelerde oluşur. Sürekli talaş tipinin yumuşak malzemelerin işlenmesinde oluşması, işleme esnasında yüzeyin kalitesini önemli ölçüde arttırmaktadır [27]. Ancak sürekli talaş, kesici takıma sarıldığı zaman tezgâh üzerinde tahribatlara ve takım aşınmasının artmasına neden olabilir ve işlenen malzemeye sarılması durumunda ise malzemenin yüzey kalitesini olumsuz etkileyebilir.

Ağız birikintili BUE sürekli talaş, yumuşak malzemelerin işlenmesi esnasında kesme hızlarının düşük veya orta olarak uygulandığı işlemlerde kesici takım ile talaş arasında oluşan sürtünmeye bağlı olarak işlenen malzemenin belirli bir kısmının kesilen kenara yakın olan bölgede oluşan talaşın üzerine yapışmasına neden olur. Bu oluşum BUE sürekli talaş olarak adlandırılmaktadır. BUE sürekli talaş oluşumu seçilen işleme parametrelerine bağlı olarak belirli aralıklarda devam eder belirli bir büyüme sonrası kopar [28]. Genellikle BUE sürekli talaş oluşumu talaş ile kesme bölgesinden uzaklaştırılırken, kimi zaman kesici takımın belirli bir kısmının da takım aşınmasına neden olur. Bu nedenle takım ömrü

kısalırken, talaş ile uzaklaştırılamayan ağız birikintisi talaşları ise işlenmiş yüzey üzerine tutunarak yüzey kalitesini olumsuz olarak etkiler.

Testere ağzı talaş tipi ise testere dişi görünümüne sahip, yarı sürekli talaşlar olup bu talaş tiplerinde kayma gerilmesinin yüksek birim şekil değişiminden sonra düşük kayma birim şekil değişiminin periyodik olarak etkimesiyle meydana gelir. Testere ağzı talaş tipi, genellikle işlemesi zor, yüksek sertlik ve dayanıma sahip olan titanyum alaşımları, kobalt alaşımları, östenitik paslanmaz çelikler ve nikel esaslı süper alaşımlar gibi metallerin yüksek hızlarda işlenmesinde ortaya çıkar. Genel olarak talaşlı imalatta meydana gelen talaş tipleri Şekil 3.1 'de verilmiştir.

1	2	3	4	5	6	7	8
Şerit talaş	Helizon tipi talaş	Vida tipi talaş	Helisel talaş	Spiral talaş	C tipi talaş	Ufalanmış talaş	İğne tipi talaş
							
Kısa	Kısa	Kısa	Kısa	Düz	Düzensiz		
							
Uzun	Uzun	Uzun	Uzun	Konik			
							

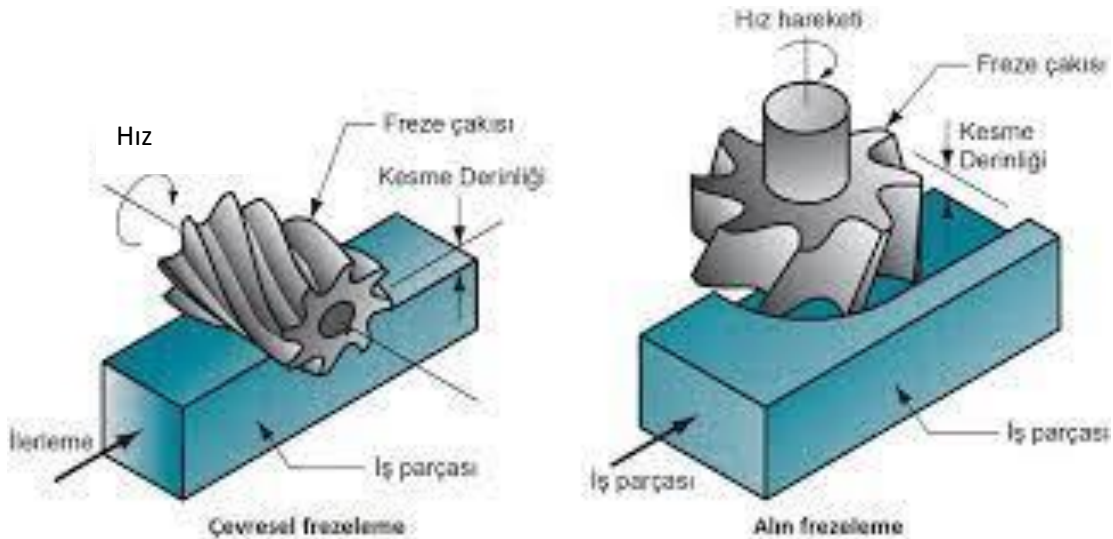
Şekil 3.1: Talaşlı imalatta meydana gelen talaş tipleri

3.2 Frezeleme İşlemi

Frezeleme işlemi, kesici takımın eksenine etrafında dönmesine karşın, iş parçasının ilerlemesi ile oluşan talaş kaldırma işlemidir. Bu işleme yönteminde, üzerinde çeşitli kesici uçları bulunan takımın kendi eksenine etrafında dönmesi ile iş parçasının bağlı olduğu tablanın x, y

ve z eksenleri yönlerinde hareket ederek iş parçaları üzerinden talaş kaldırılır. Frezeleme ile talaş kaldırma işleminin diğer talaşlı imalat yöntemlerinden en belirgin farkı aynı anda birden fazla kesici ağızla talaş kaldırılmasıdır. Bu farklılık frezelemenin diğer yöntemlere kıyasla verimliliğinin arttırmakta olup bu nedenle yaygın olarak tercih edilmesinin temel faktördür. Frezeleme yönteminde işlenecek olan malzemede yapılacak talaşlı imalatın şekline, biçimine ve kullanılan kesici takımın çeşidine göre, çevresel frezeleme ve alın frezeleme olarak genellikle iki grupta sınıflandırılmaktadır. Alın ve çevresel frezeleme yöntemleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Alın frezeleme yönteminde ise genellikle silindirik bir geometride veya takma uçlu freze çakısı ile işleme ile işlenen malzemenin üzerinden talaş kaldırma işlemidir. Alın frezeleme işleminde takımın dönme eksenini işlenen malzemenin işleme yüzeyleri birbirine diktir. Silindirik geometrideki freze ucu ile talaş kaldırması esnasında takımın alın ve yan kenarlarındaki kesici ağızlar yardımı ile sağlar. Bu freze uçlarında birbirine dik olan iki kesici kenar eş zamanlı olarak kesme işlemini gerçekleştirmekte olup genellikle yüksek kalite çeliğinden imal edilirler. Ayrıca sert maden takma uçların silindirik tutucu şaftın etrafına takılarak da imal edilen tipleri vardır. Bu takma kesici uçlarda ise üzerindeki birden fazla sert maden uç ile talaş kaldırma işlemini gerçekleştirir. Sert maden kesici uçlar kesici takım şaftına mekanik olarak vidayla tutturulur.



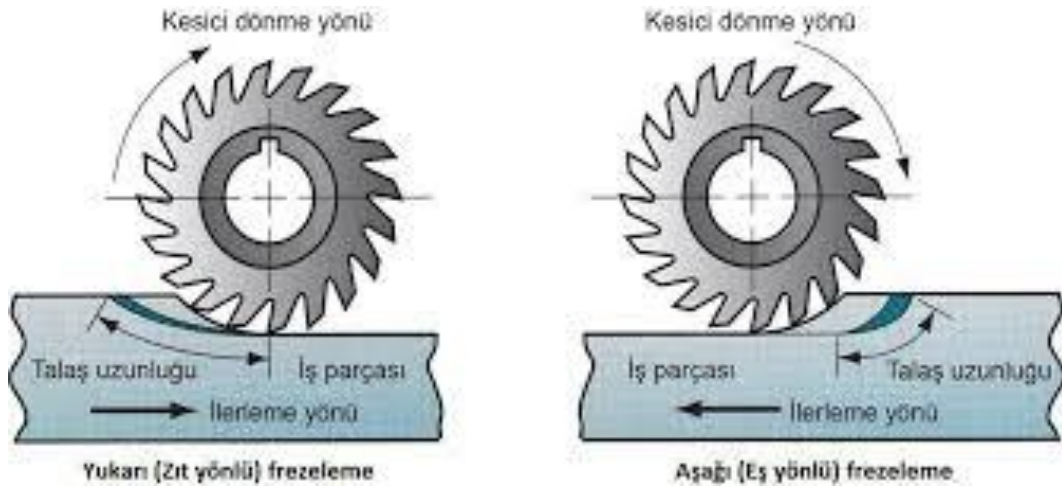
Şekil 3.2: Çevresel frezeleme ve alın frezeleme parametrelerinin gösterimi [27]

Talaş kaldırma işleminde çevresel frezeleme yöntemi ise silindirik freze ucu ile talaş kaldırma işlemidir. İş miline uzun malafalar vasıtasıyla kesici takım bağlanarak dönme eksenini talaş kaldırma yüzeyine paralel olacak şekilde konumlandırılır. Çevresel frezeleme yöntemi, takımın dönme hareketi ile etrafında bulunan kesici ağızlar yardımı ile

gerçekleştiği frezeleme yöntemi olarak adlandırılır. Çevresel frezeleme yönteminde talaş boyutu sürekli değişmekte olup, frezenin dönüş hızına ve tablanın ilerleme yönüne göre, iki şekilde talaş kaldırılabilir. Bu yöntemler eş yönlü ve zıt yönlü frezeleme yöntemleridir. Bu yöntemler Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

Eş yönlü frezeleme işleminde, işlenen malzemenin ilerlemesi kesici takımın dönüşü ile aynı doğrultudadır. İşlenen malzemenin kesici dişlerin kaldıracağı, belirli miktarda talaşa üstten girerek fazla talaştan az talaşa doğru bir kesme işlemi yapar. Bu işlem sırasında dişler, talaşı üstten kavradığı için, işlenen malzemenin bağlı olduğu tablaya (mengene, masa, bağlama kalıbı vb.) doğru baskı yapması nedeni ile malzemenin bağlı olduğu tabladan sökülmesini engellemektedir. Normal ilerleme ile işleme yapılırken, dişlerin kaldıracağı, bir devirdeki miktar belli olup, bu miktarı dişler, işlenen malzeme yüzeyinde, en yüksek değerden, işlenmiş yüzeyde hiç olmayacak, yani sıfır olacak biçimde kaldırır. Kesici takım, faz talaştan az talaşa doğru ilerlerken ilk başta bağlı olduğu mili oynatmaya çalışırsa da talaş azalarak bittiğinden ve titreşim miktarının azalmasında dolayı düzgün olarak dönen kesici takım yüzey kalitesini artırır.

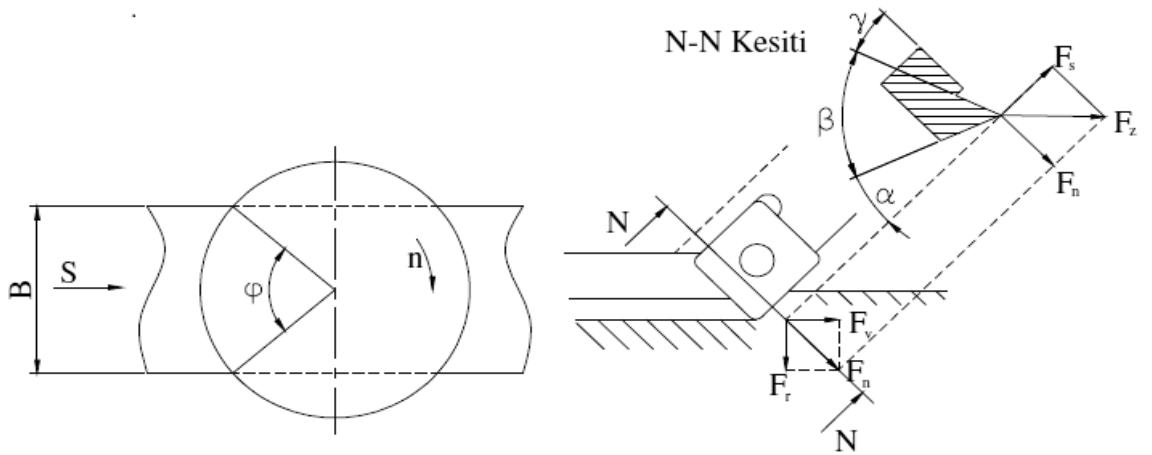
Zıt yönlü frezelemede işlenen malzemenin ilerlemesi, kesici takımın dönme yönüne zıt yönde olduğu zaman yapılan frezeleme işlemidir. Burada takım, işlenen malzemenin tabladan yukarıya doğru kaldırmaya ve boyuna doğru itmeye çalışır. Kesme işlemi esnasında, talaş kalınlığı parçanın üst yüzeyine doğru, düzgün olarak artacağından, kesici takımda bir zorlanma meydana gelir. Dolayısı ile işlenen malzemenin yüzey kalitesini olumsuz olarak etkiler. İşlenen malzemenin bağlı olduğu aparattan yukarıya zorlanması, yavaş ve emniyetli olarak sıkılmasını gerektirir.



Şekil 3.3: Eş yönlü frezeleme ve zıt yönlü frezeleme parametrelerinin gösterimi [27]

Frezeleme işlemi ile işlemede kesme bölgesinde oluşanın ısı ve sürtünmenin azaltılması için kullanılan kesme sıvıları birbirinden farklı özelliklerde olması gerekmektedir. Özellikle talaş kaldırma ile işleme yönteminde, kullanılan kesme sıvıları yüksek basınç ve işleme hızlarında çalışmaktadır. Bu nedenle seçilen kesme sıvısının optimizasyonu önemlidir.

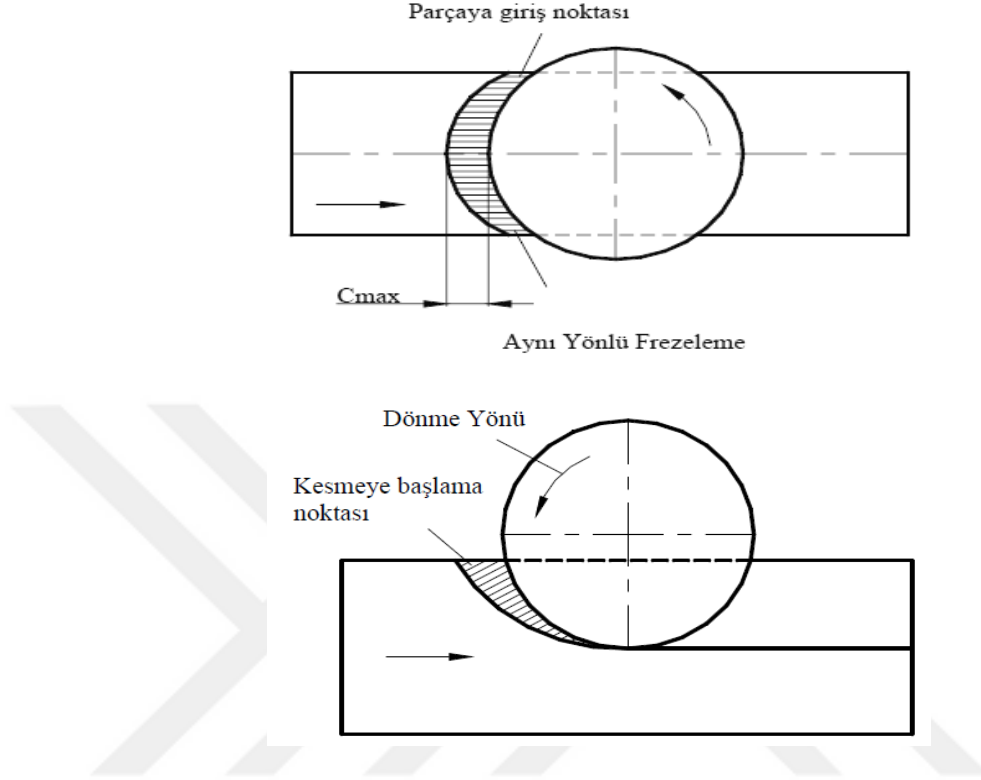
Talaş kaldırma ile işleme esnasında yaşanan bir diğer sorun ise kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıktır. Özellikle işlenen malzeme üzerinde kesme bölgesinin aşırı ısınmasına rağmen diğer bölgelerin soğuk olması malzeme yüzeyinde kalıntı gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum talaş kaldırma işleminde işleme kalitesinin düşmesine sebep olduğundan dolayı kullanılan kesme sıvılarının yağlayıcı özelliğinin yanında çok iyi soğutma sağlamaları gerekir. Alın frezelemede kesici takımın dönme eksenini doğrultusunda işlenen yüzeye dik olacak şekilde talaş kaldırma gerçekleştirilir. Bu gerçekleştirilen talaş kaldırma işleminde oluşan kuvvetler ve açılar Şekil 3.4’de belirtilmiştir. Buradaki kesme işleminin büyük bir kısmı çevredeki dişlerin yan yüzeyleri ile yapılır. Alın yüzeydeki dişler ise ince talaş kaldırarak temizleme etkisi sağlarlar. Oluşan talaşın şekli virgülden çok paralel kenara benzeyen bir geometriye sahiptir. Alın frezeleme işlenen yüzeyin eksenini ve takımın yatay ekseninin çakışıp çakışmama durumuna göre asimetrik ve simetrik olarak ikiye ayrılır. Bu iki frezeleme yöntemi Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Simetrik alın frezelemede freze takım eksenini ile iş parçasının ilerleme doğrultusundaki eksen çakışmıştır.



Şekil 3.4: Alın frezelemede açılar ve oluşan kuvvetler [27]

Eğer bu eksenler çakışmıyorsa asimetrik frezeleme gerçekleşir. Simetrik frezelemede takım çapı (D) ile işlenen yüzeyin genişliği (B) eşit ise buna tam kavramalı, takım çapı işlenen yüzeyin genişliğinden büyük ise kısmi kavramalı simetrik frezeleme yapılmış olur.

Tam kavramalı frezelemede parçanın yarısı eş yönlü, diğer yarısı zıt yönlü olmak üzere iki türlü frezeleme de aynı anda meydana gelir. Talaş kalınlığının maksimum değerden minimum değere düştüğü bölgede eş yönlü frezeleme yapılmış olur.



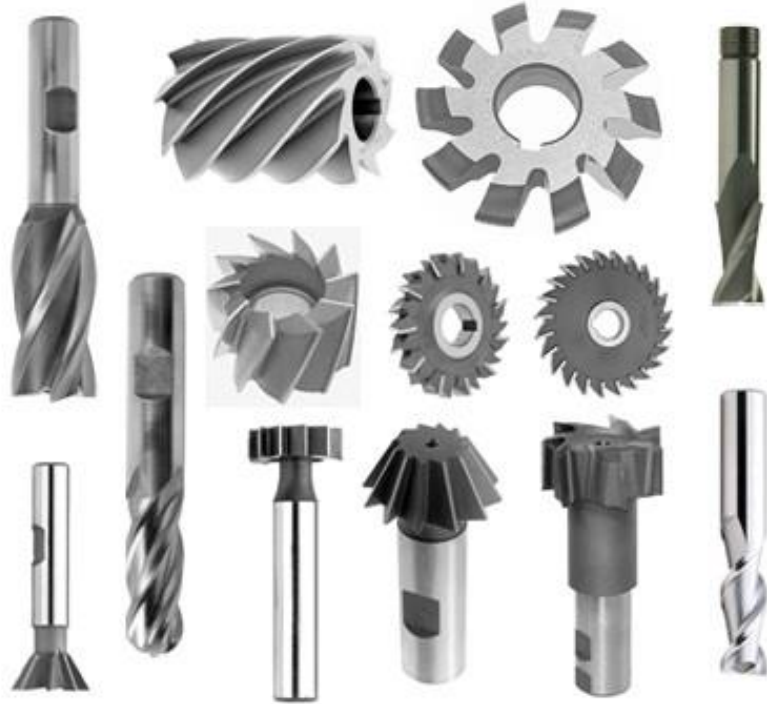
Şekil 3.5: Asimetrik-Simetrik alın frezeleme [27].

3.2.1 Frezelemede kullanılan kesici takımlar

Frezeleme işleminde kullanılan kesici takımlar, işlenen malzeme yüzeyine temas ettirilerek iş parçasından bit miktar talaş kaldırılır. İşlemin uygulanabilmesi için kesici takım, etrafında döndürülürken iş parçası ise doğrusal olarak hareket etmektedir. Dolayısı ile kesici takım ve iş parçasının hareketli olması işleme verimliliğinin artırılması için iş parçası ile kesici takım arasındaki ilişkinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Endüstride frezeleme işlemlerinde genellikle HSS hız ve sert metal uçlu kesici takımlar kullanılmaktadır. Torna tezgâhlarında kullanılan kesici takımlarla frezeleme işleminde kullanılan kesici takımları karşılaştırdığımızda frezeleme işleminde kullanılan kesici takımın torna kalemi özelliğinde olduğu varsayılır ise daha ekonomik olduğu anlaşılır. Frezeleme işleminde kullanılacak olan kesici takımın optimizasyonu çok önemli olup, yanlış kesici uç seçilmesi hem tezgâhın zarar görmesine hem de takım aşınmasının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum işleme maliyetlerini arttırmakta olup işlenen malzemenin yüzey kalitesinin de düşmesine neden olur.

Frezeleme işleminin önemli bir türü olan alın frezeleme işlemleri imalat endüstrisinde sıklıkla tercih edilmekte olup alın frezelemede ise genellikle parmak frezeleme kesici uçları kullanılmaktadır. Kullanılan kesici takımlar Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Bu kesici takımlar, saplı kesici uçlardır. Havşa ve delik işleme gibi işlerde kullanılırlar. Diş şekilleri ise alın yüzeylerine ve çevresine açılmış olup, çapı 6 mm' den büyük olanlarda ise, çevredeki dişler helisel dişli ve kanallı yapıya sahiptirler. Çevresinde, kesici ağızları, dişleri iki ve üç ağızlı olanlar, kama oluklarının açılmasında, delme ve delik büyütme işlemlerinde kullanılır. Kesici ağızları düşey olarak, dikine ilerleme yapabilecek şekilde bilenirler. Parmak frezeler, freze tezgahında kullanılan kesici takımlar arasında en çok kullanılanlardandır. Bu kesici takımların yan yüzeyleriyle, kesme işlemlerinde, çakının kırılabilme olasılığı nedeni ile fazla talaş verilmemelidir. İşleme esnasında düşey ilerleme değerleri çok yüksek olmamalıdır. Çünkü, dişlerde talaş boşluğu dolduğunda ve sürtünmeye bağlı ısı miktarının artması sonucunda ilerleme durur ve kesici takım zorlanırsa kırılabilir.



Muhtelif freze takımları

Şekil 3.6: Frezelemede kullanılan kesici takımlar

3.3 Takım Aşınması

Talaş kaldırma işleminde takımın uç yüzeyi, boşluk yüzeyleri, talaş ve yan kenar boşluk yüzeyleri iş parçası ile etkileşim halindedir. Bu yüzeylerde aşınma alanları kesme hızının artmasıyla büyür ve takım orijinal şeklini kaybeder. Bu nedenle kesici takımın ucunda genellikle dört türlü aşınma meydana gelmekte olup Şekil 3.7' de belirtilmiştir.

Bunlar;

- 1- Boşluk yüzeyi veya yan kenar aşınması,
- 2- Üst yüzey veya Talaş yüzeyi aşınması (krater),
- 3- Uç boşluk yüzeyi aşınması
- 4- Çentik aşınması veya mekanik kırılma v.b.,

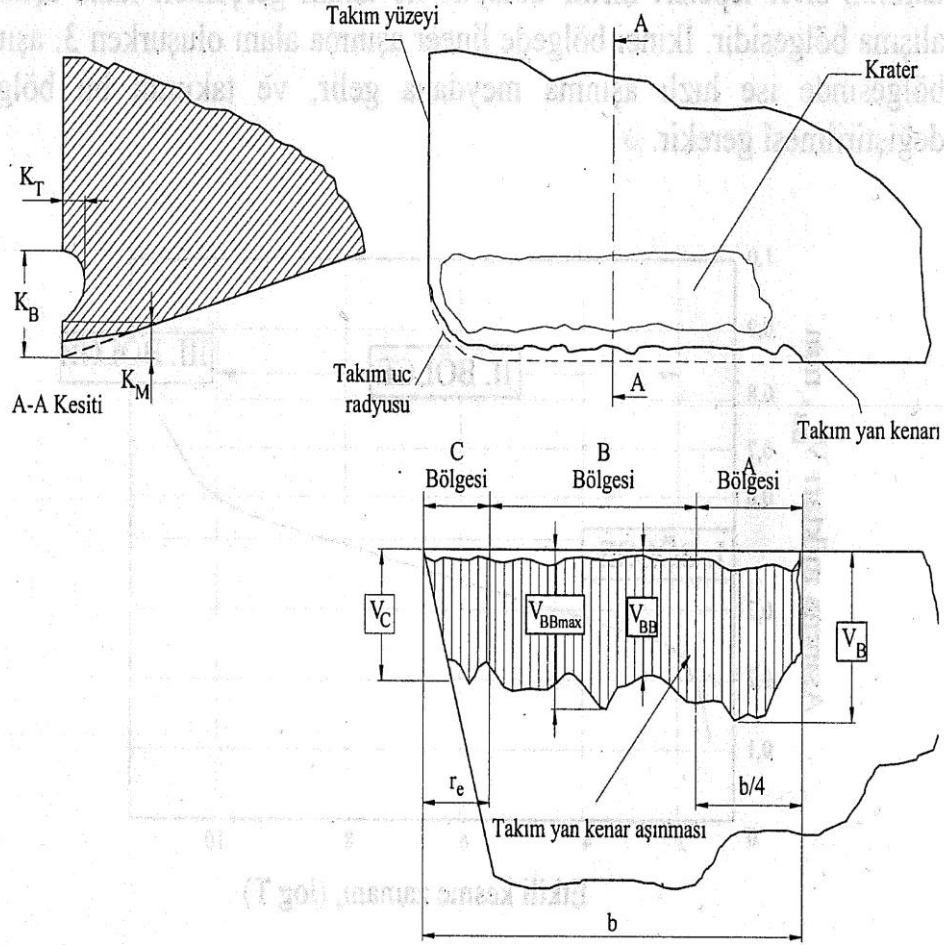
olarak sınıflandırılabilir. Başka bir ifadeyle, talaş kaldırma işleminde kesici takımın bozulmasına veya takım ömrünün bitişine sebep kırılma mekanizmasına göre 2 geniş kategoride sınıflandırmak mümkündür.

unlar;

- a. Yavaş takım bozulmasına sebep olan parametreler ki bunlar ya talaş yüzeyi veya takım yan kenarı üzerinde veya her ikisi üzerinde yavaş yavaş takım aşınmasının oluşması,
- b. Hızlı takım bozulmasına neden olan parametreler ki bunlar da önceden belirlenmeden ve genellikle takımın vaktinden önce ani olarak şiddetli takım kırılmasının veya bozulmasının oluşması, şeklindedir.

İş parçası işlenirken verimli bir kesme yapmak için takım hassas şeklini korumalıdır ve onun şeklinde az bir değişme, yani belirli miktarda aşınma olduğunda takım atılır. Değişik takımlar için bu aşınma kriterleri aşağıda detaylı olarak açıklanacaktır. Diğer önemli bir faktör, önceden tahmin edilemeyen ve istenmeyen kırılma şekli olup o da mekanik kırılmadır. Bu da kesici uçta ufak talaşlama veya uçta büyük kırılma şeklinde ortaya çıkmaktadır ki bunlar bazen kesici takım ömrünü kontrol eder. Torna kesici kaleminin tipik aşınmış kısmı ve oluşan kraterleşme aşınması gösterilmektedir [27]. Bu şekilde görüldüğü gibi kraterleşme miktarı etkili kesici kenar boyunca değişir ve krater derinliği KT, kraterin en derin noktasında (AA kesitinde) ölçülür. Bu aşınmanın genelde etkili kesici kenarın aşırı uçlarında olduğu görülebilir. Takım köşesindeki durum ise kesicinin etkili uç merkezi kısmında oluşandan daha şiddetli olma eğilimindedir. Çünkü bu bölgede talaş

malzemesinin akmasının karmaşıklığı nedeniyle takım köşesinde (C bölgesi) yan kenar aşınma alanı genişliği V_C ile gösterilir. Etkili kesici ucun karşısında N bölgesinde çentik oluşur ve önceki işlemlerden dolayı iş malzemesi sertleşme eğilimindedir. Yiv aşınmasında aşınma alanının genişliği V_n ile gösterilir. Etkili kesici ucun merkez kısmında (B bölgesi) aşınma alanı genellikle oldukça düzgün, ancak olabilecek değişkenler için bu bölgede ortalama aşınma alanlarının genişliği, V_B ve maksimum aşınma alanı genişliği V_{Bmax} ile gösterilir [27]. Şimdi bu meydana aşınma türlerini sırasıyla inceleyelim.

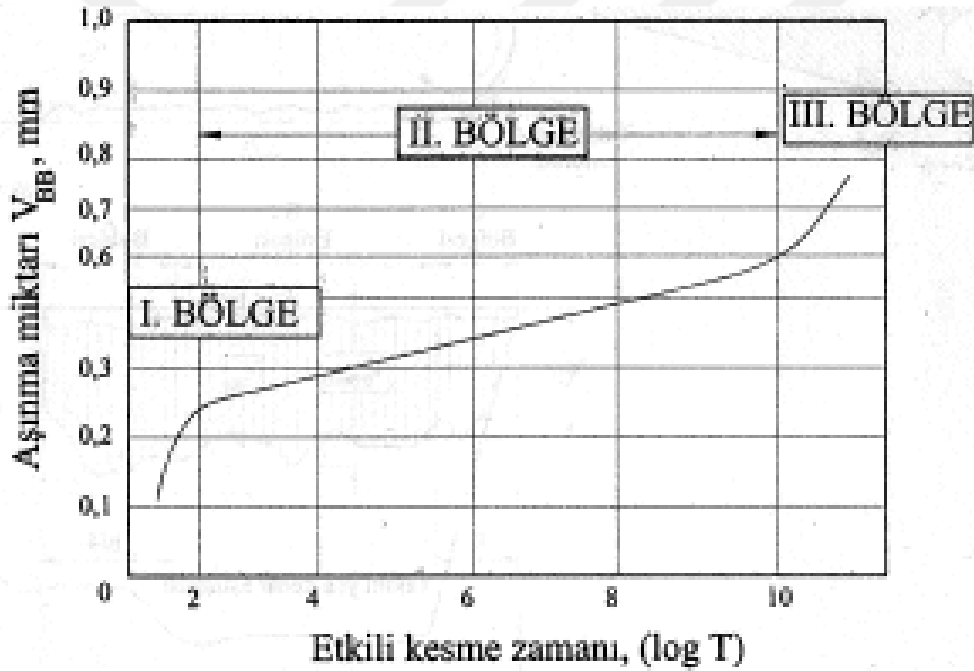


Şekil 3.7: Kesme işleminde takım aşınma bölgeleri ve aşınma tipleri. [27]

3.3.1 Yan kenar aşınması

Takımın yan kenarı ile temasta olan bölgenin yeni iş parçası yüzeyi ile sürtünmesinden dolayı oluşur. İş parçasının rijitliği sebebiyle aşınma bölgesi, kenar yüzey bölgesi veya alanı olarak adlandırılır ve kesme yönüne paraleldir. Aşınma bölgesi (alanı) aşınma miktarının bir ölçümü olarak alınır ve mikroskop yardımı ile belirlenir. Böyle aşınma bölgesinin genişliği için maksimum değerleri farklı kesici takımlar için belirlenebilir. Bu

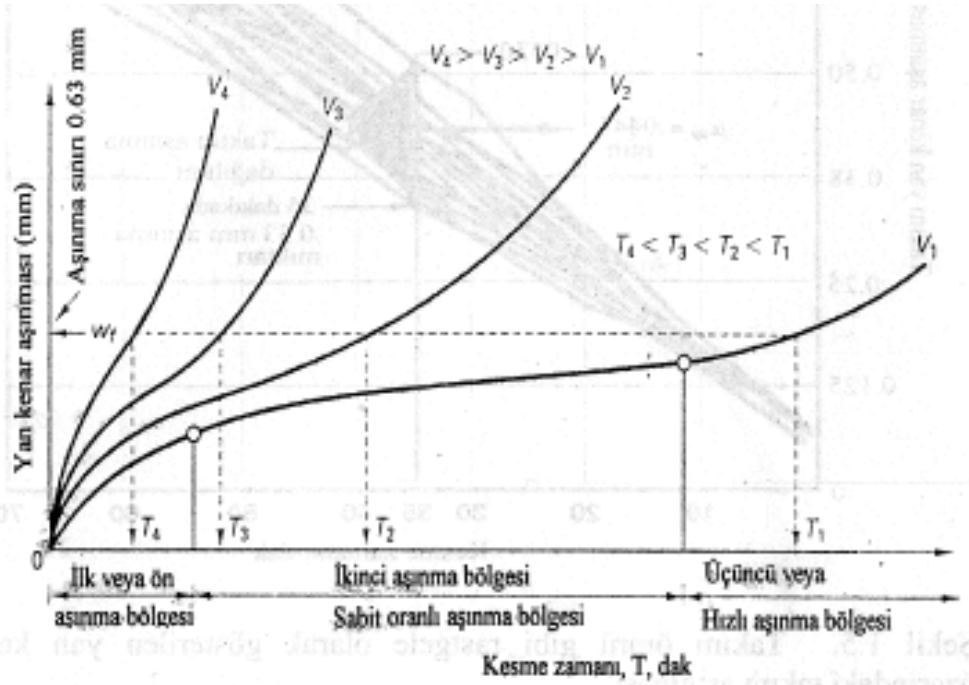
kriter maksimum değere yaklaştığında kesici takım değiştirilmez ise takımda ciddi bozulmalar meydana gelebilir. Kesici takımda aşırı bozulmaların meydana gelmesi işlenen malzeme üzerinde titreşim oluşturarak sürtünmenin artmasına ve bu nedenle yüzey kalitesinin düşmesine yol açar, bu durumda sürtünmenin artmasına bağlı olarak ortaya çıkan ısı miktarı artar ve takım ömrü azalarak yan kenar aşınmasını arttırır. Bir kesici takımda zamana bağlı olarak yan kenar aşınma miktarının değişimi Şekil 3.8 'de gösterilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi aşınma 3 bölgeden oluşmakta olup bunlar, 1. Bölge, 2. Bölge ve 3. Bölge olarak adlandırılır. 1. Bölgede hızlı aşınma olarak gözlenir fakat sadece bilenmiş takımın sivri tepeleri kırılır dolayısı ile takım gerçekten fazla aşınmaz alışma bölgesidir. 2. Bölgede lineer aşınma alanı oluşurken 3. Aşınma bölgesinde ise hızlı aşınma meydana gelir ve takımın bu bölgede değiştirilmesi gerekir.



Şekil 3.8: Bir kesici takımda yan kenar aşınma miktarının zamanla değişimi. [27]

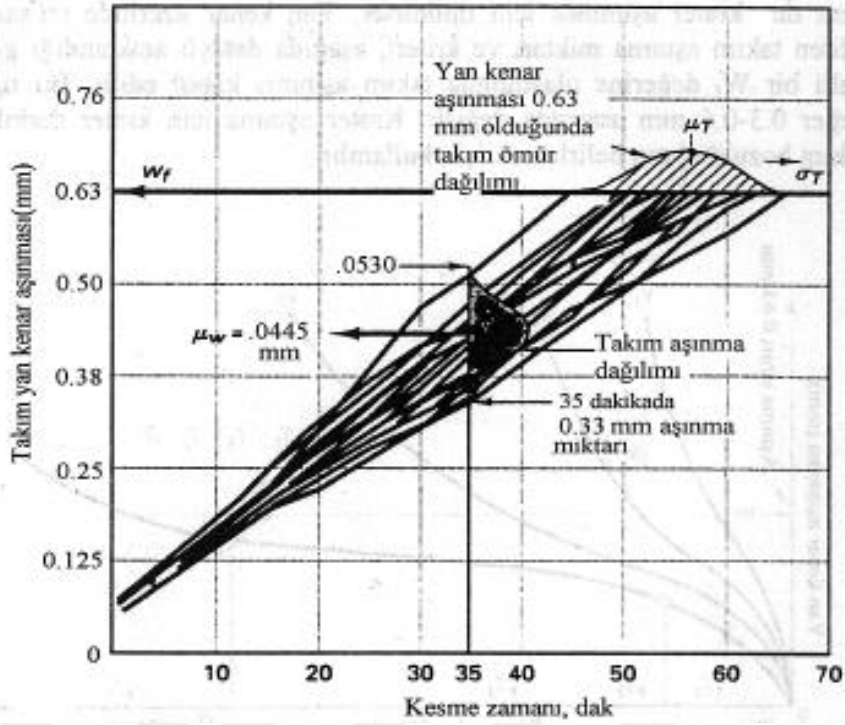
İşleme esnasında yüksek gerilmeler ve yüksek sıcaklıkların olduğu yerde takım aşırı ortamda çalıştığından takım aşınması her zaman kaçınılmazdır. Şekil 3.9'da V1' den V4'e kadar 4 farklı kesme hızları için 4 karakteristik takım aşınma eğrisinin ortalama değerleri gösterilmiştir. Burada V4, en hızlı kesme hızı olup bu nedenle de en yüksek ara yüzey sıcaklığı dolayısı ile de en çok aşınma miktarını oluşturur. Bu eğriler şekilde gösterildiği ve yukarıda belirtildiği gibi sıkça 3 genel bölgeye sahiptir. Merkez bölgesi sabit aşınma bölgesi veya 2. Aşınma bölgesi olup bu takım için normal çalışma bölgesidir. Böyle eğriler hem yan kenar hem de krater aşınması için tipiktirler. Yan kenar üzerinde müsaade edilen

takım aşınma miktarı ve kriteri aşağıda detaylı açıklandığı gibi, belirli bir W_f değerine ulaştığında takım aşınmış kabul edilir. Bu tipik değer 0.3 ve 0.6 mm aralığında değişir. Şekil 3.9'da bu değerlerin grafiği belirtilmiştir. Krater aşınma için krater derinliği takım bozukluğunu belirlemek için kullanılır.



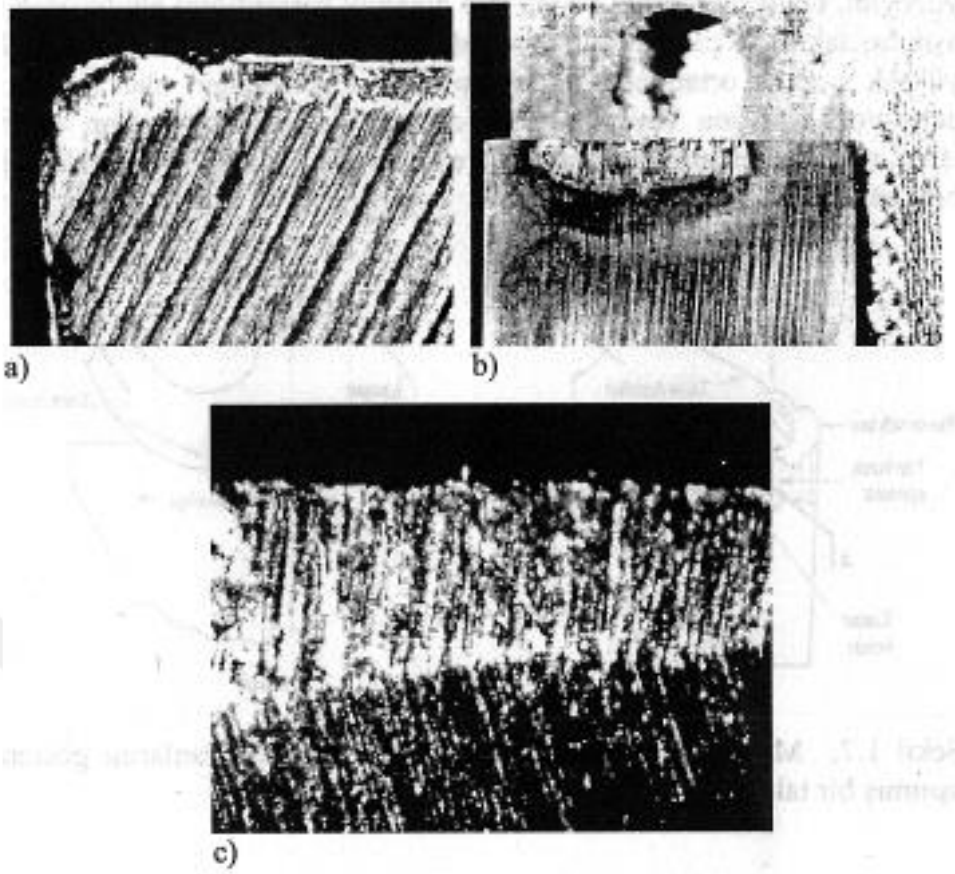
Şekil 3.9: Farklı kesme hızlarında yan kenar aşınması için tipik takım aşınması eğrileri [27]

Takım aşınma deneyini herhangi bir giriş parametrelerini değiştirmeksizin 15 kez tekrarlandığını varsayalım. Sonuç, takım aşınmasının doğal değişkenliğini ve takım aşınmasının niçin rastgele değişken olarak davranması gerektiğini göstermektedir. Bu şekilde aşınma kriterinin 0.6 mm olduğu yerde ortalama zaman M_t , standart sapma ise O_p ile gösterilmiştir. Test esnasında verilen bir zamanda 35 dak takım yan kenarın 0.33 mm ile 0.446 mm arasında ortalama $H_w=0.38$ mm standart sapma ile takımın aşındığını göstermektedir. Ancak takım malzemelerine göre standart takım aşınma kriterleri hem yan kenar aşınması için hem de krater aşınması yanında çentik aşınması içinde gerekli kriterler bu bölümün ilerleyen kısımlarında daha detaylı olarak açıklanacaktır. Ayrıca Şekil 3.10'da yan kenar üzerindeki takım aşınması üzerindeki takım ömrünün rastgele gösterimine bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.10: Takım ömrü gibi rastgele olarak gösterilen yan kenar üzerindeki takım aşınması [27]

Deneysel olarak elde edilen yan kenar aşınma çizgileri de keza Şekil 3.11’de gösterilmiş olup pratikte en çok karşılaşılan aşınma türü olduğundan burada gösterilme gereği duyulmuştur. Bu şekilde de parmak freze ucunda yan kenar aşınması Şekil 3.11 (a), matkap ucunda 'yan kenar aşınması Şekil 3.11 (b) de ve içi boş deliğe sahip bir parçanın YHÇ torna kalemı ile işlenmesinde takım üzerinde yan kenar aşınması da Şekil 3.11 (c) de gösterilmiştir. Fakat talaş kaldırma işlemini en iyi şekilde sürekliliğinden dolayı tornalama işlemi temsil ettiğinden ve tornalama işlemi tek-noktalı kesici takımlarla yapıldığından pratikte ve deneysel yapılan çalışmalarda daha ziyade torna takımları üzerine daha yoğun araştırmalar yapılmaktadır.

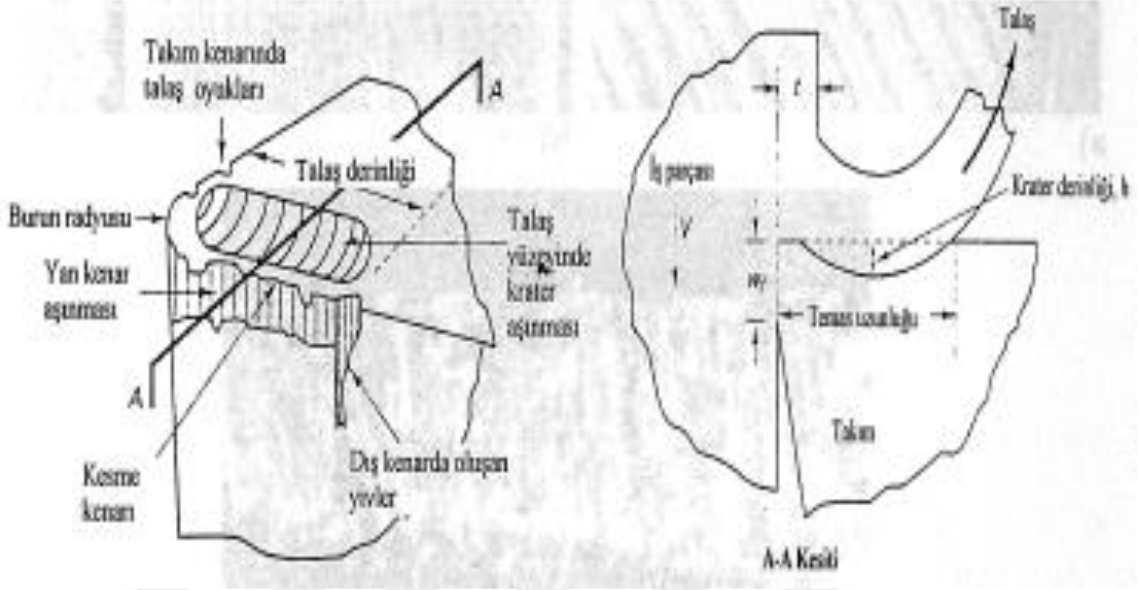


Şekil 3.11: Tipik yan kenar aşınma çizgileri. Parmak fireze ucunda yan kenar aşınması (a), Matkap ucundaki yan kenar aşınması (b), Delikli bir parçanın yüksek hız çeliği torna kalemı ile işlenmesinde takım üzerinde yan kenar aşınması (c) [27]

3.3.2 Talaş yüzeyi aşınması

Talaş yüzeyi aşınması, takım-talaş temas alanında baskıyla veya talaş altında aşırı kazımayla ortaya çıkar. Genellikle talaş yüzeyi aşınması krater derinliği veya krater oranı olarak ölçülmekte olup, krater gerçek kesici ucun bir miktar gerisinde oluşmaktadır. Kesme işlemi anında sıcaklık gerçek kesici uçta daha az fakat kraterin olduğu bölgede daha yüksektir. Talaş yüzeyi aşınması sadece kesme hızı ve ilerleme faktörleri ile değil, üst talaş açısı, talaş derinliği, yaklaşma açısı ve boşluk açısı tarafından da etkilenir. Bir kesici takımın burun radyusu ve dış çap olukları boyunca yan kenar aşınma ve krater aşınmayı gösteren bir takım durumu Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Takım aşındığı zaman geometrisi de değişir. Bu geometri kesme kuvvetlerini, harcanan gücü, bitirme yüzeyini, boyutsal tamlığı ve işlemin dinamik kararlılığını etkileyecek ve aşınmış takım sıkça titreşimden ziyade otlama işlemine yol açacaktır. Bu yüksek sıcaklık ortamında gerçek aşınma mekanizmaları olan abrazyon, adhezyon, difüzyon veya kimyasal etkileşimler etkili

olacaktır. Kesme işleminde bu mekanizmalardan biri veya birkaçı verilen bir işlemde belli bir zamanda etkili olabilecektir.



Şekil 3.12: Meyilli kesme esnasında değişik aşınma alanlarını gösteren aşınmış bir takım [27]

Ani bozulmaya yol açan mekanizmalar daha net şekilde fakat önceden tahmin edilebilmesi daha zayıftır. Bu mekanizmalar, plastik deformasyon, gevrek kırılma, yorulma kırılması ve kenar talaşlanması olarak kategorize edilebilir. Yine hangi mekanizmanın etkili olacağı ve hangi durumda takımın bozulacağını hesaplamak zordur. Takımlar hakkında bu durumda ne söylenebilir. Takımlar insanlar gibi çok farklı talaş kaldırma şartları altında büyük oranda değişik sebeplerle bozulur veya ömürlerini tamamlarlar. Bu nedenle takım ömrü rastgele bir değişken olarak muhtemelen olası bir değişken olarak ya da gerekirci bir miktar olmayacak şekilde dikkate alınmalıdır.

3.3.3 Boşluk yüzeyi aşınması

Bu tip aşınma için esas sebep oksitlenme olup bu talaşla doğrudan temasta olmayan takımın bir kısmında meydana gelir. Kesme işlemi esnasında boşluk yüzeyi üzerinde bir oksit tabakası oluşur ki bu kademeli olarak kraterle doğru yayılır. Kesme devam ederken krater derinleşir ve oksit tabakası oluşur ve sonunda kopar. Bu kopma takımın kesme yapmayan kısmı üzerinde gerçekleşmekte, bu nedenle takım performansını etkilemez. Ancak bu kazımadan sonra takımın burun kırılmasına dolayısıyla takım bozulmasına yol açabilir. Bu sıcaklığa bağlı kırılma şekli olduğundan, oksitlenme ile olduğundan şu faktörler ile;

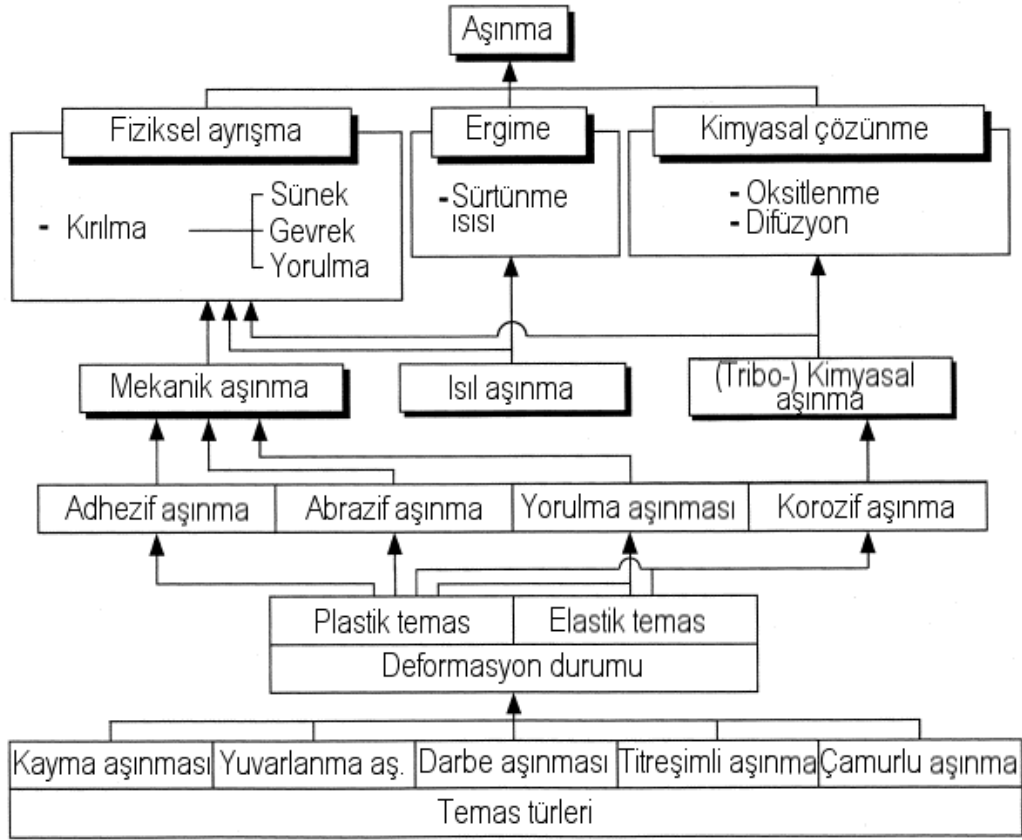
- a. Oksijen olmayan atmosferde kesme yapılarak,
- b. Oksitlenmeye dayanıklı takım malzemesi kullanılarak kontrol altına alınmalıdır.

3.3.4 Mekanik hasar veya kırılma

Bir takım malzemesinde temel gereksinimlerden biri de sert olmasıdır. Fakat takım malzemelerinde yüksek sertlik hep sünekliliği azaltır bu da çoğu takım malzemelerini gevrek yapar ve kullanıldığında kırılmaya maruz kalır. Bu nedenle seramik esaslı takımlar daha tok olan yüksek hız çeliği ve sinterlenmiş karbürü takım uçlarından daha kolay şekilde kırılır. Bu takımlarda pah ve dar honlanmış bir kısım kesici uç dayanımını artırmada önemli rol oynarken, takım kırılma ihtimalini de oldukça azaltmaktadır. Takım uç dayanımını arttıran diğer önemli bir parametre ise kırılmaya karşı burun yarıçapıdır. Bununla takımda ki titreşimler yok edilir. Büyük burun yarıçaplı takım ile daha uzun takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi sağlanır. Burun yarıçapı için en iyi değer, son bitirme yüzeyi ve kesme şartları arasında bir optimizasyonu gerektirir. Takımdaki kırılmalar ise dikkatsiz çalışma, kötü ayarlama ve dengesiz bağlamadan kaynaklanabilir.

3.3.5 Çentik aşınması

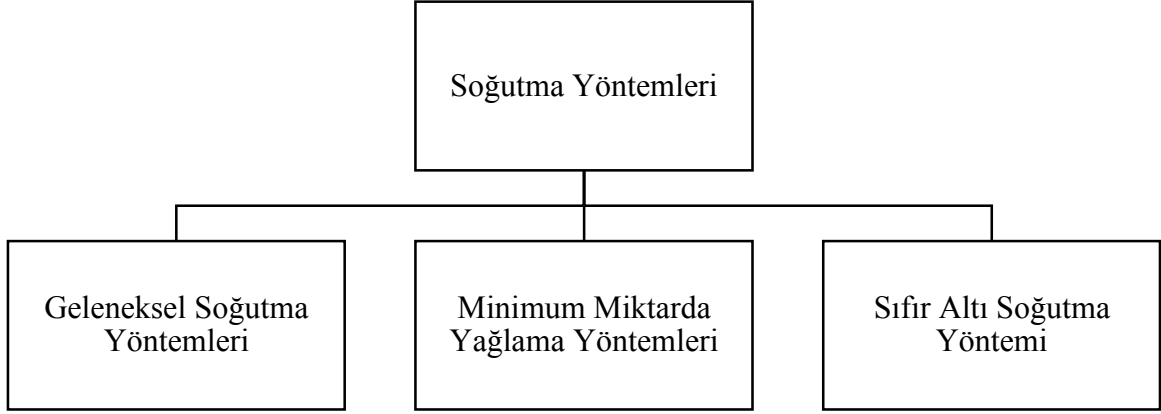
Çentik aşınmanın normal olarak kimyasal reaksiyonla ve hem esas kesici uç boyunca hem de kesici ucun bir kısmında, iş parçası ile takım arasında fiziksel temas alanının dışında yani talaş derinliğinin bitimine yakın yerde oluşur. Her iki durumda da çentik aşınma hem talaş hem de yan kenar yüzeyini aynı zamanda etkiler. Çentik aşınma bazen şiddetli aşınmaya sebep olur. İş parçası yüzeyi ile takım kesici uç boyunca oluşan abrasyon aşınmadan (VBA) ayırt edilmelidir. Çentik aşınma, kesici takımdan daha önceden işlenen malzemenin sertleşme etkisinden kaynaklanabilir. Kesici takımlarda çentik aşınması genellikle yaklaşık 0.7 mm'den daha büyük seçildiğinde etkili olmakta olup, Şekil 3.13'de bu tip aşınma şekli gösterilmiştir. Ancak bazı hallerde çentik aşınma kriteri Olarak 1 mm de alınabilmektedir. Bu aşınmalarla ilgili mikroskobik incelemeler ise "Aşınma Mekanizmaları" bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.13: Aşınma mekanizmaları ve birbirleriyle olan ilişkileri

3.4 Talaşlı İmalatta Kullanılan Soğutma/Yağlama Yöntemleri

Metallerin talaşlı imalat ile işlenmesi esnasında kullanılan kesme sıvılarının ilk olarak kullanıldığı tarih net olarak bilinmemekte olup, ilk bilinen Ünlü metalurjist F.W. Taylor (1890) takım çeliklerinin işlenmesi sırasında az miktarda su kullanarak işleme esnasında kesme hızının arttırdığını tespit etmiştir [28]. İlerleyen dönemlerde teknolojinin gelişmesine bağlı olarak talaşlı imalat yöntemlerinin ve işlenen malzemelerinde gelişmesi ile birlikte kullanılan soğutma yöntemleri de bu gelişmelere paralellik göstererek sürekli artmaktadır [29]. Farklı soğutma yöntemleri kullanılarak imalat esnasında çeşitli faydalar sağlanması amaçlanmaktadır. Genel olarak kullanılan soğutma yöntemleri işleme esnasında sürtünmeye bağlı olarak ortaya çıkan ısı miktarını azaltmayı hedeflemektedir. Soğutma yöntemlerinin birçoğu aynı zamanda yağlayıcı olarak da kullanılmaktadır. Soğutma yöntemlerinin sınıflandırılması Şekil 3.14’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.14: Soğutma yöntemlerinin sınıflandırılması

3.4.1 Geleneksel soğutma yöntemleri

Geleneksel soğutma yöntemlerinde kullanılan yağlar korozyona karşı koruma sağlarken ayrıca iyi bir yağlama özelliğine sahiptirler. Fakat soğutmada su bazlı kesme sıvılarına göre daha düşük soğutma iletimine sahiptirler. Su ile karıştırılmayan saf kesme sıvıları mineral, organik, mineral-organik karışım ve yüksek basınçlı (EP) Kesme sıvıları olarak 4 gruba ayrılırlar.

Mineral kesme sıvıları, genellikle karışım veya saf halde kullanılabilen saf kesme sıvılarının korozyona karşı koruma özellikleri ve yağlama özellikleri çok iyi olmasına rağmen, soğutma özelliklerinin olumsuz olması nedeni ile kesme sıvıları, öncelikle hafif alaşımlar ve dökümün işlenmesi gibi talaşlı işleme proseslerinde kullanılmaktadır.

Organik kesme sıvıları, genel olarak bitkisel veya hayvansal esaslı yağlardır. Bu yağların yoğun ve yağ oranları fazla olup iyi bir yağlama sağlamalarına rağmen günümüzde bitkisel ve hayvansal yağların maliyetinin yüksek olması ve temin edilmesinin zor olmasından dolayı yerini mineral bazlı kesme sıvıları almıştır.

Organik ve mineral kesme sıvıları, yüksek kesme hızları ve yükün fazla olduğu durumlarda, dolayısıyla kesme dayanımının yüksek olması gereken durumlarda mineral kesme sıvısı içerisine bir miktar organik kesme sıvısı katkıları karıştırılabilir. Bu karışım sonucunda oluşan yeni kesme sıvısı düşük kayma ve yüksek dayanım direncine sahip ince bir tabaka oluşturur. Oluşan bu tabaka kesme işlemi esnasında oluşan sürtünmeyi azaltmasına rağmen soğutma özelliği düşüktür.

Yüksek basınç (EP) kesme sıvıları, kesme kuvvetlerinin ve kesme hızlarının yüksek olduğu uygulamalarda kesme sıvıları, takım ile iş parçası arasına nüfuz etmesi güçleşmektedir,

fakat birbirleri üzerinde kayan yüzeyler arasındaki basınç yüksek olsa bile yüksek basınç (EP) kesme sıvıları ile yapılabilmektedir. Bu tip katkı maddeleri içeren kesme sıvıları kayan yüzeylerdeki metalle bileşikler oluştururlar. Bu etki, yüzey pürüzlülüğünün yağ filmini bozduğu yerlerde görülür ve oluşan bileşik karşılıklı yüzeylerin birbirine kaynak olmasını engellemeyi sağlayan bir yağlayıcı oluşturularak kesme işleminin kalitesini artırır. Bu kesme sıvıları katkı maddeleri olarak genellikle kükürt, klor ve fosfor bileşiklerini içerirler.

3.4.2 Minimum miktarda yağlama sistemi (MMY)

Geleneksel soğutma yöntemine alternatif olarak ortaya çıkmış olup kuru işlemeye yakın olarak kullanılan, soğutma sıvısı miktarının minimuma indirildiği soğutma yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan soğutma sıvıları bileşenlerinde kimyasal bulunmamasından dolayı çevre dostu bir soğutma yöntemidir. Minimum miktarda soğutma sıvısı tüketiminden dolayı ise maliyeti azaltmakta ve çevre kirliliğinin de önüne geçmektedir. Minimum miktarda yağlama (MMY) yöntemi talaşlı imalat işlemlerinde yaygın olarak frezeleme, tormalama, delik delme ve kesme yöntemlerinde tercih edilmektedir. Bu yöntem talaşlı imalatta kullanımı açısından harici ve dahili minimum miktarda yağlama (MMY) sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır;

Harici minimum miktarda yağlama sistemi, talaşlı imalat tezgahına iletilen basınçlı hava sayesinde artan basıncın etkisiyle yağlayıcı özel hortumlardan hava ile birbirine karışmadan taşınır. Yağlayıcı ve hava nozuldan eş merkezli şekilde birbirleri ile karışarak atomize olmuş bir şekilde nozuldan iş parçasına gönderilir.

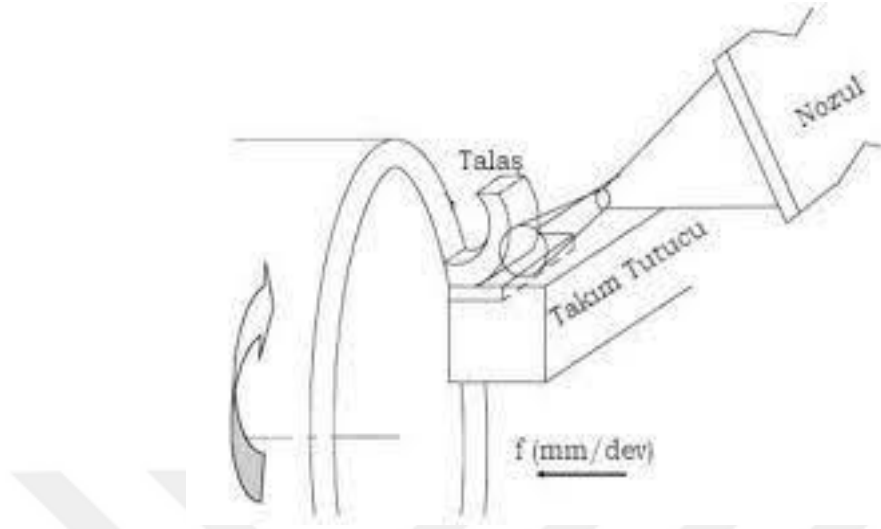
Dahili minimum miktarda yağlama sistemi, yağlama ünitesinin rezervuarında hazırlanmış olan aerosol tezgâh üzerinde dönen milin ve takımın içinden geçerek doğrudan iş parçasına nüfuz eder. Optimum işleme parametrelerinin sağlanması durumunda çapak oluşumun en aza indirgeyerek iş parçasının kaliteli bir şekilde işlenmesini sağlar.

MMY sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.15’de belirtilmiştir.

Minimum miktarda yağlama (MMY) yönteminin talaşlı imalat esnasında sağladığı bazı avantajlar ise şöyledir;

- İşlenen malzemenin ekstra temizliğine gerek duyulmaz.
- İşleme maliyeti geleneksel soğutma sıvılarına nazaran düşüktür.
- Takım ömrünün artmasını sağlar.

- İlave olarak soğutucu akışkan kullanımına ihtiyaç bulunmamaktadır
- Atık yağ miktarını minimuma indirmektedir.



Şekil 3.15: MMY şematik gösterimi

3.4.3 Sıfır altı soğutma yöntemi

Sıfır altı soğutma yöntemi ikiye gruba ayrılmakta olup, 0°C ile -80°C aralığındaki sıcaklıklarda işleme soğuk soğutma yöntemi olarak adlandırılırken, -80°C den -196°C ye kadar olan işleme sıcaklıklarında uygulanan talaşlı imalat yöntemi de kriyojenik soğutma yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu sıcaklık farklarının oluşmasının temel nedeni soğutucu olarak kullanılan akışkan türünün farklı olmasıdır. Soğuk soğutma yönteminde sıcaklığı -80°C' ye kadar düşmesini sağlayan soğutucu akışkan olarak CO2 kullanılırken, kriyojenik soğutma yönteminde ise sıcaklığın -196°C'ye kadar düşmesini sağlamak amacı ile LN2 (sıvı azot) soğutucu akışkan olarak kullanılmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinde özellikle işlenmesi zor, yüksek sertliğe ve dayanıma sahip malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan yüksek ısıların ortamdaki uzaklaştırılmasında ve takım aşınmalarının azaltılmasını sağlamak amacı ile son yıllarda sıklıkla uygulamalarda tercih edilmektedir.

3.4.3.1 Soğuk soğutma yöntemi (CO2)

Soğuk soğutma yöntemi, yüksek sertlik ve dayanımlı malzemeler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun temel nedeni ise östenitin martenzite hızlı bir şekilde dönüşünü kolaylaştırmasıdır. Bu soğutma yönteminde soğutucu akışkan olarak genellikle CO2 tercih edilirken, talaşlı imalat esnasında optimum sıcaklığın ortalama olarak -60 ile -80 °C

arasında olduğu bilinmektedir. Talaşlı imalat esnasında bu yöntem kesme bölgesine özel iletim ünitesi ile değişken çaplardaki nozullar yardımı ile püskürtülmektedir.

3.4.3.2 Kriyojenik soğutma yöntemi (LN₂)

Kriyojenik soğutma yöntemi, -150 °C'nin altındaki çok düşük sıcaklıklarda malzemelerin işlenmesini sağlamaktadır. Kriyojen soğutucu element olarak genellikle helyum, hidrojen, neon, nitrojen, oksijen kullanılmaktadır. Kriyojenik soğutma, otomotiv, elektronik, imalat ve havacılık endüstrisi gibi endüstride özellikle soğutma amaçlı çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Sıvı nitrojen, kriyojenikte en yaygın kullanılan elementtir. Genellikle LN₂ kısaltması ile gösterilir. Sıvı azot -210 °C' de erir ve -198 °C'de kaynar, doğada en çok bulunan gazdır ve atmosferin hacminin yaklaşık beşte dördünü (% 78.03) oluşturur. Sıvı nitrojenin bu özellikleri onu tercih edilen bir soğutma sıvısı haline getirmiştir [30]. Kriyojenik soğutma yöntemi, özellikle son yıllarda titanyum ve kobalt alaşımlarının yüksek sertlik ve dayanımdaki işlenmesi oldukça zor olan malzemelerin işlenmesinde tercih edilmektedir. Talaşlı imalat esnasında -123 ile -196 °C aralığındaki düşük sıcaklıkları kesme bölgesine ileterek kesme bölgesinde işleme esnasında açığa çıkan çok yüksek ısıların azaltılmasını sağlamaktadır. Soğutucu akışkan olarak kullanılan LN₂ (sıvı azot) özel ünitesi ve değişken çaplardaki nozullar yardımı ile püskürtülmektedir. Kriyojenik soğutma yöntemi kullanılarak işlenen malzemelerin mikro yapısı daha düzenli bir yapıya sahip olur.

3.5. Talaşlı İmalatta Çapak Oluşumu

Talaşlı imalat esnasında arzu edilmeyen çıkıntılar ortaya çıkmaktadır, genellikle plastik deformasyonlar sonucunda işlenen malzemeler üzerinde oluşan çıkıntılara çapak adı verilmektedir. Frezeleme ile işlenen malzemelerin özellikle kesme bölgesinin kenar kısımlarında çapak oluşumu görülmekte olup, işleme esnasında oluşan çapakların nedenlerini anlayabilmek işleme veriminin artırılması için oldukça önem taşımaktadır. Özellikle çapak oluşumu, işleme maliyetini, işlenen malzemenin hassasiyetini ve kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Frezeleme işleminde çapak oluşumuna neden olan durumlar ise parçanın işleme parametreleri, iş parçasının özellikleri ve kesici takımın geometrisi gibi parametrelerdir. İşleme esnasında hedeflenen yüzey kalitesinin sağlanabilmesi için gerekli işleme parametrelerin, iş parçasının işlenebilirliği ve türü ile uyumlu olması gerekmektedir.

Özellikle işlenmesi zor titanyum ve titanyum alaşımları gibi malzemelerin frezelenmesinde, çapak oluşumu sıkça görülen bir durumdur. Titanyum ve alaşımlarının son yıllarda endüstride yaygın kullanılmasından dolayı çapak oluşumu ve oluşan çapakların en aza indirilmesi giderek önem kazanmaktadır.

Çapak, frezeleme işlemi esnasında kesici takımın işlenen malzemenin yüzeyinde ilerlemesinden kaynaklı artan sürtünme ve yüksek basıncın etkisiyle oluşan plastik şekil değiştirme durumudur. Frezeleme işleminde oluşan çapak, frezeleme işleminin işleme şartlarından (tezgâhın titreşimi, ilerleme, devir sayısı, kesme sıvısı kullanımı gibi), işlenen malzemenin, (sertliği, mekanik özellikleri ve geometrisi gibi) ve kullanılan kesici takımdan (geometrisi, takım aşınması, ağız sayısı ve malzeme türü gibi) önemli derecede etkilenmektedir [31].

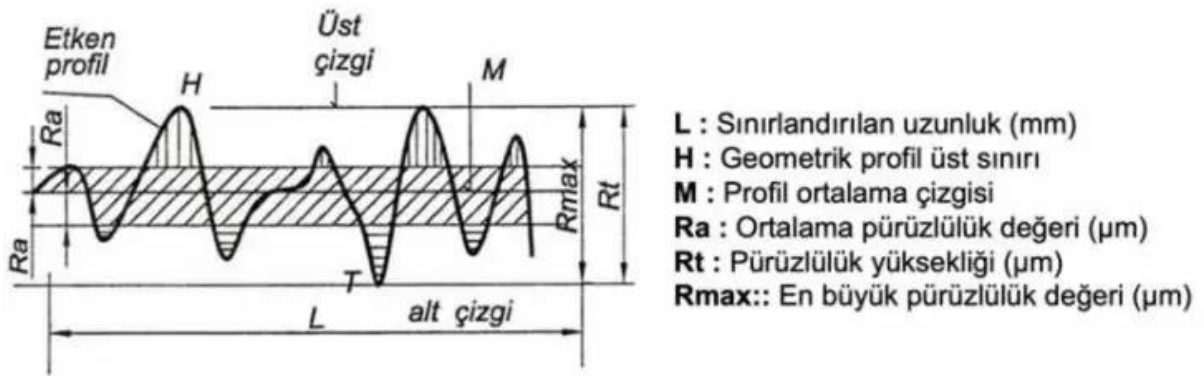
Frezeleme işlemi esnasında çapak oluşumunun yok edilmesi ya da azaltılması büyük bir öneme sahip olup, bundan dolayı frezeleme sonucu çapak oluşumunu ve çapağı oluşturan işleme parametrelerini iyi bir şekilde anlayabilmek, çapak boyutunu henüz çapak oluşumu aşamasındayken kontrol edebilmek açısından oldukça önemlidir. Ayrıca frezeleme işlemi sonunda işlenen malzeme üzerinde oluşan çapakların temizlenmesi, imalatta ekstra maliyetlere, parçanın zarar görmesine ve zaman israfına neden olmasından dolayı işleme verimliliğini ve kalitesini düşürmekte olup mümkün olduğu kadarıyla oluşan çapağın minimum seviyede olması hedeflenmelidir. Bu da bizleri oluşan çapak miktarının minimize edilmesi veya önlenmesi için gerekli işlemleri anlamaya yöneltir. Frezelemede bunu gerçekleştirmenin yolu ise kesici takımın türü, kullanılan kesme sıvısının ve frezeleme parametrelerinin optimizasyonu ile mümkün olmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında çapak boyutunun azaltılmasının mümkün olduğu, ancak tamamıyla yok edilmesinin mümkün olmadığı görülmüştür [32]. Bu durumda, çapak oluşumunun engellenmesi veya minimum düzeye indirilmesi sağlanarak işleme kalitesini arttırmak ve maliyetleri düşürmek kaçınılmazdır.

Bu tez kapsamında kriyojenik soğutma, minimum miktarda yağlama (MMY) ve geleneksel soğutma sıvılarının hibrit işleme ile titanyum alaşımlarına etkileri araştırıldığı için bu bölümde talaşlı imalatta soğutma yöntemleri frezeleme, yüzey kalitesi ve takım aşınması hakkında bilgi verildi.

3.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü talaş kaldırma işleminde işleme parametrelerine bağlı olarak iş parçası üzerinde meydana gelen izlerin, hataların toplamına verilen isimdir [33]. İşleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün ölçümünde mikro düzeyde ölçüm işlemi gerçekleştiren yüzey pürüzlülük ölçüm cihazları ile gerçekleştirilmektedir.

Yüzey pürüzlülüğünün ölçümünde hassas bir profil ölçümü yapan prob sayesinde pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilecek olan yüzeyde farklı örneklem uzunluklarında ölçümler gerçekleştirilebilmektedir. Ölçümlerin alınacağı yüzeylere dik şekilde hareket eden prob yüzey üzerindeki girinti ve çıkıntıların üzerinden geçerek belirli bir yüzey profili oluşturmaktadır. Elde edilen yüzey profiline göre farklı ölçümler yapılarak farklı değerlerde yüzey pürüzlülükleri elde edilebilmektedir. Şekil 3.16'da örnek bir numune üzerinden alınan farklı yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.



Şekil 3.16: Yüzey pürüzlülük gösterimi [34]

Talaşlı imalat endüstrisinde işlenen malzemelerde yüzey kalitesinin yüksek olması istenmekte olup eğer yüzey kalitesi istenilen düzeyde olmazsa işleme sonunda yüzey kalitesinin arttırabilmek için ekstra işlemler gerekebilir. Yapılan bu işlemler ise işleme maliyetini ve zamanını arttırmaktadır.

Frezeleme işleminde, yüzey pürüzlülüğü, malzemenin kalitesini belirleyen önemli etmenlerdendir. İmalat sürecinde, ilave işlemlerle, iş parçasının yüzeyin daha kaliteli bir hale getirilebilmektedir. Fakat frezelemede işlenen parçasının boyut hassasiyetinin yüksek olması durumunda ekstra bir yüzey parlatma işlemi için uygun olmayabilir. Fakat frezeleme ile işlenmiş yüzeylerde, ilave işleme metodu olarak uygulanan yöntemler de (lepleme, taşlama, tornalama vb.) yüzey kalitesini arttırsa bile yüzey pürüzlülüğünün tamamı ile ortadan kaldırılması mümkün değildir. Genellikle yapılan işlemler sonunda,

işlenen malzemenin mikro yapısındaki değişim ve yüzeydeki partiküllerin düzensizliği yüzey pürüzlülüğünün ana sebeplerindendir [35]. Fakat kimi zaman yüzeydeki pürüzlülüğe sebep olan faktörlerin birden fazla olması durumunda ayrı ayrı etkilerini ayırt etmek mümkün olmayabilir. Aynı özellikteki malzemenin çeşitli işleme yöntemleri ile aynı yüzey pürüzlülük değerinde işlendiği, bazen bunların sürtünme, aşınma, korozyon ve yorulma değerlerinin farklı oldukları bilinmektedir. Çünkü, yüzeydeki işleme izlerinin yönleri ve dağılımları da yüzey pürüzlülüğü kadar işleme performansını etkilemektedir.

İşleme performansını işlenen yüzeyin yüzey pürüzlülüğü önemli ölçüde etkilemektedir. Kaliteli işlenmiş bir yüzey malzemenin korozyon direncini, yorulma mukavemetini ve sürtünme ömrünü büyük ölçüde iyileştirir. Yüzey pürüzlülüğü ayrıca yüzeydeki sürtünmeye neden olan aşınma, ısı iletimi, ışık yansıtma, temas, yağ filminin dağıtılması ve tutulması direnç veya kaplama ömrü gibi parçaların farklı özelliklerini de etkiler. Bu yüzden istenilen optimum yüzey kalitesi belirlenir ve ihtiyaç duyulan kaliteye ulaşmak için uygun işlemler seçilir.

İşleme parametreleri (Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi) optimizasyonunda yüzey kalitesinin artırılmasında önemli rol oynar. Bu işleme parametrelerinin işlenen malzemeye göre optimizasyonunun sağlanması ayrıca takım aşınması, oluşan talaş tipi gibi diğer işleme sorunlarını da doğrudan etkilemektedir. Ayrıca kullanılan kesme sıvısının da yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi oldukça önemlidir. İşleme esnasında kesme bölgesinde ortaya çıkan sürtünme ve yüksek ısılar malzemenin mikro yapısının bozulmasına neden olur. Oluşan bu sürtünme ve ısının en aza indirgenmesi için kullanılan kesme sıvısının işleme yöntemi ve işlenen malzemeye uygun olarak seçilmesi yüzey kalitesini önemli ölçüde artırır.

- Yüzey kalitesini etkileyen başlıca etkenler vardır bunlar;
- Takım tezgahlarının istenilen rijitliğe sahip olmaması
- İşleme parametrelerinin optimizasyonu
- Seçilen kesici takımın uygunluğu
- Uygun kesme sıvısı kullanımı
- Kesici takım bağlama hataları
- Tezgâhtan kaynaklanan hatalar
- Çevresel faktörler

Bu etmenler yüzey kalitesini doğrudan etkileyen faktörler olarak sınıflandırılabilir.

Frezeleme işlemlerinde temel amaç işlenen malzemenin istenilen geometri ve yüksek yüzey kalitesi olan bir yüzey oluşturmaktır. Bu nedenle frezeleme işlemlerinde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli başlık üzerinde durulmaktadır. Bu işleme yönteminde özellikle işlenmesi zor olan sert malzemelerde talaş akışı ve malzemenin mikro yapısında meydana gelen değişiminin oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenmesinin sağlanabilmesi için çok fazla değişkene ihtiyaç duyulmaktadır [37]. Bu karmaşık yapıya rağmen, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesme sıvılarının optimizasyonu yüzey pürüzlülüğünün azaltılması ve işleme sonrası hedeflenen geometrinin oluşmasını sağlamak açısından büyük önem taşır.



4. MATERYAL ve METHOD

Deney, Ti6Al4V alaşımının frezelemede sırasıyla MMY, kriyojenik, kesme sıvısı ve hibrit işleme uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde 20 kW gücünde ve maksimum kesme hızı 10000 dev/dak olan Chevalier QP2040-L tipi CNC freze tezghi kullanılmıştır. Deney 20 mm çapında 200 mm uzunluğunda soğuk haddelenmiş silindirik Ti6Al4V malzemesinde gerçekleştirildi. Parçanın tezgâha bağlantısında 130x160mm G-160 model Uzuner dönerli freze mengenesi kullanılarak sabitlenmiş olup, komparatör ile bağlantı kontrolü yapılmıştır.

4.1 Materyal

Deneyde kullanılan malzeme, Ti6Al4V alaşımının kimyasal bileşimleri ve özellikleri izelge 4.1' de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1: Ti6Al4V Kimyasal Bileşenleri

Elementler	Ti (%)	Al (%)	V (%)	H (max.%)	Fe (max. %)
Ağırlık	88.74-91	5.5-6.75	3.5-4.5	0.015	0.25

Ti6Al4V alaşımının kesici takım olarak, Hann Deelz firmasından temin edilen, 10 mm çapında karbür kaplamalı ve TiAlN kaplamalı, olan kesici takımlar kullanılmıştır.



Şekil 4.1: Hann Deelz Kesici Takım

Deneyde işleme yöntemlerinin etkilerini görmek amacı ile farklı kesici takımlar kullanılmıştır. Deney sonrasında kullanılan kesici takımlarda meydana gelen aşınmalar şekilde gösterilen Euromex mikroskobu kullanılarak görüntüler alınarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2: Euromex Mikroskop.

Ti6Al4V alaşımının frezelenmesinde işleme parametreleri, yapılan bilimsel çalışmalar ve firmanın katalog değerlerinde belirtilen işleme değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir [36]. Bu parametreler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Deney Parametreleri

PARAMETRELER	DEĞERLER
Kesme Hızı (m/dak)	800-1000-1200
İlerleme hızı (mm/dev)	0.10-0.15-0.20
Paso (mm)	1

4.2 Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Farklı kesme parametreleri için frezelenen yüzeylerin pürüzlülük değerleri, TIME-TR200 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçüldü. Bu cihaz Şekil 4.3’de belirtilmiştir. Ölçümlerde örnekleme uzunluğu (cut-off) 8x0.5 mm olarak seçilmiştir. Ölçme işlemi frezelenen kanala paralel olacak şekilde 3 farklı noktadan ölçülerek ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) tespit edildi.



Şekil 4.3: Frezelenme İşleminde Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde, iş parçası ve kesici takım arasındaki etkileşim ve deformasyonlardan dolayı ısı oluşmaktadır. Oluşan ısı, birbiri ile etkileşim halinde bulunan bölgeyi etkilemektedir. Kkesici takımlarla Ti6Al4V alaşımının frezelenmesinde kanal girişinde oluşan sıcaklıklar aşağıda şekil 4.4 ‘de gösterilen Testo marka 875-1 model termal kamera yardımı ile ölçülmüştür.



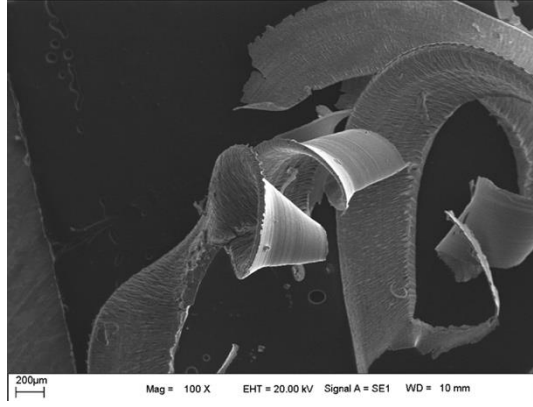
Şekil 4.4: Termal Kamera

Kullanılan karbür kesici takımlarla iş parçası üzerinde açılan kanalın girişinde oluşan sıcaklıklar, kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünme ve etkileşimin fazla olmamasından dolayı düşük olarak ölçülmüştür.

Ayrıca, Ti6Al4V alaşımının düşük termal özelliğine sahip olmasından dolayı sıcaklık her iki kesici takımında da takımın uç kısmında yoğunlaşmıştır. Her iki kesici takım için kanal açma işlemi sürdürüldüğünde oluşan sıcaklığın sürekli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Kesme hızının artması da sürtünmeyi arttırdığından sıcaklık daha yüksek değerlere ulaşmıştır.

4.3 Talaş Tiplerinin SEM Analizi

Talaş tiplerinin oluşumunu malzemenin karakteristik özellikleri ve malzemenin işlenmesinde seçilen parametreler önemli ölçüde etkilemektedir. Deneyde görülen talaş tipleri sürekli, kesintili ve yapışık talaş olarak görülmüştür. Sünek malzemelerin işlenmesinde genellikle sürekli talaş oluşurken orta kesme hızı ve yüksek ilerleme değerlerinde işlenmesinde ise yapışık talaş oluşmaktadır. Gevrek malzemelerin işlenmesinde ise genellikle kesintili talaş oluşmaktadır. Ti6Al4V alaşımının farklı kesme parametrelerinde frezelenmesi sonucu elde edilen talaş tipleri SEM analizi yardımı ile belirlenmiş olup Şekil4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan talaş tipleri SEM görüntüsü

Ti6Al4V alaşımının yüksek mukavemet, düşük elastik modülü ve düşük termal özellik gibi üstün özelliklere sahip olması, freze çakılarının birden fazla kesme ağzının olması, kesme hızı ve ilerlemenin değişmesi ve deneylerde kesme sıvısının kullanılmaması, frezeleme sonucu elde edilen talaşların farklılık göstermesine neden olmuştur. Kesme hızı ve ilerlemenin düşük olmasıyla Ti6Al4V alaşımından ince kesitli talaş kaldırılmıştır. İlerlemenin artmasıyla talaş kesitinin arttığı gözlemlenmiştir.

4.4 Çapak Oluşumunun Ölçülmesi

Günümüzde çapak yükseklikleri ölçümleri farklı teknikler kullanılarak belirlenmektedir. Bu çalışmada, Ti6Al4V iş parçası üzerinde meydana gelen çapak oluşumları SEM analizi kullanılarak incelenmiştir.

4.5 Soğutma Yöntemleri

Talaşlı imalat esnasında iş parçası ve takım arasında oluşan sürtünme nedeni ile açığa çıkan ısının takım ömrü ve iş parçasına etkilerine en aza indirmek için çeşitli soğutma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada soğutma yöntemleri olarak MMY yağlayıcılar ve kriyojenik soğutma yönteminden faydalanılmıştır. Kriyojenik soğutma için kullanılan sıvı azot tankı ve dolum ünitesi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Kriyojenik soğutma için kullanılan Lowtemp marka sıvı azot tankı

Ayrıca yapılan deneylerde kriyojenik soğutmanın talaşlı imalat esnasında tezgâha püskürtülme yöntemi Şekil 4.7’de görülmektedir.



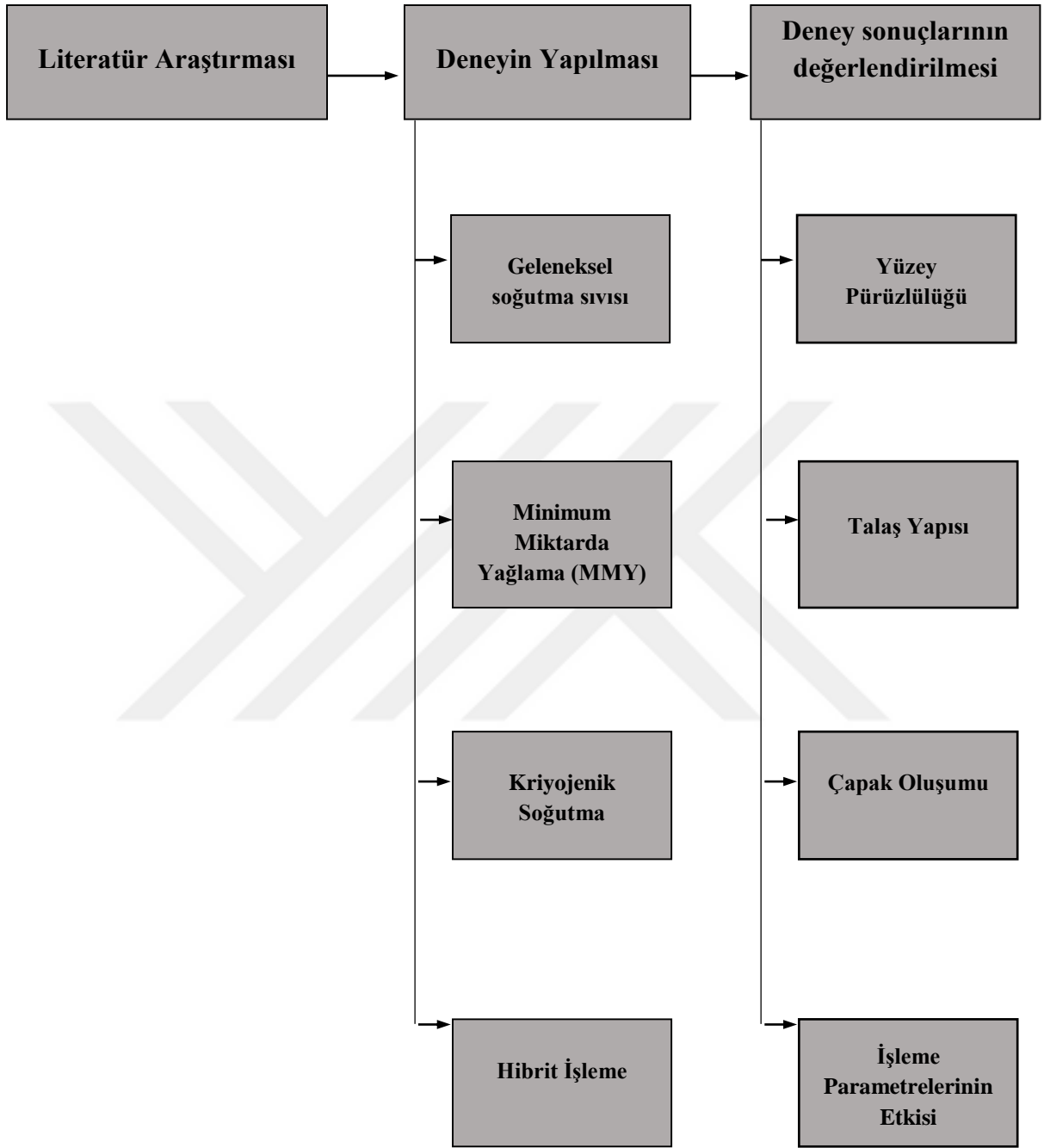
Şekil 4.7: Hibrit işleme yöntemi ile Ti6Al4V alaşımının işlenmesi

4.5.1 Soğutma sistemlerinin tasarımı

Titanyum alaşımının frezeleme işleminde 3 farklı soğutma sistemi kullanılmış olup kriyojenik işleme için sistem tasarımı yapılmıştır. Minimal miktar yağlama, sıvı azot kullanımı yani kriyojenik işleme ve kuru kesme koşullarında deneyler gerçekleştirilmiştir [38].

Kesme işlemi boyunca yağlamanın etkisini ortaya koyabilmek için minimal miktar yağlama (MMY) sistemi kullanılmıştır. Bu ekipman, üzerinde bulunan yağ haznesindeki akışkan sıvıyı basınçla hava yardımıyla ve ince bir kesite sahip hortum kanalıyla sistemin ucundaki nozula iletmektedir. Oldukça dar bir kesite sahip olan nozula çarpan basınçlı akışkan, ayrılarak buharlaşmakta ve kesme bölgesine iletilmektedir. Bu sayede, özellikle kesici takım ile iş parçası ara yüzünde bir yağ film oluşturularak sürtünme şartlarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu sistemle yapılan yağlama işlemiyle birlikte, soğutma sıvısı tüketiminde de tasarruf sağlanmıştır. Yağlama sistemi, yağlayıcı sıvıyı anlık püskürtme şeklinde hedef noktaya iletmektedir.

Deney de yapılan adımların kolay anlaşılması amacıyla Şekil 4.8' de çalışmanın organizasyon şeması verildi.



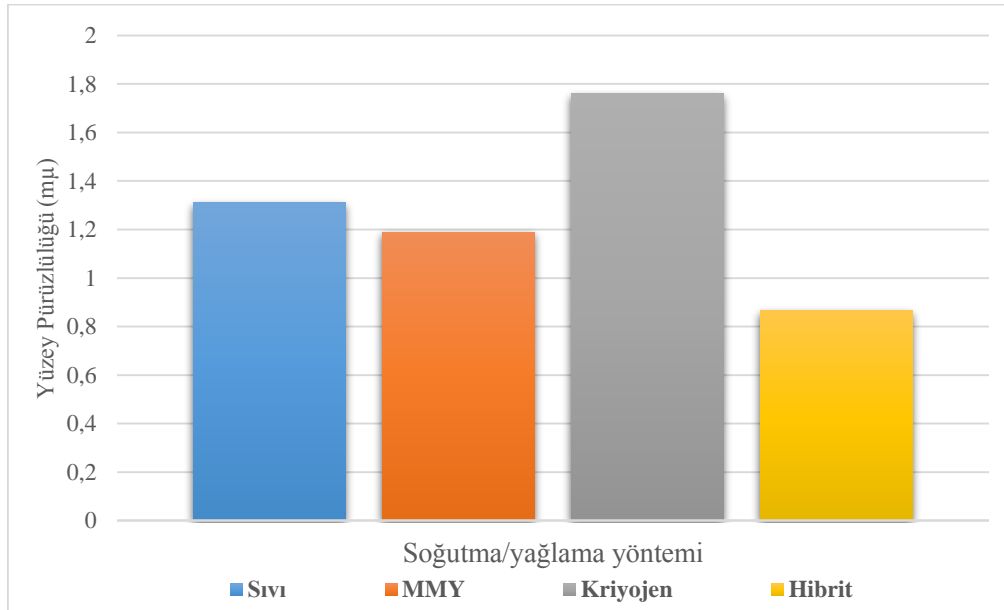
Şekil 4.8: Deneysel çalışmanın organizasyon şeması

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ti6Al4V alaşımının frezelenmesinde hibrit işlemenin etkilerini belirlemek için yöntemlerin etkilerinin belirlenmesi önemlidir. Bu bölüm deneyden elde edilen sonuçlar ve analizlerini içermektedir. Sırasıyla soğutma sıvısı, MMY, Kriyojen ve hibrit işlemenin talaş morfoloji, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelendi.

5.1. Soğutma Yöntemlerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi

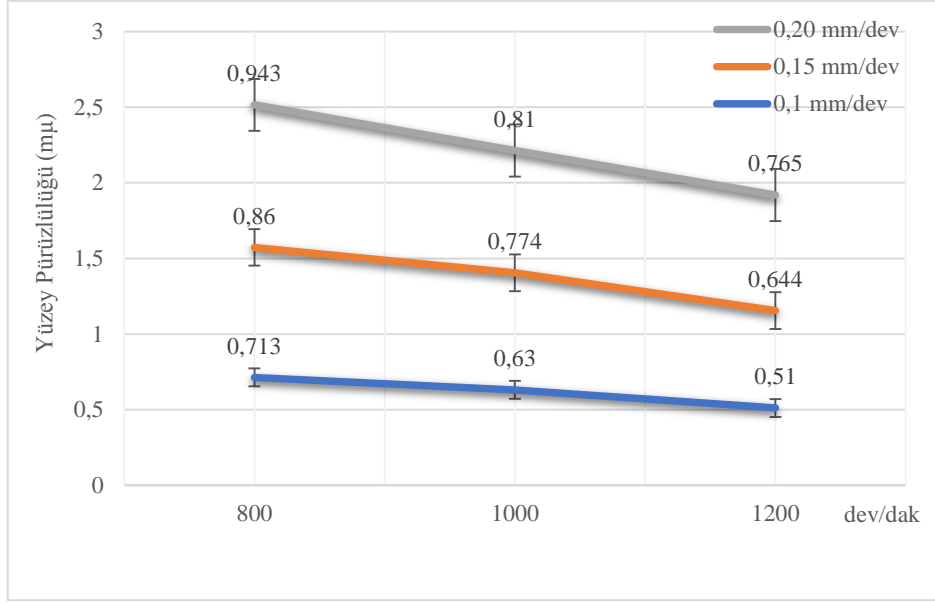
Farklı soğutma/yağlama teknikleri uygulanarak frezeleme sonrası yüzeyden alınan pürüzlülük ölçümlerinin değişimleri Şekil 5.1 de verilmiştir. Grafikte belirtilen değerler ortalama yüzey pürüzlülük değeri Ra ya göre ölçüm sonuçlarını içermektedir. Yapılan deney sonucunda tüm kesme hızı değerleri için hibrit işleme ile yapılan işleme sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri diğer yöntemlere göre daha düşük çıkmıştır. Bunu sırasıyla MMY, sıvı ve kriyojenik soğutma/yağlama işlemi takip etmiştir. Kriyojenik işleme de en yüksek yüzey pürüzlülük sonuçları ölçülmesinin en önemli sebebi LN₂ 'nin yağlama kabiliyetinin çok iyi olmamasıdır. Literatür çalışmalarında da buna benzer sonuçlar belirtilmiştir [39].



Şekil 5.1: İşleme yöntemlerine göre yüzey pürüzlülüğün değişimi (1000 dev/dak-0.15 mm/dev)

Soğutma sıvısı ise pürüzlülüğün fazla olması, Ti6Al4V alaşımının işlenmesinde meydana gelen yüksek sıcaklıkları soğutmanın yetersiz kaldığı düşünülmektedir. Buna ilaveten iletilen soğutma sıvısının hacmindeki değişikliklere bağlı birincil kesme bölgesindeki termo plastik kararsızlığında pürüzlülüğe etkisi olmuştur. MMY’de ise soğutma sıvısına yakın bir yağlama özelliği göstermesi nedeniyle pürüzlülük değeri yakın elde edilmiştir. Hibrit işlemede en düşük pürüzlülük sonucunun elde edilmesi işleme esnasında diğer yöntemlere göre etkin bir soğutma/yağlamanın meydana gelmesidir. Bu durum aynı zamanda talaşın akışını da kolaylaştırarak, talaşın işlenen yüzey ile etkileşimini azaltıp yüzey pürüzlülüğünün düşmesine sebebiyet vermiştir. Deneyde işleme parametrelerinin fazla olması ve sonuçların benzer bir diziliş göstermesi nedeniyle bu çalışmada sadece 1000 dev/dak-0.5 mm/dev işleme değerindeki sonuçlar verilmiştir. Yapılan farklı soğutma/yağlama yöntemlerinin doğrudan talaşın yapısını ve bununda doğrudan yüzey kalitesini etkilemiştir.

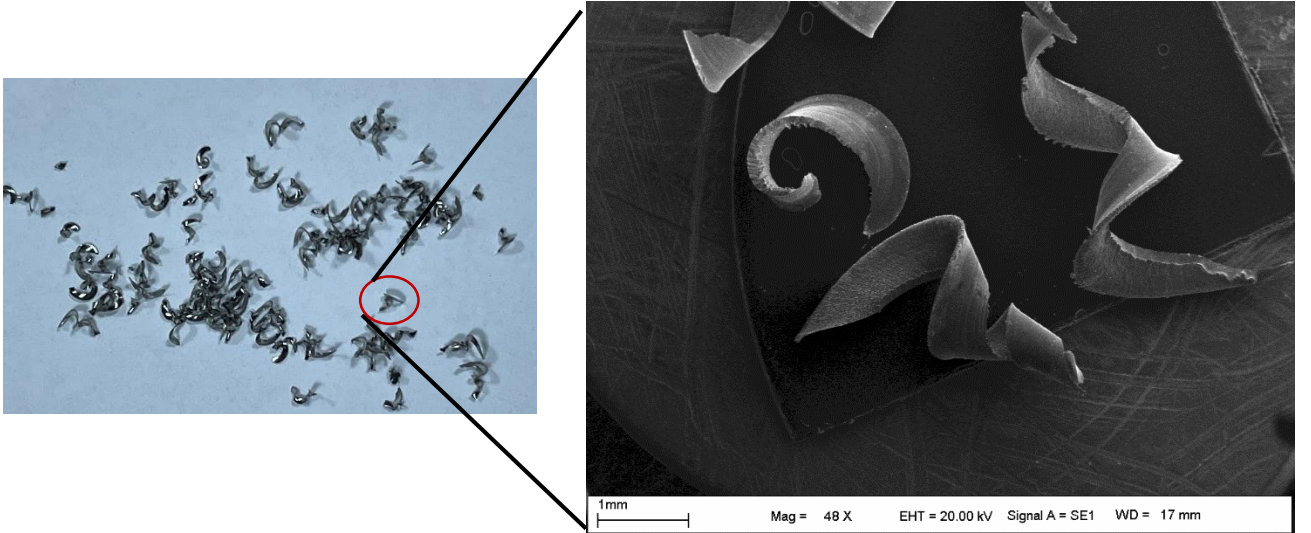
İşleme parametrelerinin yüzey kalitesine etkileri incelendiğinde ise genel olarak ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Devir sayısının artması ise yüzey kalitesini iyileştirmiştir. (Şekil 5.2). Bunun sebebi devir sayısının artması takım/talaş temas yüzeyini azaltmaktadır. Ayrıca ikincil deformasyon bölgesinde meydana gelen sürtünmeyi azaltması takımın aşınmasını yavaşlatmaktadır [40]. Bu durumda takımın daha kararlı kesmesine neden olarak yüzey kalitesinin iyileştirmiştir. Kesme hızının artmasına bağlı olarak artan kesme sıcaklığının da iş parçanının akma mukavemetini azaltmasının yüzey kalitesini etkilediği düşünülmektedir. İlerlemenin artması ise talaş kesit alanını artırdığı için birincil deformasyon bölgesinde talaş kaldırmak için uygulanan kuvvetlerin artmasına dolayısıyla gerilmenin artmasına neden olmaktadır. Bu durum literatürde titanyum alaşımlarının işlenmesinde elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermiştir [41]. Buna ilaveten ilerlemenin artması, kuvvetlerin artmasına, kayma açısının düşmesine ve kaldırılan talaş hacminin artması pürüzlülüğün artmasına neden olduğu da belirtilmiştir [42]. Ayrıca düşük hızlarda işlemenin yığıntı talaş (Built up Edge -BUE) oluşumunu yoğun olarak meydana geldiği görülmüştür [43]. Bu durum Ti6Al4V alaşımının işlenmesinde benzer şekilde gözlemlendi ve bunun da yüzey pürüzlülüğünü artırdığı tespit edildi. Yüksek kesme hızlarında talaş oluşumundaki süreklilik ve BUE ‘deki azalma yüzey kalitesini iyileştirmiştir. Bu bölümde de soğutma/yağlama yöntemlerine göre işleme parametreleri benzer eğilim göstermesi nedeniyle çalışmada önemli olan hibrit işlemeye göre sadece grafik çizdirildi.



Şekil 5.2: İşleme parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

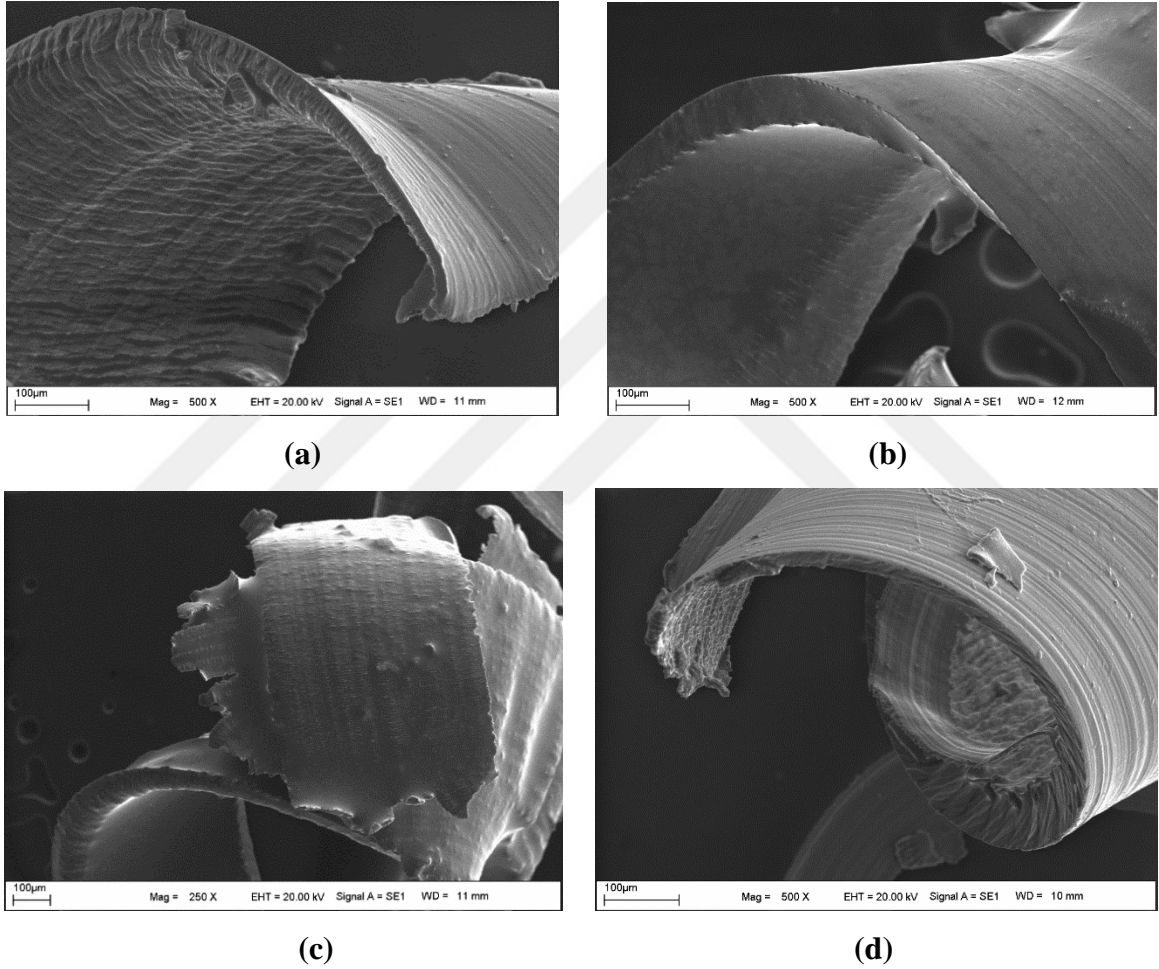
5.2. Soğutma Yöntemlerinin Talaş Yapısına Etkisi

Talaşın görünümü birçok faktöre bağlıdır, ancak burada ilerleme önemli bir faktördür. Bunun yanında malzeme özellikleri soğutma, yerleşme açısı, gibi parametrelerden de etkilenmektedir. İlerlemenin değişimi talep boyutuna ve sıkıştırma faktörünü etkilemektedir. Deney sonucunda düşük kesme hızlarında arzu edilen, kıvrılmış /C şekilli süreksiz talaş üretilmiştir (Şekil 5.3). Düz süreksiz parçalı bir talaş şekli genel olarak daha yüksek hızlarda üretilmektedir [44].



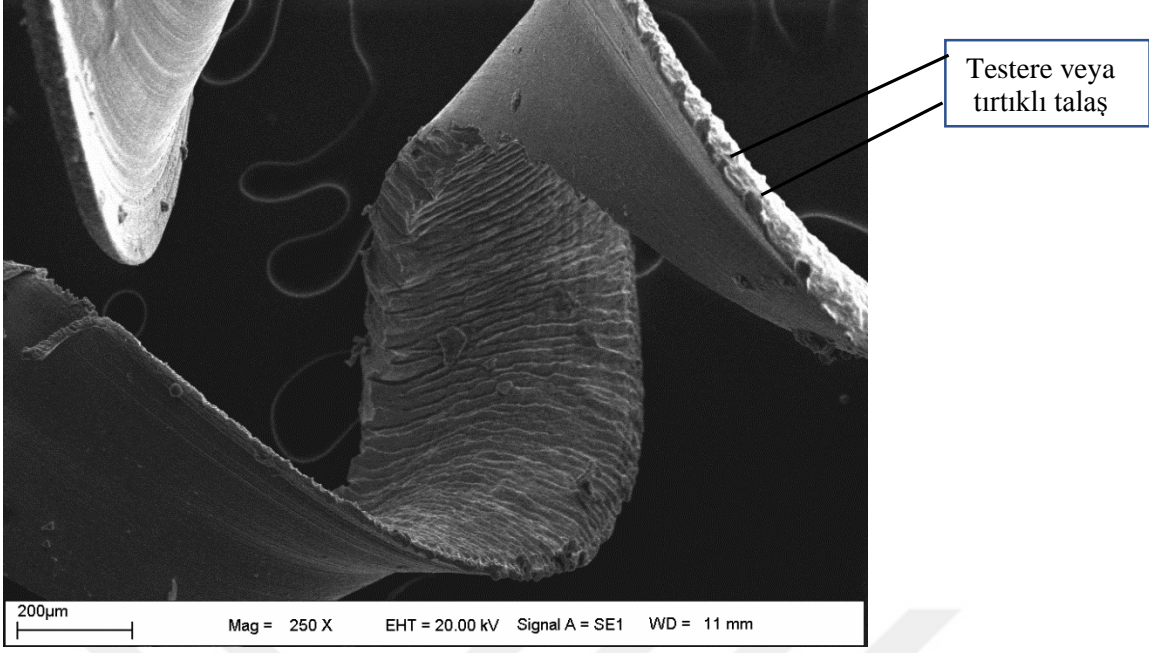
Şekil 5.3: Talaş yapısının değişimi

Her soğutma/yağlama yönteminde düşük ve yüksek kesme hızlarında farklı boyutlarda talaşlar üretilmiştir. Düşük kesme sıcaklıkları talaşlarda artan sertlik ve düşük süreklilikleri nedeniyle kıvrılarak sürekli talaş oluşmasını desteklemediği görüldü (Şekil 5.3). Bu durum talaş morfolojisinin işleme bölgesine iletilen kesme sıvısının hacmindeki değişikliklerin yanı sıra kesme hızındaki değişikliklerinden etkilendiği anlamına gelmektedir. Daha önceki çalışmalar, talaş morfolojisinin büyük ölçüde kesme parametrelerinde değişikliklere ve kesme sıvılarının termal ve fiziksel özelliklerine ve ayrıca sağlanan miktarlara bağlı olduğu konusunda hem fikirlerdir [45].



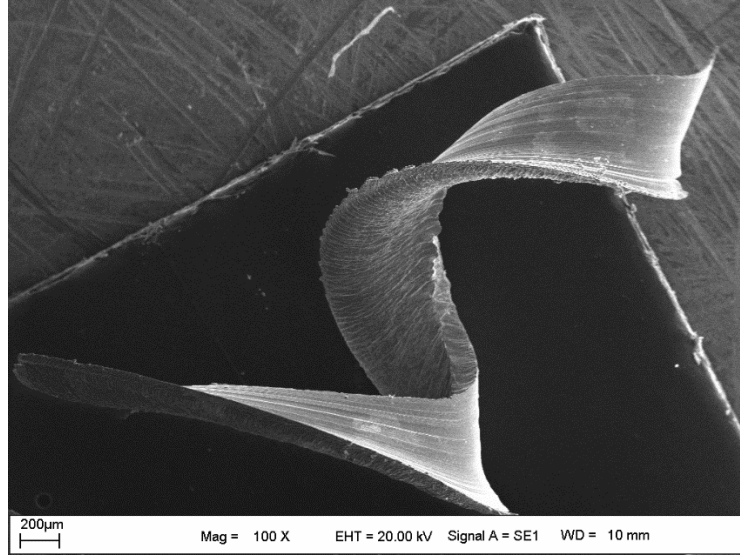
Şekil 5.4: İşleme yöntemine göre talaş yapılarının değişimi (a) Soğutma sıvısı (b) MMY (c) Kriyojenik (d) Hibrit işleme

Geleneksel soğutma sıvısı ile işlemede büyük tırtıkları (testere diş) şeklinde talaşların oluşması ve düşük kesme hızlarında talaşsız yüzeyin sonunda daha fazla çatlak ilerlemesi meydana gelmiştir (Şekil 5.4). Bunun nedeni, geleneksel sistemin işleme bölgesinde yeterli miktarda kesme sıvısını etkili bir şekilde iletilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna benzer eğilimler daha önceki çalışmalarda da belirtilmiştir [46].



Şekil 5.5: Geleneksel soğutma sıvısına göre talaş yapısı

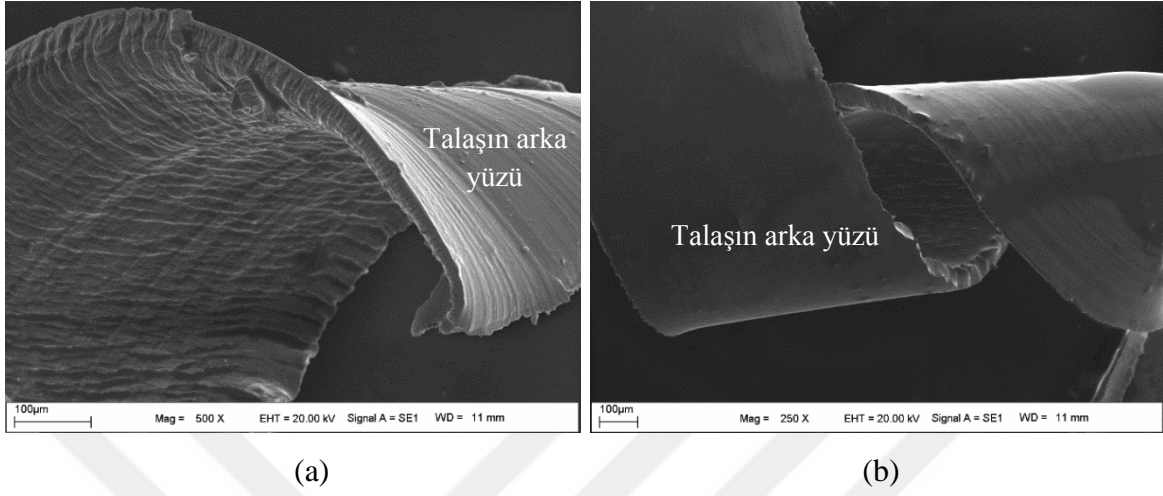
MMY kullanılarak yapılan frezeleme işleminde, talaşın serbest yüzeyinin son kısımları çok tırtıklı veya testere diş talaş yapısı geleneksel soğutmaya göre daha oluştuğu görüldü (Şekil 5.5). Bu testere tipi talaşlarının esas oluşum nedeni birincil kesme bölgesi içindeki çatlak ilerlemesidir. Düşük kesme hızlarında talaş malzemesinin sünekliği azalır ve daha düşük kesme sıcaklığı sayesinde kesme bölgesinde çatlak başlangıcını teşvik etmektedir.



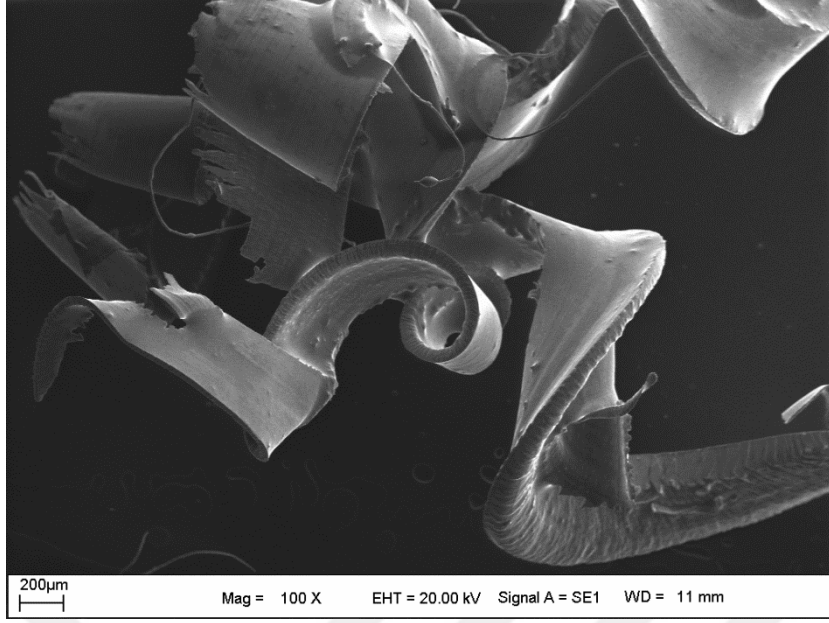
Şekil 5.6: MMY ile işlemede talaş yapısı

Ek olarak, her iki yöntem tarafından üretilen talaşlarda kesici takımın talaş yüzeyi ile temas halinde yüzeyler benzer şekilde pürüzsüz olarak elde edilmiştir. Arka kısmın plastik deformasyonu talaş yüzeyi tarafından saklanmaktadır ve sonuç olarak talaş kesici takım

talaş yüzeyi üzerinden kayarken yüksek temas basıncı ve sürtünme kuvveti ile karşılaşır sürtünme kuvvetlerinin, yüksek temas basıncının ve yüksek sıcaklığı birleşik etkileri arka yüzeyin pürüzsüz ve nispeten parlak olmasına neden olur (Şekil 5.6).

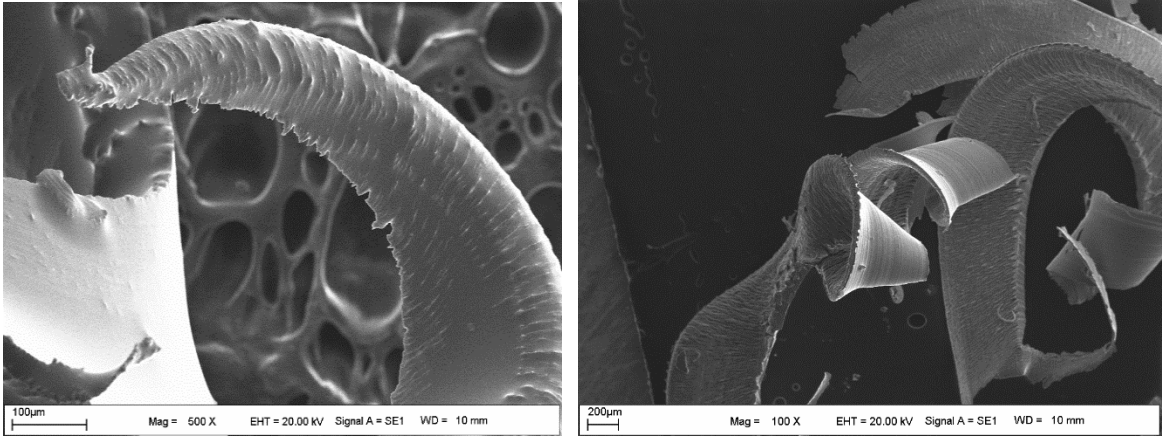


Şekil 5.7: Talaşın arka yüzünün SEM görüntüleri (a) Geleneksel soğutma sıvısı (b) MMY Kriyonik işlemede takım/talaş yüzeyinde MMY ve soğutma sıvıları ile karşılaştırıldığında daha düşük sıcaklıklar meydana geldiği için kesme bölgesinde malzeme direnci daha fazla olmuştur. Gerek işleme sırasında gerekse işleme sonrasında alınan talaş görüntüleri, özellikle kesme sıvısı olarak kriyojenik kullanıldığında talaş kalınlığında azalma ve daha iyi talaş kırılması meydana geldiği tespit edildi (Şekil 5.7). Kriyojenik işletmede, takım-talaş arayüzüne verimli bir şekilde nüfuz ettiğinden, azaltılmış sürtünme ve kesme kuvveti nedeniyle ıslak işlemeye kıyasla talaş kırılabilirliği artırmıştır. Ayrıca, kriyojenik sıvıların uygulanması talaşta daha iyi bir katmanlama etkisi yaptığı, yapışma ve sürtünmede bir azalma elde edilmiştir, bu da talaşların kalınlığının azalmasına yol açtığı düşünülmektedir. Buna ilaveten kriyojenik işlemede oluşan talaşlarla doğrudan temas ettiğinde talaş malzemesinin doğası sünekten kırılgana değişecektir, bu da talaşın daha iyi kırılmasına yardımcı olacağı literatürde de belirtilmiştir [47].



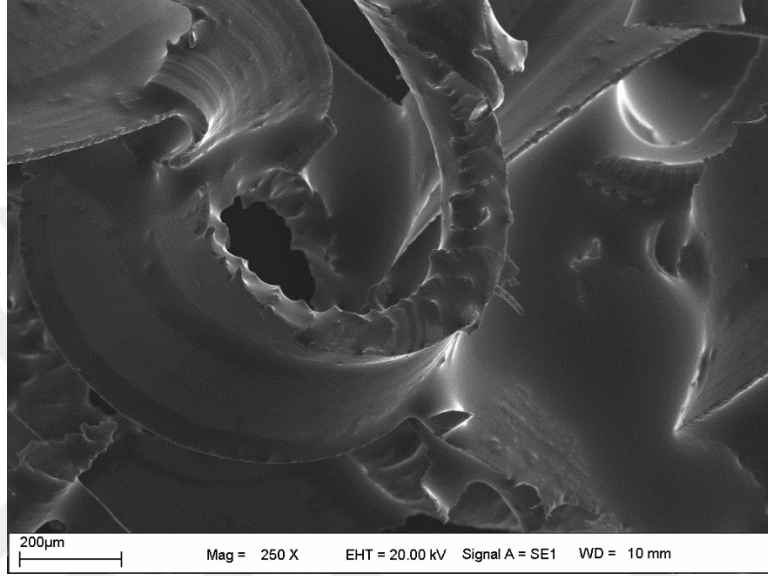
Şekil 5.8: Kriyojenik işleme sonrası meydana gelen talaş yapısı

Kriyojenik soğutmada, talaş malzemesinin sünekten gevrek hale geçişi, kesme bölgesinin yakınında gerçekleşti, bu da daha iyi talaş kırılmasına ve talaş kalınlığının azalmasına yardımcı oldu. Genellikle titanyum ve alaşımlarının işlenmesinde, bu malzemelerin ısı iletkenliği düşük olduğundan tırtıklı ve parçalı talaşlar görülmektedir [48]. Parçalı talaşlar, hızlı takım aşınmasını ve düşük talaş kaldırma oranlarına sebep olmaktadır [49]. MMY ve soğutma sıvısı ile işlemeyen elde edilen talaşlarda daha küçük boyutlu tırtıklar oluşmuştur (Şekil 5.8). Kriyojenik soğutma, MMY ve ıslak işleme ile karşılaştırıldığında tek tip ve daha küçük tırtıklarla talaşların oluştuğu gözlemlendi. Talaşlardan ölçülen ortalama hat ve değerleri MMY, soğutma sıvısı ve kriyojenik işlemede sırasıyla 145µm, 175µm ve 112µm dir. Titanyum alaşımının MMY, soğutma sıvısı ve kriyojenik altında işlenmesinde elde edilen talaşlardan ölçülen ortalama tepe değerleri sırasıyla 65µm, 73µm ve 58µm'dir.



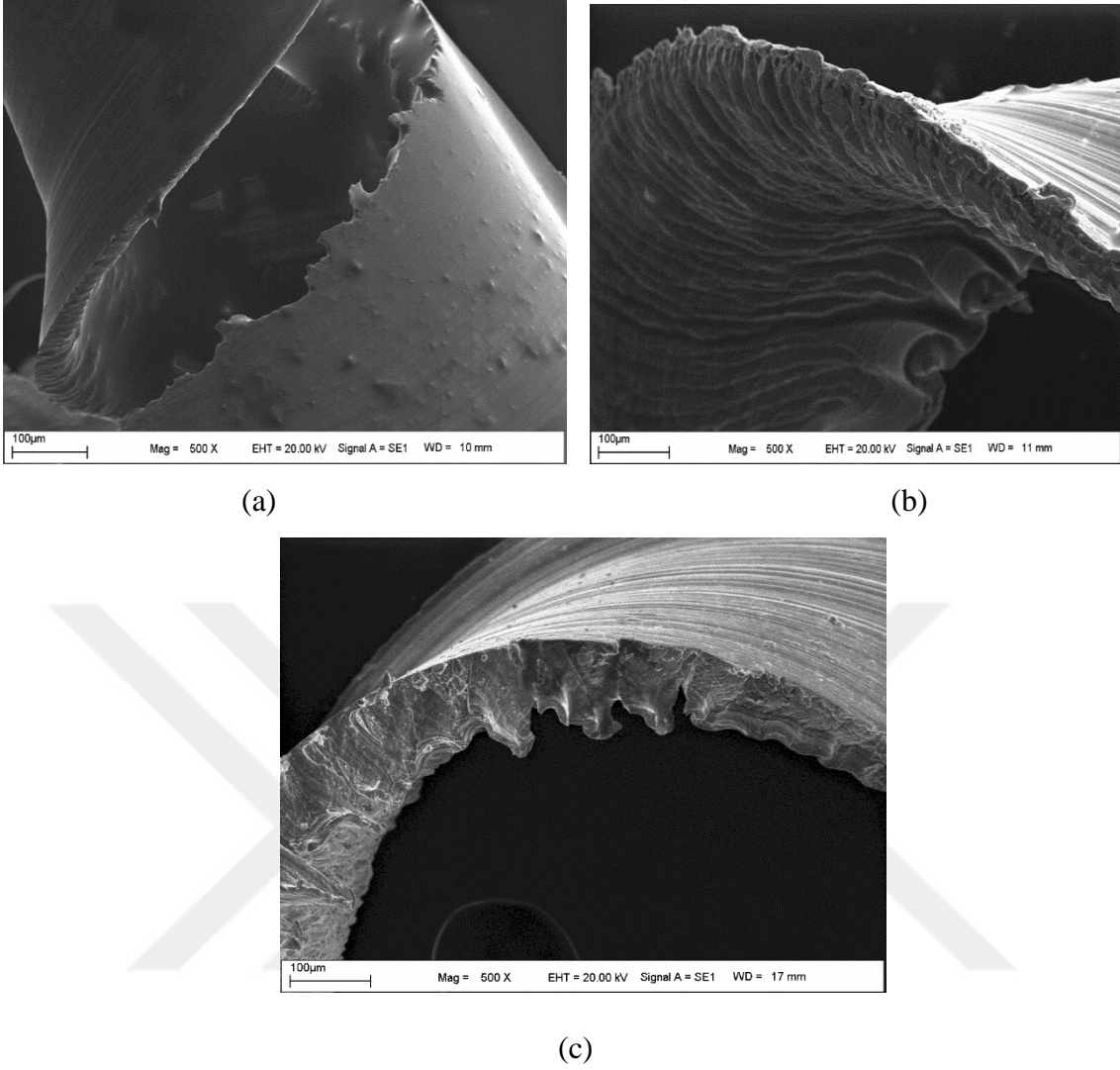
Şekil 5.9: Kriyojenik işlemede meydana gelen testere talaş yapısı

Hibrit işlemede ise, yüksek kesme hızlarında, hibrit soğutma, soğutma sıvılarına göre üstünlüğüne rağmen MMY'den daha iyi performans gösterememiştir (Şekil 5.9). Bu aynı anda MMY, soğutma sıvısı ve kriyojenin uygulamasında, kriyojenin MMY'nin kayganlığını olumsuz yönde etkilemesine bağlandığı düşünölmektedir. Ayrıca, yüksek kesme hızlarında, donmuş yağ damlasının takım yüzeyine, takım/talaş ve takım/iş parçası ara yüzlerine yapışmasını engellediği ve talaş yanmasına neden olan yan aşınmaya da neden olmuştur.



Şekil 5.10: Hibrit işlemede meydana gelen talaş yapısı

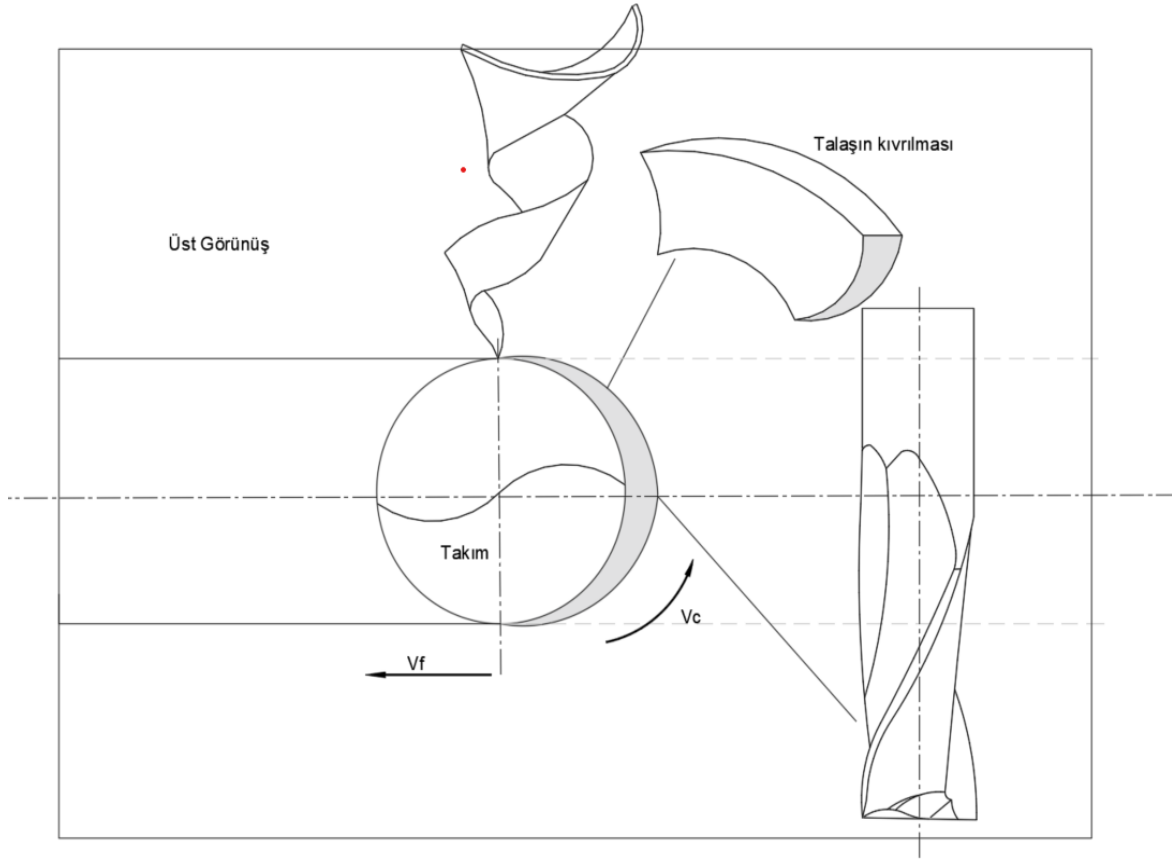
Genel olarak tüm işleme koşulları ve kesme hızları için ilerlemenin artmasıyla talaş kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.10). Özellikle ıslak işleme sırasında, düşük bir kesme hızında, uzun ve kalın boru şeklinde talaşlar üretildi ve kesme bölgesinin yakınında birikerek işleme sürecini aksattığı tespit edildi.



Şekil 5.11: İlerleme değerlerine göre talaş kalınlığının değişimi (a) 0,10 (b) 0,15 (c) 0,20

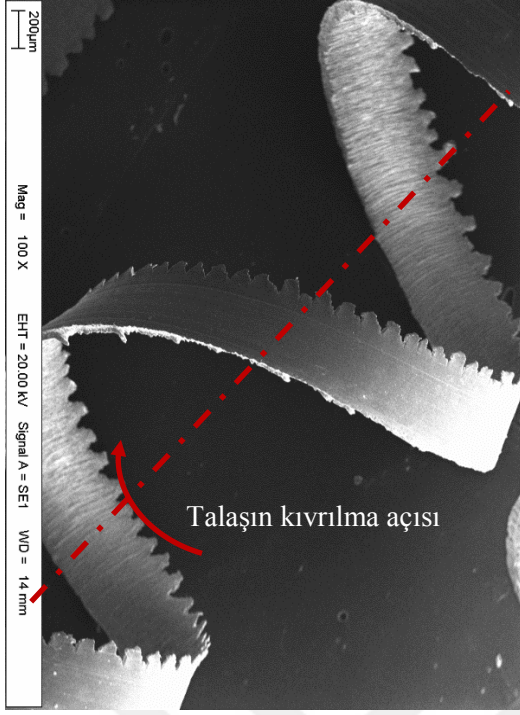
Sonuç olarak talaş oluşumu ve kırılma yönü, yüzey kalitesini, iş parçası hassasiyetini ve takım ömrünü etkilediğinden işlemede çok önemli olduğu görüldü.

Frezeleme işleminde talaş oluşumu, talaşın kesme kenarından ayrılması ile tamamlanmaktadır. Şekil 5.11’de görüldüğü üzere talaş kesiti değişken olduğu talaş kalınlığı da değişmektedir. Talaş kaldırma yöntemi temas açısına bağlı olarak tam simetrik frezelemedir. Freze takımının çapı parça genişliğinden küçüktür. Böylece kesme işleminin başlangıç noktasında ve bitiş noktasında talaş kalınlığı sıfırdır, ortasında ise maksimum değerdedir. Talaş kalınlıkları ve imalat esnasında talaş oluşum bölgeleri Şekil5.12’de gösterilmiştir. Bu durum ayrıca talaşın kesiti boyunca ısının değişkenlik göstermesine neden olduğu düşünülmektedir. Ancak ilerleme ve dönme hareketinin oluşturmuş olduğu bağlı hareket nedeni ile bütün yöntemlerde helisel kıvrımlı talaşlar meydana gelmiştir.

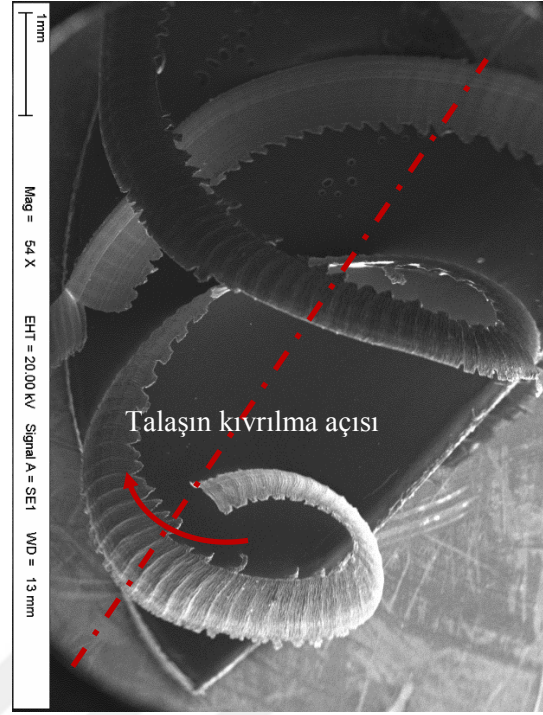


Şekil 5.12: Frezeleme yöntemine göre talaş oluşumu

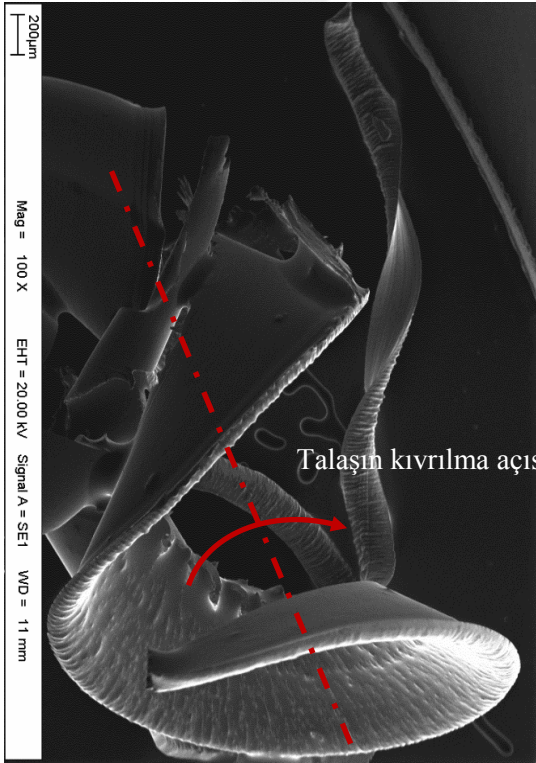
Talaş kaldırma işleminde dört farklı soğutma/yağlama yöntemi uygulansa da talaşın kıvrılma mekanizmaları birbirine benzer özellikler göstermektedir, ancak talaşın uzunluğu, kıvrılma yarı çapları değişkenlik göstermektedir. Bunun en önemli nedeni birincil ve ikincil deformasyon bölgelerinde meydana gelen ısının etkili olduğu düşünülmektedir. Talaş oluşumu, talaşın kıvrılması, yukarı doğru yönelmesi ve helis açısına bağlı olarak yönelmesi aşamaları şeklinde gerçekleşmektedir. Talaş kesiti oluşmaya başladıktan sonra talaşın kıvrılmasında, doğrudan soğutma/yağlama yöntemlerin etkili olduğu görülmüştür. Soğutma sıvısı ve MMY yöntemlerinde talaşın helikon şekline benzer şekilde yönelirken, kriyojenik işlemede genellikle konik spiral talaşların oluştuğu belirlendi. Hibrit işlemede ise C tipi kısa ve konik talaşların daha çok oluştuğu belirlendi. Hibrit işleme olması nedeniyle soğutucu/yağlayıcıların debilerindeki değişikliklerinde talaşın yapısını etkilemiştir.



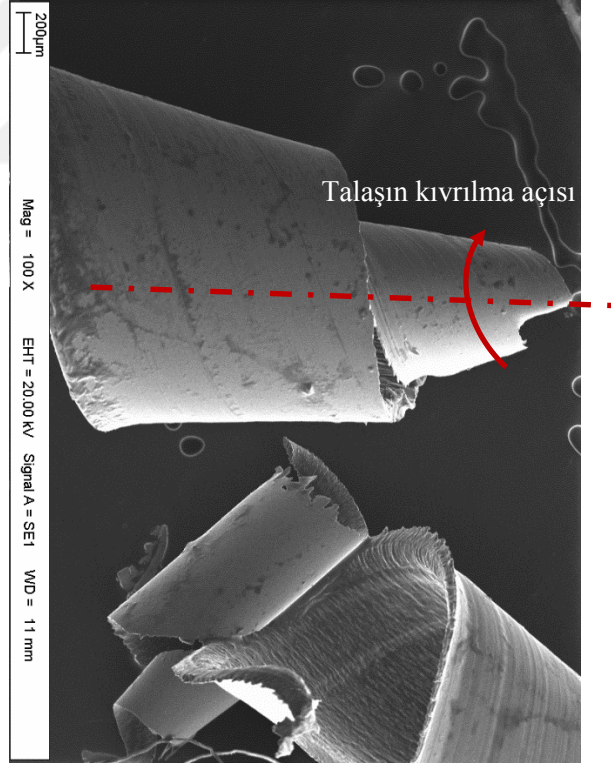
(a)



(b)



(c)

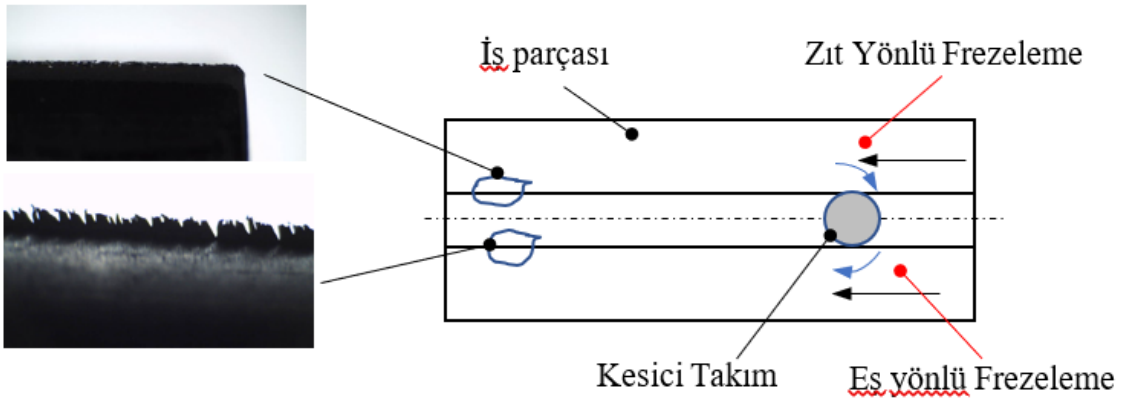


(d)

Şekil 5.13: İşleme yöntemlerine göre talaşın kıvrılması ve yönlenmesinin şekilleri a) Soğutma sıvısı b)MMY c) Kriyojenik d) Hibrit işleme

5.3. Soğutma Yöntemlerinin Çapak Oluşumuna Etkisi

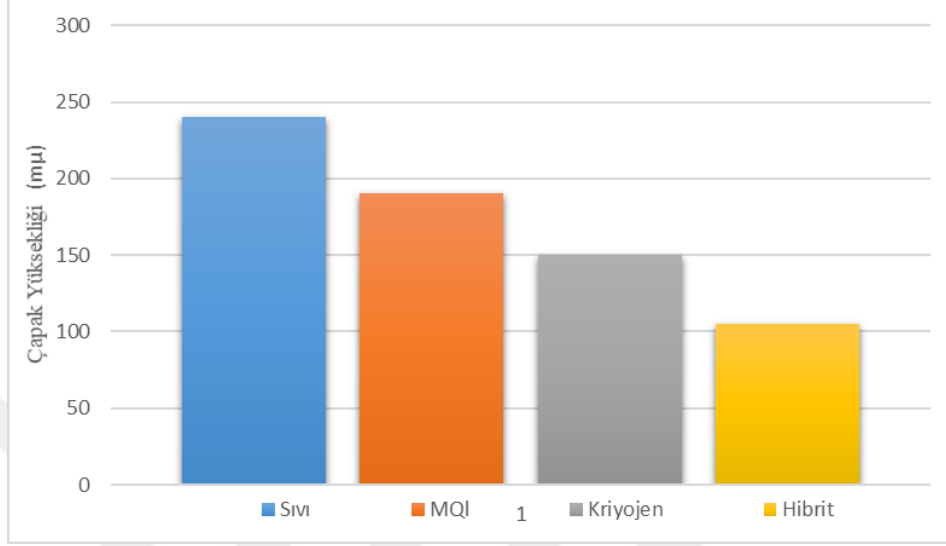
Çapak oluşumu iş parçasının toplam uzunluğu üç eşit parçaya bölünerek frezelemenin başladığı giriş, orta ve çıkış bölgesi olarak üç bölge olarak değerlendirildi. Yapılan yöntemlere göre üst bölgede, giriş bölgede, çıkış bölgede ve alt bölgede olmak üzere dört farklı çapak çeşidi gözlemlendi. Bunların üzerinde işleme parametrelerinin ve soğutma yöntemlerinin etkili olmuştur. İşleme esnasında kanalın her iki kenarında çapak meydana gelmiştir ancak büyüklükleri birbirinden farklıdır. Bu kapsamda özellikle talaşın eş yönlü frezeleme kenarında meydana gelmiştir (Şekil 5.11). Bunun sebebi de ilk kesme sonrası biriken talaşın diğer diğer kenara doğru atılması sırasında BUE ile birlikte kenara çapak birikmesine neden olmaktadır. Özellikle Ti6Al4V alaşımı alfa+beta fazlarına sahiptir ve bu fazlar malzemede deformasyon direncini artırmaktadır. Bu durumun takımın iş parçasına giriş bölgesinde kuvvetlerin aniden artmasına ve buna bağlı olarak da ısının artmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda da malzemenin plastik deformasyonu kolaylaştığı için kenarlarda çapak oluşumu meydana gelmiştir.



Şekil 5.14: Frezeleme yönüne göre çapak oluşumu

Farklı soğutma/yağlama yöntemlerinin işleme kenarlarında çapak oluşumunu etkilemiştir. Genel olarak yapılan frezeleme işlemlerinde daha az yağlama özelliği ve işlenen yüzeylerin kenarlarında çapak oluşumunu tetiklemiştir. Bu kapsamda MMY işleme, soğutma sıvına göre daha düşük boyutlarda çapak meydana getirmiştir. Kriyojenik işlemede ise meydana gelen talaş gevrek yapıya dönüşmesi nedeniyle çapak oluşumu MMY den göre nispeten daha az meydana geldiği görüldü. Literatürde de soğutulmuş hava sistemleri altındaki çapakların daha sert (martenzitik bazlı) ve dolayısıyla MMY ile işlemeye kıyasla daha kolay bükülme eğiliminde olduğu belirtilmiştir. Hibrit işlemede ise

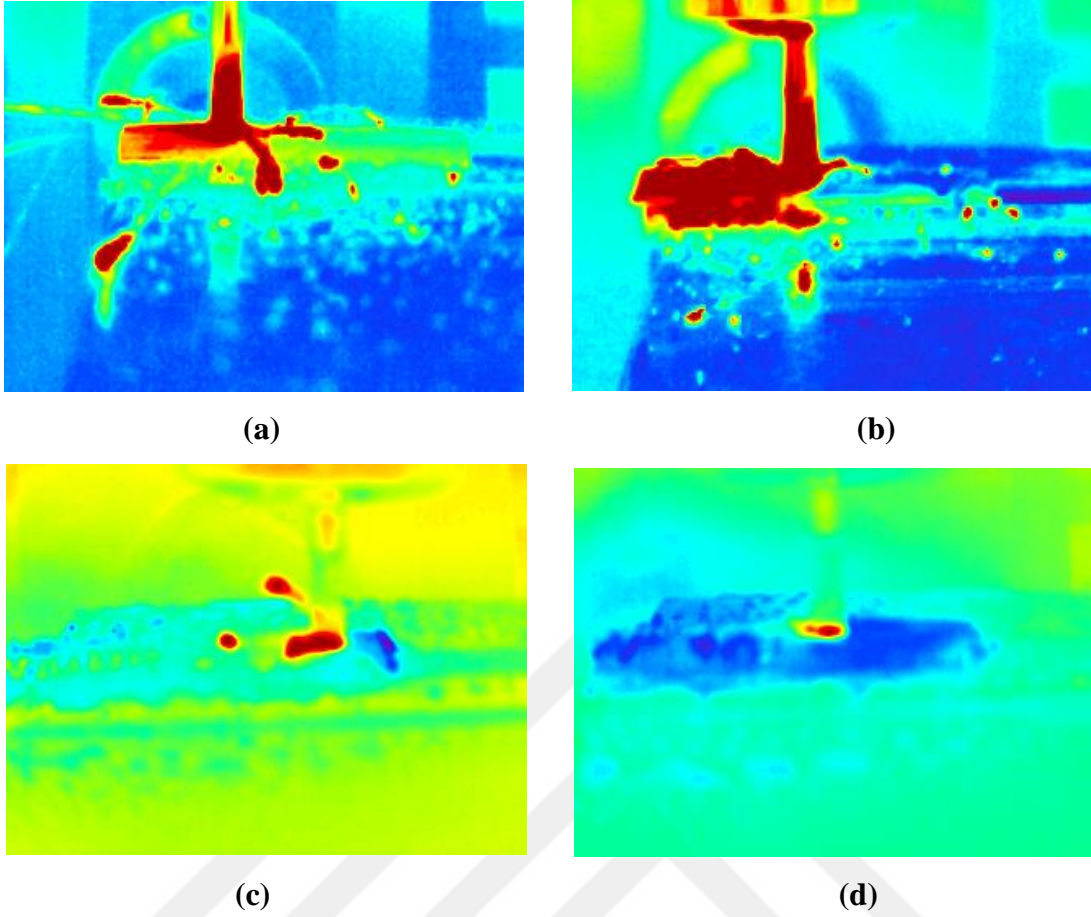
hem yağlama hem de soğutma özelliği olması nedeniyle meydana gelen ısı azaldığı için çapak oluşumu diğer yöntemlere göre oldukça düşük seviyede olduğu, oluşum bölgeleri ise işlemin sonuna doğru olduğu tespit edildi. İşleme yöntemine göre çapak oluşumlarının değişimleri Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.15: İşleme yöntemlerine göre çapak yüksekliği değişimi

5.4. Soğutma Yöntemlerinin Talaş Kaldırma Sıcaklığına Etkisi

Bütün yöntemlerde işleme parametrelerinden devir sayısının artması literatürde de belirtildiği gibi kesme sıcaklığı artmıştır. Burada önemli parametre, kesme hızının artması ile birlikte artan talaş akış hızında soğutmanın sağlanabilmesidir. İş parçasından kesme sıvısına daha fazla ısının aktarılmasına yardımcı olan soğutma kapasitesi yeterli olan kesme sıvıları, iş parçası sıcaklığında bir azalma sağlamıştır. Aynı zamanda kesme sıcaklığı takım ömrünü etkilemektedir. Yapılan deneyler sonucunda kesme sıcaklığının ortalama 510- 750°C sıcaklık aralığında değiştiği ölçüldü (Şekil 5.16). Zeilmann ve Weingaertner [50] tarafından Ti6Al4V'yi MMY ile işlerken 590 ile 640°C arasında değiştiğini belirlemişlerdir.



Şekil 5.16: Soğutma yöntemlerine göre işleme esnasında sıcaklık ölçümleri (a) Soğutma sıvısı (b) MMY (c) Kriyojenik (d) Hibrit işleme

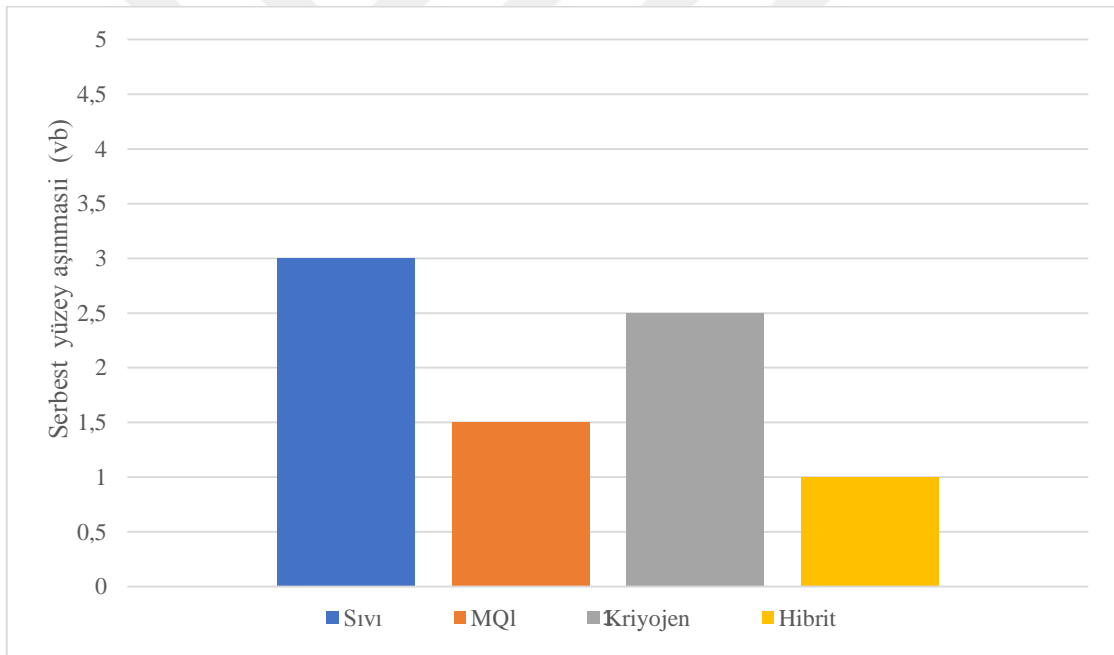
Şekil 5.16'da görüldüğü üzere soğutma/yağlama yöntemlerinin kesme sıcaklığın etkilemiştir. Talaş kaldırma esnasında Şekil 5.16 a ve b diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında kriyojenin talaş kaldırmaya ilave edilmesi talaş kaldırmada sıcaklığı önemli oranda azaltmıştır. Titanyum alaşımları lokalize kayma bantları oluşturma eğilimine sahiptir ve düşük elastisite modülleri ve termal iletkenliklerine ek olarak yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet seviyelerini koruyabilirler. Bu özellikler, işleme sırasında kesme ara yüzlerinde yüksek sıcaklıklara neden olur ve daha yüksek takım aşınma oranlarına neden olur. Titanyum alaşımlarının takım malzemeleriyle kimyasal reaktivitesi ve bunun sonucunda işleme sırasında kesici takıma yapışması, aşırı talaş oluşumuna ve/veya erken takım aşınmasına ve zayıf yüzey kalitesine yol açmaktadır. Özellikle oksidasyon, sıcaklıkla etkinleşen bir aşınma mekanizmasıdır ve kesme bölgesi çok yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında oluşur. Bu kadar yüksek sıcaklıklarda, takımın bileşenleri (özellikle bağlayıcı), atmosferde bulunan oksijen ile reaksiyona girer. Atmosfere maruz kalan takım yüzeyinde oksidasyon meydana gelir ve takımın kesme kenarına yakın kısımlarda ciddi derinlikte kesme çentiği oluşumuna neden olur. Bu çalışmada kullanılan

karbür takım, kobalt gibi bir bağlayıcı tarafından bir arada tutulan karbür parçacıklarından oluşmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, bağlayıcı malzeme karbür tanelerinden daha hızlı aşınır ve bu, karbür parçacıklarının takım yüzeyinden dışarı çıkmasına neden olmaktadır.

Bu aşınma mekanizmalarının baskın olmasının birincil nedeni, takım-iş parçası ve takım-talaş ara yüzleri arasındaki yakın temas ile birlikte birincil ve ikincil kesme bölgelerinde üretilen yüksek sıcaklıktır.

5.5. Soğutma Yöntemlerinin Takım Aşınmasına Etkisi

Bu çalışmada, karbür kesici takımlar kullanarak kuru, geleneksel soğutma sıvısı, MMY, kriyojenik soğutma ve hibrit (MMY+ kriyojenik soğutma) işleme koşullarında Ti6Al4V alaşımının frezeleme işlemi sırasında takım aşınma mekanizmalarını belirlenmeye çalışıldı. Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:



Şekil. 5.17. Soğutma Yöntemlerinin Takım Aşınmasına Etkisi

Yukarıda Şekil 5.17’de kesici takımda soğutma yöntemlerine göre meydana gelen takım aşınma değerleri belirtilmiştir. Buna göre;

Geleneksel soğutma sıvısı, minimum miktarda yağlama (MMY), kriyojenik soğutma ve hibrit dört işleme koşulunun tamamında, Ti6Al4V alaşımının işlenmesi sırasında geleneksel soğutma ile işlemede takım aşınmasının en fazla olduğu görüldü. Bu durumun temel sebebi geleneksel soğutma sıvılarının yağlayıcı özelliklerinin yetersiz olması nedeni ile sürtünmeyi azaltamamaları ve sadece ortaya çıkan ısıyı azaltmaları bu duruma neden

olduğu düşünölmektedir. Geleneksel soğutma yöntemi ile işlemede kesici takımında plastik deformasyonun kriyojenik soğutma ile işlemeye nazaran daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kriyojenik ile işleme koşulunda takım-talaş arasındaki soğutma özelliğinin çok iyi olması işleme esnasında ortaya çıkan ısıyı en aza indirgendiği gözlemlendi. Bu nedenle plastik deformasyon oluşumunun bu işlemede azaldığı göröldü. Minimum miktarda yağlama (MMY) ile işleme, Kriyojenik soğutma ile işleme koşullarına göre takım ömrünü arttırdığı tespit edildi. Minimum miktarda yağlama MMY ile işlemede yağlayıcılığın çok iyi olması nedeni ile takım-talaş arasında meydana gelen sürtünmenin azalmasını sağlamıştır. Dolayısı ile ortaya çıkan ısı miktarı sürtünmenin azalması ile daha düşük sıcaklıklarda olduğu göröldü. Genel olarak, en iyi sonucu hibrit işlemin sağladığı göröldü. Tüm işlemlerin takım aşınmasındaki etkileri fazladan aza doğru sıralandığında hibrit (MMY + kriyojenik soğutma), MMY, kriyojenik soğutma ve geleneksel soğutma sıvısı ile işleme koşulları olarak belirlendi. En iyi sonuçların hibrit işlemede görölmesinin temel nedeni karma yağlama/soğutma prosesinde MMY'nin yağlayıcılığının, kriyojenik soğutma ile işleminde soğutma özelliğinin çok iyi olması nedeni ile takım – talaş arayüzeyinde oluşan sürtünme ve ısıyı minimuma indirgeyerek ortaya çıkabilecek aşınmaları da minimuma indirgediği tespit edildi.

6. GENEL SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma sonucunda işleme yönteminde kullanılan soğutma/yağlama yöntemlerinin Ti6Al4V alaşımının işlenmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu görüldü. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde verilmiştir.

- Yüzey kalitesi üzerinde sırasıyla hibrit, soğutma sıvısı, MMY ve kriyojenin etkili olduğu ölçüldü.
- İşleme parametrelerinden devir sayısının artması ile pürüzlülüğün azaldığı ilerlemenin artması ile ise pürüzlülük artmıştır.
- Talaşın yapısı genel olarak tüm işleme yöntemlerinde kıvrılmış /C şekilli süreksiz talaşlar meydana gelmiştir. Yüksek hızlarda ise bu yapının bozularak süreksiz yapılara dönüşmüştür.
- Kriyojenin talaşı gevrek bir yapıya dönüştürdüğü ve talaş kalınlığını da azalttığı tespit edildi.
- Ti6Al4V'nin frezelenmesinde hibrit işlemin uygulanması, krater çözünme-difüzyonunu önemli ölçüde azaltmış, etkili soğutma ve yağlama nedeniyle takım aşınması-yapışma oranını kontrol etmiştir. Hibrit işlemede takım ömrü, soğutma sıvısına göre %25, MMY 'ye göre ise %20 takım ömrünü artırmıştır.
- MMY de oluşan testere talaş yapısının soğutma sıvısına göre daha düşük hatvelerde meydana gelmiştir. Talaşın arka yüzeyinin pürüzsüz olmasında özellikle yağlama özellikleri ile soğutma sıvısı ve MMY etkili olmuştur.
- Çapak Oluşumu üzerinde kesme sıcaklığının önemli olduğu, devir sayısı ve ilerlemenin etkili olduğu ancak hibrit işlemede büyük oranda çapak meydana gelmemiştir. Eş yönlü frezeleme yönünde çapakların zıt yönlü frezelemeye göre daha büyük boyutlarda meydana gelmiştir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda çevreci olmayan soğutma sıvısının ve MMY'nin azaltılarak, kriyojen ilavesiyle geliştirilen hibrit işlemede kesme sıcaklığını etkili bir şekilde kontrol edilmiştir. Bu sayede titanyum ve alaşımları gibi yüksek sertlikteki malzemelerden talaş kaldırılmasında çevreci ve verimli bir yöntem

geliştirmenin yanında diğer talaş kaldırma yöntemlerine uygulanabilir bir sistem geliştirilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] Hollis, W.S, The application and effect of controlled atmospheres in the machining of metals, *Int. Jr. Of machine tool design and research* (1961).
- [2] R. Komanduri, B.F. von Turkovich, New observation on the mechanism of chip formation when machining titanium alloys, *Wear* 69 (1981).
- [3] K. Uehara and S. Kumagai, *Ann. CIRP*, Vol 18, 1970, p 273.
- [4] Akincioğlu, S., Gökkaya, H., & Uygur, İ. (2015). A review of cryogenic treatment on cutting tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(9-12), 1609-1627.
- [5] Mandal N., Doloi B., Mondal B. and Das R., “Optimization of flank wear using zirconia toughened alumina (ZTA) cutting tool: Taguchi method and regression analysis”, *Measurement*, 44 (10): 2149–2155, (2011).
- [6] Hashimura M, Chang YP and Dornfeld D. Analysis of burr formation mechanism in machining process (Technical Paper). *J Manuf Sci E: T ASME* 1999; 121(1).
- [7] Huang, B. (2016). Cryogenic processing of AL 7050-T7451 alloy for improved surface integrity. University of Kentucky.
- [8] Kaynak, Y., Lu, T., & Jawahir, I. S. (2014). Cryogenic machining-induced surface integrity: a review and comparison with dry, MQL, and flood-cooled machining. *Machining Science and Technology*, 18(2), 149-198.
- [9] Jamil M, Khan AM, Hegab H, Hong L, Mia M, Gupta MK, He N. Effects of hybrid Al₂O₃-CNT nanofluids and cryogenic cooling on machining of Ti-6Al-4V. *Int J Adv Manuf Tech* 2019;102:3895-909.
- [10] Bermingham, M. J., Palanisamy, S., Kent, D., & Dargusch, M. S. (2012). A comparison of cryogenic and high pressure emulsion cooling technologies on tool life and chip morphology in Ti-6Al-4V cutting. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(4), 752-765.
- [11] Huang, X., Zhang, X., Mou, H., Zhang, X., & Ding, H. (2014). The influence of cryogenic cooling on milling stability. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(12), 3169-3178.
- [12] Ahmed, L. S., & Kumar, M. P. (2016). Cryogenic drilling of Ti-6Al-4V alloy under liquid nitrogen cooling. *Materials and manufacturing processes*, 31(7), 951-959.
- [13] Uçun, I., Aslantas, K., & Bedir, F. (2013). An experimental investigation of the effect of coating material on tool wear in micro milling of Inconel 718 super alloy. *Wear*, 300(1-2), 8-19.

- [14] Shokrani, A., Dhokia, V., & Newman, S. T. (2016). Investigation of the effects of cryogenic machining on surface integrity in CNC end milling of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 21, 172-179.
- [15] Rotella, G., Dillon, O. W., Umbrello, D., Settineri, L., & Jawahir, I. S. (2014). The effects of cooling conditions on surface integrity in machining of Ti6Al4V alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1-4), 47-55.
- [16] Hegab, H., Kishawy, H. A., Gadallah, M. H., Umer, U., & Deiab, I. (2018). On machining of Ti-6Al-4V using multi-walled carbon nanotubes-based nano-fluid under minimum quantity lubrication. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97.
- [17] Yıldırım, Ç. V., Kıvak, T., Sarıkaya, M., & Şirin, Ş. (2020). Evaluation of tool wear, surface roughness/topography and chip morphology when machining of Ni-based alloy 625 under MQL, cryogenic cooling and CryoMQL. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 2079-2092.
- [18] Park, K. H., Yang, G. D., Suhaimi, M. A., Lee, D. Y., Kim, T. G., Kim, D. W., & Lee, S. W. (2015). The effect of cryogenic cooling and minimum quantity lubrication on end milling of titanium alloy Ti-6Al-4V. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29(12), 5121-5126.
- [19] Sekmen, M., Günay, M., & Şeker, U. (2015). Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerine etkisi. *Politeknik dergisi*, 18(3), 141-148.
- [20] Shokrani, A., Dhokia, V., & Newman, S. T. (2016). Investigation of the effects of cryogenic machining on surface integrity in CNC end milling of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 21, 172-179.
- [21] Aramcharoen, A. (2016). Influence of cryogenic cooling on tool wear and chip formation in turning of titanium alloy. *Procedia CIRP*, 46, 83-86.
- [22] Fernández, D., Sandá, A., & Bengoetxea, I. (2019). Cryogenic milling: Study of the effect of co2 cooling on tool wear when machining Inconel 718, Grade EA1N Steel and Gamma TiAl. *Lubricants*, 7(1), 10.
- [23] Mazurkiewicz, M., Kubala, Z., & Chow, J. (1989). Metal machining with high-pressure water-jet cooling assistance—a new possibility.
- [24] Yildiz, Y., & Nalbant, M. (2008). A review of cryogenic cooling in machining processes. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(9), 947-964.
- [25] Jawahir, I. S., Puleo, D. A., & Schoop, J. (2016). Cryogenic machining of biomedical implant materials for improved functional performance, life and sustainability. *Procedia CIRP*, 46, 7-14.
- [26] Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. John Wiley & Sons.

- [27] Akkurt, M. (2009). Talaş kaldırma bilimi ve teknolojisi CNC takım tezgâhları ve üretim otomasyonu. TİAD.
- [28] Yılbaş, B. S., Şahin, A. Z., Al-Garni, A. Z., Said, S. A., Ahmed, Z., Abdulaleem, B. J., & Sami, M. (1996). Plasma nitriding of Ti-6Al-4V alloy to improve some tribological properties. *Surface and Coatings Technology*, 80(3), 287-292.
- [29] Aydoğan, O. (2011). Takım malzemelerinde aşınma hasarlarını önleyecek işlemler ve yağlayıcıların belirlenmesi.
- [30] Sağlam, H. (2001). Frezelemede Kesme Parametreleri İle Kesme Kuvvetleri Değişimi ve Bunların Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 1(3).
- [31] Uçak, N., & Çiçek, A. (2017, September). Talaşlı İmalat Süreçlerinde Kriyojenik Soğutma Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma. In *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan)*.
- [34] Kim D.- Ramulu, M.- Pedersen, W.: Machinability of titanium/graphite hybrid composites in drilling. In: *Transactions of NAMRI/SME*. Vol. 33, 2005, pp. 445-452. ISSN 1047-3025.
- [35] Aydoğan, O. (2011). Takım Malzemelerinde Aşınma hasarlarını önleyecek işlemler ve yağlayıcıların belirlenmesi.
- [36] TOSUN, N., Can, K. U. R. U., ALTINTAŞ, E., & ERDİN, O. (2010). Hava ve Geleneksel Soğutma Yöntemi ile Frezelemede Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1).
- [37] Barış, Ö., Demir, H., & Engin, N. CNC Tornalama İşleminde Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetine Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(2), 75-86.
- [38] Yılmaz, E. (2010). Etial 180 alüminyum alaşımının işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri (Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [39] Clark Jr, R., Coughran, B., Traina, I., Hernandez, A., Scheck, T., Etuk, C., ... & Es-Said, O. S. (2005). On the correlation of mechanical and physical properties of 7075-T6 Al alloy. *Engineering Failure Analysis*, 12(4), 520-526.
- [40] Fleischer, J., Masuzawa, T. S. J. K. M., Schmidt, J., & Knoll, M. (2004). New applications for micro-EDM. *Journal of Materials Processing Technology*, 149(1-3), 246-249.
- [41] Weule, H., Hüntrup, V., & Tritschler, H. (2001). Micro-cutting of steel to meet new requirements in miniaturization. *CIRP Annals*, 50(1), 61-64.

- [42] E. Ünal, F. Karaca, Ti-6Al-4V alaşımının dik işlem merkezli CNC tezgahında işlenebilirliğinin araştırılması, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 6 (2007), 135-139.
- [43] Aramcharoen, A. and Mativenga, P.T. (2008). Tool Wear Modes in Micro/Meso Scale Milling of Hardened Die Steel. 3rd Cirp International Conference High Performance Cutting. 179-188.
- [44] Ildiko Maňkova, Marek Vrabel, Ladislav Kandráč, Košice, Slovakia EVALUATION OF CHIP MORPHOLOGY WHEN DRILLING TITANIUM ALLOY, *Cutting & Tools in Technological System*, 2019, 91
- [45] Ahmed L.S., Kumar M.P., Cryogenic drilling of Ti- 6Al-4V alloy under liquid nitrogen cooling, *Mater. Manuf. Processes*, 31 (7), 951-959, 2016.
- [46] Biermann, D. and Hartmann, H., "Reduction of burr formation in drilling using cryogenic process cooling," *Procedia CIRP*, vol. 3, pp. 85-90, 2012.
- [47] Giasin K., Ayvar-Soberanis S., Hodzic A., The effects of minimum quantity lubrication and cryogenic liquid nitrogen cooling on drilled hole quality in GLARE fibre metal laminates, *Mater. Des.*, 89, 996-1006, 2016.
- [48] Slodki B., Struzikiewicz G., Slusarczyk L. (2016) Influence of cutting fluid conditions and cutting parameters on the chip form in turning of titanium and steel alloys. *Key Engineering Materials* (686): 74 – 79.
- [49] Rahim E.A., Kamdani K., Sharif S.: Performance evaluation of uncoated carbide tool in high speed drilling of Ti6Al4V. (2008), *J Adv Mech Des Sys Manuf* vol. 2, pp. 522–531
- [50] Zeilmann, R. P., & Weingaertner, W. L. (2006). Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant. *Journal of Materials Processing Technology*, 179(1-3), 124-127

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Eray SARIGÜL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- 2018-2022 (Halen) Malatya 7. Anajet Üssü JSF Üssü Şantiyesinde çalışmakta.

YÜKSEK LİSANS VEYA DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

- BAHÇE, E., & SARIGÜL, E. (2021). An investigation of the effects of cryogen application direction on Ti6Al4V alloy milling. *Journal of Advances in Manufacturing Engineering*, 2(2), 42-48.
- BAHÇE, E., & SARIGÜL, E. & EMİR, E. (2019). Ti6Al4V Alaşımının Sıfır Altı Isıl İşlem ile Tornalanmasının Yüzey Kalitesine Etkilerinin Araştırılması. *ISPEC Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi*, 41-46.
- BAHÇE, E., & SARIGÜL, E. (2021). Ti6Al4V Alaşımının Kriyojenik Soğutma ile Frezelemenin Yüzey Kalitesine ve Talaş Morfolojisine Etkilerinin Araştırılması. 4. International Symposium On Current Developments In Science, Technology And Social Sciences,