

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON ve İMALAT BİLİM DALI**

**DİŞİ GEOMETRİYE SAHİP TİTANYUM ALAŞIMI
MALZEMELERİN FREZELENMESİNDE YAKLAŞMA
HAREKETLERİNİN TAKİM ÖMRÜNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Ozan ÇAYDAŞ

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Elif MALYER**



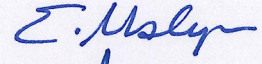
MANİSA-2019

TEZ ONAYI

Ozan ÇAYDAŞ tarafından hazırlanan "Diş Geometriye Sahip Titanyum Alaşımı Malzemelerin Frezelenmesinde Yaklaşma Hareketlerinin Takım Ömrüne Etkilerinin İncelenmesi "adlı tez çalışması 19/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Elif MALYER
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



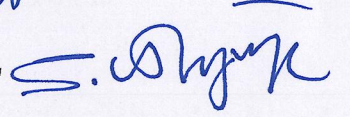
Jüri Üyesi

Doç.Dr. Ahmet Murat PİNAR
Pamukkale Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Selda AKGÜN KAYRAL
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ozan ÇAYDAŞ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Titanyum ve Alaşımları ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	3
1.2. Tezin Amacı	8
2. GENEL BİLGİLER	9
2.1. Titanyum ve Alaşımlarının Genel Özellikleri	9
2.1.1. Titanyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	13
2.1.1.1. α Fazlı Titanyum Alaşımları	14
2.1.1.2. Yakın α Fazlı Titanyum Alaşımları	14
2.1.1.3. $\alpha+\beta$ Fazlı Titanyum Alaşımları	15
2.1.1.4. β Fazlı Titanyum Alaşımları.....	15
2.1.2. Ti6Al4V Titanyum Alaşımı ve İçyapısı	17
2.2. Titanyum Alaşımlarının Isıl İşlemi	19
2.2.1. Gerilme Giderme Tavlama	22
2.2.2. Tavlama.....	24
2.2.3. Çözeltiyeye Alma ve Yaşlandırma	25
2.3. Titanyum Alaşımlarının İşlenebilirliği.....	28
2.3.1. Titanyum Alaşımlarının İşlenmesinde Meydana Gelen Talaş Formları.....	33
2.3.2. Titanyum ve Alaşımlarının İşlenmesinde Kesici Takım Seçimi.....	36
2.3.3. Titanyum Alaşımlarının İşlenmesinde Meydana Gelen Aşınma Tipleri.....	39
3. MATERYAL VE YÖNTEM	43
3.1. Materyal.....	43
3.1.1. İş Parçası.....	43
3.1.2. Kesici Takım.....	44
3.1.3. Takım Tutucu.....	44
3.1.4. Isıl İşlem Fırını	44
3.1.5. CNC Dik İşleme Merkezi	45
3.1.6. Mikroskop.....	45
3.1.7. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı	46
3.2. Yöntem	46
3.2.1. Isıl İşlemlerin Yapılması.....	46
3.2.2. Numunelerin CNC Dik İşleme Merkezinde İşlenmesi.....	47
3.2.3. Kesici Takım Aşınmalarının Mikroskopta İncelenmesi	51
3.2.4. İş Parçasının İşlenmiş Yüzeylerinde Yüzey Pürüzlülük Ölçümü.....	51
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	52
4.1. Deney Sonuçları	52
4.1.1. Isıl İşlem Sonuçları.....	52
4.1.2. İş Parçası Yüzey Pürüzlülük Değerleri	53
4.1.3. Kesici Takım Aşınması	58
4.2. Tartışma.....	60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	63

KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	71



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
BUE	Built-up Edge (Yığıntı – Yığıma Talaş)
°C	Santigrat Derece
CAM	Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
CBN	Cubic Bor Nitride (Kübik Bor Nitrür)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol)
dev	Devir
dk	Dakika
HMK	Hacim Merkezli Kübik
HRC	Rockwell Sertliği
HSP	Hegagonal Sıkı Paket
Hv	Vickers Sertliği
kW	Kilowatt
lt	Litre
mm	Milimetre
µm	Mikrometre
Mpa	Megapascal
MQL	Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)
N	Devir
R_a	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
sa	Saat
XRD	X-Ray Diffractometer (X Işını Kırınım Ölçer)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Şekil 1.1. Yıllara göre yayınlanan makale sayısı.....	2
Şekil 2.1. Titanyum alaşımlarının genel özellikleri ve kullanım alanları	10
Şekil 2.2. Titanyumun yoğunluk açısından diğer metallerle kıyaslanması.....	10
Şekil 2.3. Ti6Al4V titanyum alaşımında alfa fazının beta fazına dönüşüm sıcaklıkları	12
Şekil 2.4. α ve β fazlarının kristal kafes yapıları.....	12
Şekil 2.5. Alaşım elementlerinin titanyum faz diyagramına etkisinin şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.6. Titanyum alaşımlarının üç boyutlu faz diyagramında gösterilmesi....	13
Şekil 2.7. Alaşım elementlerinin içyapı ve bazı mekanik özelliklere etkileri.....	16
Şekil 2.8. Ti6Al4V alaşımının kabaca faz diyagramı ve farklı soğutma ortamı ve süreleri kullanılarak yapılan ısıtma işlemleri sonucu elde edilen içyapılar	19
Şekil 2.9. Ti6Al4V temsili faz diyagramı	21
Şekil 2.10. Farklı kesici takımlarla uygulanan kesme işlemlerinde Ti6Al4V ve CK45 çelik için ısının takım ve talaşa dağılımı	31
Şekil 2.11. Aynı ve Zıt Yönlü Frezeleme	32
Şekil 2.12. Titanyum ve alaşımlarının işlenmesinde ortaya çıkabilecek talaş formları.....	34
Şekil 2.13. Yarım dönüş talaş şekli	36
Şekil 2.14. Kesici takımında görülebilecek aşınma tipleri.....	42
Şekil 3.1. Yaklaşma hareketi tipi “Helisel” olduğu şartlarda takım yolu Geometrisi	47
Şekil 3.2. Yaklaşma hareketi tipi “Dalma” olduğu şartlarda takım yolu geometrisi.....	48
Şekil 3.3. Yaklaşma hareketi tipi “Rampalama” olduğu şartlarda takım yolu geometrisi.....	48
Şekil 3.4. Takım yollu hareketlerine ait renklerin anlamları	49
Şekil 3.5. İşlenebilirlik deneylerinde işlenen geometri.....	49
Şekil 4.1. Tavlanmış numuneye ait içyapı fotoğrafı (a), yaşlandırılmış numuneye ait içyapı fotoğrafı (b).....	52
Şekil 4.2. Numune 1 ve 2 için ortalama Vickers mikrosertlik değerleri.....	53
Şekil 4.3. İlerleme hızı 366 mm/dk iken giriş şekli-yüzey pürüzlülük değeri grafiği	56
Şekil 4.4. İlerleme hızı 732 mm/dk iken giriş şekli-yüzey pürüzlülük değeri grafiği	56
Şekil 4.5. İlerleme hızı 1098 mm/dk iken giriş şekli-yüzey pürüzlülük değeri grafiği	57
Şekil 4.6. Giriş şekli helisel iken ilerleme hızı-yüzey pürüzlülük değeri grafiği	57
Şekil 4.7. Giriş şekli dalma iken ilerleme hızı-yüzey pürüzlülük değeri grafiği	58
Şekil 4.8. Giriş şekli rampa iken ilerleme hızı-yüzey pürüzlülük değeri grafiği	58

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Ti6Al4V alaşımlarının ısıtılma işlem parametreleri	18
Tablo 2.2. Titanyum alaşımlarının bazıları için önerilen gerilme giderme tavlama parametreleri	23
Tablo 2.3. Titanyum alaşımlarının bazıları için önerilen tavlama parametreleri	25
Tablo 2.4. Titanyum alaşımlarının bazıları için önerilen çözeltiye alma ve yaşlandırma parametreleri	27
Tablo 2.5. $\alpha+\beta$ titanyum alaşımlarına uygulanan ısıtılma işlemler	28
Tablo 2.6. Titanyum ve alaşım özelliklerinin kesici takıma olan etkileri	36
Tablo 3.1. Ti6Al4V malzemesinin kimyasal kompozisyonu	43
Tablo 3.2. Ti6Al4v fiziksel özellikleri	43
Tablo 3.3. Kesici takım boyutları	44
Tablo 3.4. Isıtılma işlemlerin uygulandığı fırın özellikleri	45
Tablo 3.5. Dik işleme merkezi özellikleri	45
Tablo 3.6. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan numune kodlarının anlamları.	50
Tablo 3.7. Deney kesme parametreleri	50
Tablo 4.1. İmaj ve XRD analizlerinin ortalama sonuçları	52
Tablo 4.2. İş parçası yüzey pürüzlülük değerleri	53
Tablo 4.3. Takım aşınma görüntüleri	59

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aőamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Elif MALYER'e, çalışmamın ortaya çıkmasındaki katkılarından dolayı öğrenim hayatımdaki tüm hocalarıma, 2018-005 nolu projeye desteklerinden dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine, çalışmaları sırasında manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaşım Sümeyye GÜLER'e, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan annem, babam ve kardeşime yürekten teşekkür ederim.

Ozan ÇAYDAŞ
Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Diş Geometriye Sahip Titanyum Alaşımı Malzemelerin Frezelenmesinde Yaklaşma Hareketlerinin Takım Ömrüne Etkilerinin İncelenmesi

Ozan ÇAYDAŞ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Elif MALYER

Ti6Al4V alaşımlarının işlenebilirliği zayıftır fakat iyi akma mukavemeti/yoğunluk oranı, yüksek ısı ve korozyon dayanımı özellikleri nedeniyle uçak ve uzay, biyomedikal, kimya, denizcilik ve gıda endüstrisinde geniş kullanım alanı bulmaktadırlar. Bu çalışmada Ti6Al4V alaşımlarının optimum kesme parametrelerinin elde edilebilmesi için Ti6Al4V alaşımının cep frezelenmesinde yaklaşma hareketlerinin geometrisi ve ilerleme miktarının takım ömrüne etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada önce deney numunelerine kamara fırında, iki farklı ısı işlem uygulanmıştır. Birinci grup numuneler, 955°C'de 1 saat tutulduktan sonra suda soğutulmuş ve devamında 550°C'de 4 saat bekletildikten sonra havada soğutulmuştur. İkinci grup numuneler ise 955°C'de 4 saat tutulduktan sonra fırında soğutulmuştur. İşlenebilirlik deneylerinde CNC Routerda gerçekleştirilmiş ve helisel, rampa ve dalma olmak üzere üç farklı yaklaşma hareketi ile 366, 732, 1098 mm/dk olarak üç farklı ilerleme miktarı işlem değişkeni olarak kullanılmıştır. Deneylerde kesici takım olarak AlTiCrN kaplamalı Ø4 mikro taneli yekpare karbür freze çakısı tercih edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması deneyler için performans kriteri olarak seçilmiştir.

Deney sonuçları içyapıdaki β-fazı oranı arttıkça hem işlenebilirliğin hem de sertliğin arttığını, ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artarken takım ömrünün azaldığını, helisel giriş hareketinin düşük ilerleme miktarlarının kullanıldığı şartlarda en iyi sonucu verirken dalma giriş hareketinin tüm ilerleme miktarı için optimum sonuç verdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ti6Al4V, yaklaşma hareketleri, ilerleme hızı, takım ömrü

2019, 71 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Investigation Of The Effects Of Engagement Movements And Feeds On Tool Wear When Milling Of Titanium Alloys With Female

Ozan ÇAYDAŞ

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical And Manufacturing Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Elif MALYER

It is known that the Ti6Al4V alloy has poor machinability properties but it is widely used in aircraft, biomedical, chemical, and marine and food industry because of their good yield strength to density ratio and high thermal, corrosion strength. The aim of the present study is to obtain optimum cutting parameters of Ti6Al4V alloy by investigating effects of engagement movement type and feed rate on tool wear when pocket milling.

In the research, first two different heat treatment was applied to test specimens in shuttle kiln to obtain effects of the β -phase ratio in microstructure to machinability of Ti6Al4V alloy. The test specimens in first group heat threatened at 955°C for one hour and water quenched than heat threatened at 550°C for four hours and air-cooling was performed. The specimens in second group heat threatened at 955°C for four hour and then cooled in furnace. CNC router was used to perform machinability tests with three different engage movement type as helical, plunge and ramp on part and three different feed rate as 366, 732 and 1095 mmpmin. AlTiCrN coated Ø4mm micro grain solid carbide milling tools were used for tests. Surface roughness and tool wear were determined as performance criteria.

The test results showed that increasing β -phase in microstructure increases the both hardness and machinability, increasing feed rate increases the surface roughness and decreases the tool life, plunge engagement movement type gives the optimum results for all condition when the helical gives best results using low feed rates.

Keywords: Ti6Al4V, engagement movements, feed rate, tool life

2019, 71 pages

1. GİRİŞ

Kullanım alanının günümüze yaklaştıkça arttığı gözlemlenen titanyum alaşımı (Ti6Al4V) malzemenin frezelenmesinde takımın yaklaşma hareketinin takım ömrüne etkileri incelenmiştir. Takım aşınmasına bağlı olarak işlenebilirlik, yüzey kalitesi hakkında yorum yapabilmemizi sağlayan bu çalışma, özellikle medikal, havacılık ve uzay sanayisinde kullanımı önem kazanmış olan Ti6Al4V malzemesinin işlenebilirliğine olumlu katkı sunmak için yapılmıştır.

Titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklardaki yüksek dayanım, kimyasal kararlılık ve aşınma dayanımı gibi özellikleri bu alaşımların tercih edilmesindeki etkenlerdir. Sahip oldukları bu özellikler sebebiyle bu malzemeler, uzay araçlarının parçalarının üretiminde, elektronik sektöründe, savunma sanayinde, kimya, yiyecek endüstrisinde, nükleer atıkların yok edilmesinde, tıp, implant ve ortopedi gibi alanlarda sürekli ve artan bir ihtiyaçla kullanım alanı bulmaktadır.

Hafif metaller denilince ilk akla gelen genellikle alüminyum ve magnezyum olsa da, titanyum da demirin yoğunluğunun yaklaşık %60 kadarı bir yoğunluğa sahip olması nedeniyle bu sınıf içerisinde kendine yer edinmiştir. Dünyada pek çok şirket ve ülke teknolojinin gelişmesi ve ihtiyaçlara cevap verebilecek bu malzemenin öneminin farkında olduğu için araştırma, geliştirme ve uygulamaya yönelik çalışmaları arttırmış, desteklemiş ve hız kazandırmıştır.

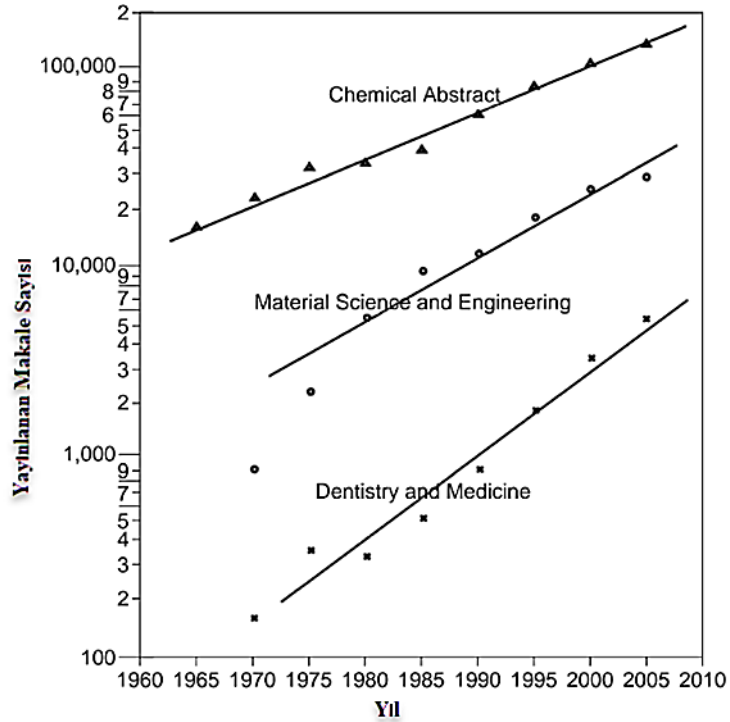
Titanyum alaşımlarının geniş endüstri kollarında tercih edilmesini sağlayan güçlü özelliklerden bazıları şunlardır: düşük yoğunluk ($4,5 \text{ g/cm}^3$), yüksek spesifik dayanım, kırılma tokluğu, yorulma dayanımı, çatlak yayılımına karşı direnç, düşük sıcaklıkta yüksek tokluk ve mükemmel korozyon direncidir.

Titanyum alaşımları, belirli bir akma dayanımı ve yoğunluk arasındaki ilişkiye göre hafif metal alaşımlar, çelikler, nikel alaşımlar vb. malzeme türleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek dayanıma sahiptirler. Hatta bu avantajlarını yaklaşık $500 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta bile koruyabilmektedirler. Bundan dolayı bazı titanyum alaşımları gaz türbini ve jet motorlarının parçalarının üretimi için çok uygundur [1].

Titanyum ve alaşımlarının daha geniş sektörlerde kullanılmasını güçleştiren birtakım engeller bulunmaktadır. Bunların başında titanyumun pahalı bir metal olması gelmektedir. Bunun nedenleri de çıkarılması ve işlenmesindeki yüksek maliyetlerdir. Ancak her ne kadar bu yüksek maliyetler imalatçıları bu malzemelere uzak tutsa da, iyi bir tasarım bu yüksek maliyetleri dūřürecektir ve imalatçıların tercih ettiği bir malzeme olmasını sağlayacaktır.

Titanyum alaşımlarına olan eğilim gūn geçtikçe artmaktadır. Buna rnek havacılık sektöründen verilecek olursa Boeing uçak firmasının 1963 yılında ürettiği 717 modelinde titanyum kullanımı %1, 1969 yılında ürettiği 747 modelinde %3, 1983 yılında ürettiği 757 modelinde %5 ve 1994 yılında ürettiği 777 modelinde %9 oranlarında olmak üzere sürekli olarak bir artış içerisinde olmuştur. [2].

Bir başka örnek de titanyum ve alaşımlarını konu edinen yayınlanmış makale sayılarına bakılabilir. Őekil 1.1’de gösterildiği gibi gūnmze yaklaştığa titanyum alaşımlarının işlenmesine olan ihtiyaç doğrultusunda yapılan araştırmalardan elde edilen makalelerin yayınlanmasındaki artış 5 yıllık dilimler halinde göz önüne koyulmuştur.



Şekil 1.1. Yıllara göre yayınlanan makale sayısı [3].

Titanyum alaşımları, talaşlı imalat esnasında, yüksek sıcaklıklarda dahi sahip oldukları özellikleri korumaktadırlar. Dolayısıyla, titanyum alaşımları genellikle “işlenmesi zor malzeme” grubunda yer almaktadır [4].

Riberio, bu alaşımların hangi klasik yöntem kullanılırsa kullanılsın, işlenmesinin daima bir problem olduğunu belirtmiştir. Bu bakımdan bu malzemelerin işlenmesinde uygun işleme şartlarının araştırılması önem arz etmektedir [5].

Titanyum ve alaşımlarının sahip olduğu özellikler nedeniyle gün geçtikçe kullanımı ve talep artmakta, bu talep dorultusunda ve işlenmesi zor malzeme sınıfı içerisinde yer almasından dolayı titanyum ve alaşımları üzerine yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmakta ve popüler bir konu halini almaktadır. Titanyum ve alaşımları ile ilgili çalışmalara bakılacak olursa;

1.1. Titanyum ve Alaşımları ile İlgili Yapılmış alışmalar

Ensarioğlu ve arkadaşı; titanyum ve alaşımlarının talaşlı imalatlarında sahip oldukları mekanik özellikleri yüksek sıcaklıklar altında da korumasından dolayı işlenmesi zor malzeme grubunda değerlendirmişlerdir [4].

Riberio ve arkadaşları çalışmalarında; titanyum malzemesinin işlenebilirliğine etki eden önemli özelliklerden biri olan kesme hızı üzerinde durmuşlardır. Kesme hızı arttıka sıcaklık ve takım aşınmasının arttığını ve bu nedenle kesme şartlarının optimize edilmesi gerektiğini söylemişlerdir [5].

Ezugwu ve arkadaşı; titanyum alaşımlarının işlenmesinde kesme sırasında takımın kesme yaparken temas genişliğinin diğer malzemelere göre daha küçük olması gerilmenin daha büyük olmasına neden olduğunu, ayrıca düşük temas genişliği kesme sırasında oluşan ısının yoğunlaşmasını ve takım aşınmasını arttırdığını belirtmişlerdir. Bunun önüne geçebilmek için kesme sırasında uygun kesme sıvılarının kullanılmasını önermişlerdir [6].

Ibrahim ve arkadaşları; titanyum alaşımları işlenirken hem termik hem mekanik gerilmelerin oluşmasına bağlı olarak, kesme işlemi sırasında takım ve iş parçası arasındaki sürtünme sıcaklığı β dönüşü sıcaklığı üzerine çıkartır ve takıma iş parçası malzemesi yapışmasına neden olarak takım ömrünü ve işlenebilirliği azalttığı sonucuna varmışlardır [7].

Pohler çalışmasında; titanyumun biyo uyumluluğunu vurgulamış, alerjik reaksiyona yol açmadığı ve doku cevabının iyi olması nedeniyle medikal sektöründe kullanılabilir bir malzeme olduğunu belirtmiştir [8].

Abbasi ve arkadaşları; Ti6Al4V alaşımının işlenmesinde polikristal elmas kesici takımların kullanılmasının işlenebilirliğe pozitif bir katkı yaptığını belirtmişlerdir [9].

Zoya ve arkadaşları; titanyum alaşımlarının işlenebilirliği üzerine yaptıkları çalışmada, geleneksel takımlarla titanyumun işlenmesinin zor olduğunu, titanyum alaşımlarının düşük ısı iletkenlikleri sebebiyle kesme sırasında oluşan talaşın takıma yapışması sebebiyle takımda aşınma meydana geldiğini dolayısıyla titanyum ve alaşımlarının işlenmesinin zor olduğunu belirtmişlerdir [10].

Haron ve arkadaşı; kesme parametrelerinden biri olan ilerlemenin titanyum işlenebilirliği üzerine etkisi hakkında, ilerleme miktarının artmasıyla sıcaklığı ve kesme kuvvetini arttırarak takım ömrünü azaltmakta dolayısıyla işlenebilirliğe olumsuz etki etmekte olduğunu belirtmişlerdir [11].

Kitagawa ve arkadaşları; sürekli ve kesintili kesme ile ilgili yaptıkları çalışmada aralıklı kesme sıcaklığının sürekli kesme sıcaklığına oranla daha düşük olduğunu, titanyum alaşımlarının işlenebilirliğinin aralıklı kesme ile arttırılabileceği sonucuna varmışlardır [12].

Diniz ve arkadaşı; sürekli ve aralıklı kesimin takım ömrüne etkisine etkisini inceledikleri çalışmalarında, aralıklı kesme işleminde kesme sıcaklığının daha düşük olması nedeniyle takım ömrünün daha uzun olduğunu belirtmişlerdir [13].

Barry ve arkadaşları; titanyumun talaşlı imalatında kesme parametrelerinin değişimine bağlı olarak değişen talaş formlarını incelemişler ve oluşan sürekli talaşın değişken yüklere sebep olduğunu, sürekli talaşların tırlamaya neden olabileceğini bunun da takım ömrünü azaltıcı bir etki göstererek işlenebilirliği azalttığı sonucuna varmışlardır [14].

Hirosaki ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda titanyum alaşımlarının karbür takımlarla işlenmesinde kaplamasız takımların kaplamalı takımlara kıyasla daha iyi takım ömrü verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak titanyum alaşımlarının kolay kimyasal reaksiyon göstermesi nedeniyle meydana gelen krater aşınmasında, kesici takım malzemesi kaplaması ile birlikte takımın kesme yüzeyinden ayrılmasını belirtmişlerdir. Titanyum alaşımlarının kaplaması karbür takımlar ile işlenmesinde takım malzemesi olarak WC/Co takımlar tercih edildiğini, bu takımların aşınmasında en etkili mekanizma difüzyon aşınması olduğunu ve kesme sıcaklığı ile kontrol edilebileceğini belirtmişlerdir. Kesme hızının doğru seçildiği şartlarda kesme sıcaklığı ve dolayısıyla difüzyon aşınması kontrol edilebileceği sonucuna varmışlardır [15].

Jianxin ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmalarda 400°C sıcaklıkta kesici takım malzemesinde bulunan W ve Co elementlerinin Ti6Al4V malzeme içerisine nüfuz ettiği ve benzer şekilde Ti6Al4V malzeme içerisindeki titanyum elementlerinin ise kesici takım malzemesi içerisine nüfuz ettiği, nüfuz derinliğinin ise artan kesme sıcaklığı ile arttığını tespit etmişlerdir. Yine aynı çalışmada düşük kesme hızları kullanıldığında diğer bir deyiş ile kesme sıcaklığı düştüğünde nüfuziyet ile ilgili herhangi bir kanıt bulunamadığı belirtilmiştir [16].

Ezugwu ve arkadaşları titanyum alaşımlarının talaşlı işlenmesinde kaplamasız karbür takımların yanı sıra kaplamalı karbür takımlar da kullanıldığını, kaplamasız karbür takımlar ile talaş kaldırma esnasında kesme hızı 45m/dak'nın üzerine çıkılabiliyor iken kaplamalı karbür takımlar, talaş kaldırma esnasında 50-100m/dak kesme hızları kullanımına izin vermekte olduğunu, kaplamalı takımlarda kaplama yöntemi ve katman sayısı işlem kalitesi üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir [17].

Graham çalışmasında titanyum ve alaşımlarının CBN takımlarla işlenmesinde, kaba ve orta talaş derinliklerinde 185-220 m/dak kesme hızı aralığı önermektedir. Titanyum alaşımlarının CBN kesicilerle belirtilen hızlarda işlenmesi sırasında meydana gelen ısı, titanyum alaşımının sertliğini azaltmakta ve kesme kuvvetlerini düşürmektedir, belirtilen sıcaklıklarda CBN takım mekanik özelliklerini korumakta olduğunu, fakat belirtilen kesme hızlarının üzerine çıktığında CBN takımın bünyesinde bulunan nitrür (azot) titanyum alaşımı ile reaksiyona girmekte olduğunu, diğer yandan CBN takımlar diğer takımlarla karşılaştırıldığında düşük takım ömürleri verdiği için titanyum alaşımlarının işlenmesine uygun bulunmamakta olduğu sonucuna varmıştır [18].

Ünal ve arkadaşı yaptıkları çalışmada, Ti6Al4V alaşımı malzemenin CNC dik işlem merkezinde farklı ilerleme miktarı, kesme hızı ve talaş derinliği gibi değişkenler kullanılarak bu deney parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, talaş tipi ve yüzeyin mikrosertliğine olan etkilerini incelemiş, deneyler neticesinde, ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün değerlerinin arttığı, yüzey sertliği esas malzemenin daha yüksek iken, yüzey altı bazı bölgelerde aşırı yaşlanma nedeniyle daha yumuşak bölgelerin oluştuğunu tespit etmişlerdir [19].

Toprak ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Ti6Al4V süper alaşımının yüksek basınçlı soğutma kullanılarak frezelenmesi esnasında, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmış ve optimum frezeleme şartları tespit etmişlerdir. Çalışmada kesme hızı, ilerleme miktarı ve soğutma sıvısının basıncı işlem değişkeni olarak tespit edilmiş, artan ilerleme miktarı değerleri ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı, artan kesme hızının yüzey pürüzlülüğü değerlerini az da olsa azalttığı fakat soğutma sıvısının basıncındaki artışın yüzey pürüzlülük değerlerine etkide bulunmadığını gözlemlemişlerdir [20].

Günay ve arkadaşları çalışmalarında Ti6Al4V alaşımının karbür takımlarla kuru şartlarda yüzey frezelenmesinde işleme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişler ve bileşke kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün ilerlemenin artmasıyla arttığını ve kesme hızının artmasıyla azaldığını, 180 m/dak kesme hızı ve 250 mm/dak ilerleme miktarının seçildiği

şartlarda optimum bileşke kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün elde edildiğini rapor etmişlerdir [21].

Akmal ve arkadaşları titanyum alaşımlarının yüksek performans ile işlenmesinde işlem sırasında oluşan termal şartlar nedeniyle meydana gelen sürtünmeye bağlı olduğunu belirtmişler ve bu nedenle takım talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısının belirlenmesi için yeni bir ölçüm tekniği geliştirmişlerdir. Çalışmalarında kaplamasız ve AlTiN kaplamalı karbür takım kullanarak Ti6Al4V alaşımı üzerine kanal açma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kanal açma işlemlerinde kullanılan farklı takım malzemesi ve işlem tekniği kullanmışlar ve değişen şartlarda elde edilen sürtünme katsayısını geliştirdikleri yöntem ile kabul edilebilir tamlıkta elde edebilmişlerdir [22].

Kondo ve arkadaşları Ti6Al4V alaşımı malzemenin frezelenmesinde farklı kesme doğrultuları ile farklı soğutma tiplerinin takım ömrüne etkilerini incelemişler ve belirttikleri şartlarda yağ buharı ile soğutma şartlarında ve aşağıdan yukarı doğru kesme yöntemini önerdiklerini belirtmişlerdir [23].

Vidal ve arkadaşları Ti6Al4V alaşımının kuru şartlarda helisel yöntem ile frezelenmesinde takım aşınmasına etki eden parametreleri incelemişler ve artan kesme hızının takım ömrünü ve işlenen yüzeyin kalitesini azalttığını gözlemlemişlerdir [24].

Ahmedi ve arkadaşları çalışmalarında ısıtma işlem uyguladıkları Ti6Al4V malzemesinin mikro ölçekte frezelenmesini incelemiş, ısıtma işlemler sonucu elde edilen iki farklı mikroyapının ve faz fraksiyonunun işlenebilirliği etkilediğini, daha küçük tane boyutunun elde edildiği numunenin daha yüksek kesme kuvvetlerine ihtiyacı olduğunu, yüksek faz fraksiyonu nedeniyle sertliği daha yüksek olan numunenin düşük sünekliği sebebiyle daha düşük kesme kuvveti gerektirdiği sonucuna ulaşmışlardır [25].

Shyha ve arkadaşları çalışmalarında Ti6Al4V malzemenin talaşlı imalatında talaş oluşumu ve işlenebilirliği incelemiş, kesme hızının mikro yapıya etki eden önemli faktörlerden olduğunu ve kesme hızı arttıkça mikroyapısal hasarın azaldığını,

uyguladıkları deney parametrelerinde süresiz tırtıklı talaş oluşumunu gözlemlemişlerdir [26].

1.2. Tezin Amacı

Literatür taraması değerlendirilecek olursa, Ti6Al4V alaşımı biyomedikal, havacılık ve otomotiv gibi birçok alanda yoğun talep görmesinin yanında sahip olduğu özellikler nedeniyle işlenmesinin zor olduğu alaşım tipi olduğu anlaşılmaktadır. Bu malzemenin işlenmesini zorlaştıran etkenlerin başında düşük ısı iletkenliği gelmektedir. Bu nedenle işlem sırasında açığa çıkan ısının kesme bölgesinden uzaklaştırılmamasına bağlı olarak takımın aşınma ve iş parçası yapışmaları görülüp, işlenebilirliği olumsuz etkilediği açıktır. Titanyum alaşımları içinde en çok kullanılan alaşım olan Ti6Al4V alaşımının işlenebilirliğinin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmaların çoğunun kesme parametrelerinin (ilerleme, kesme hızı, soğutma sıvısı tipi ve kullanımı) ve ısı işlem uygulamalarının malzemenin işlenebilirliği üzerine etkileri ile ilgili olduğunu görülmüştür.

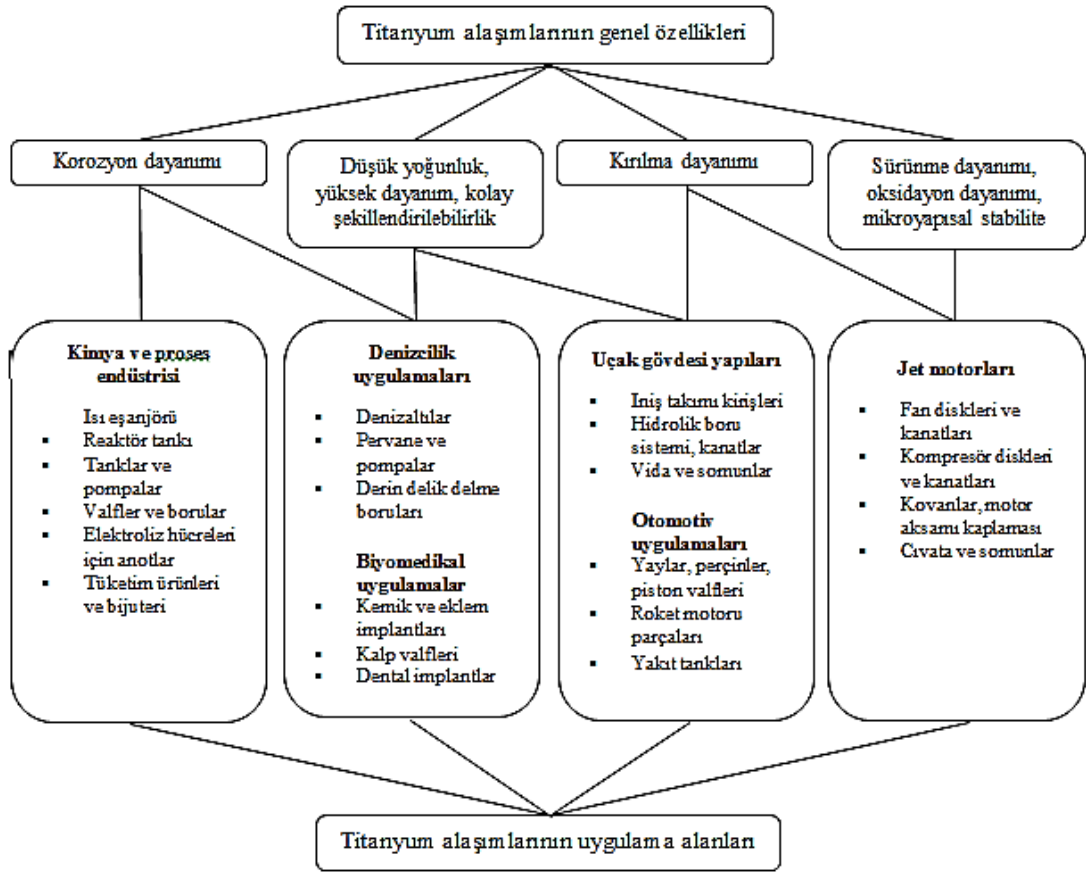
Yapılan literatür taramasında titanyum alaşımı malzemelerin işlenmesinde yaklaşma hareketlerinin takım ömrüne etkileri ile ilgili çalışmanın yok denecek kadar az olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yapılacak çalışma titanyum alaşımlarının frezelenmesinde optimum performans ve takım ömrü elde edilebilecek işleme şartlarının tespitinde literatürdeki diğer çalışmaların yanı sıra yardımcı olacaktır. Deneyler sonucu elde edilecek verilerin özellikle havacılık ve biyomedikal endüstrisinde hizmet veren firmalar için önemli olacağı düşünülmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

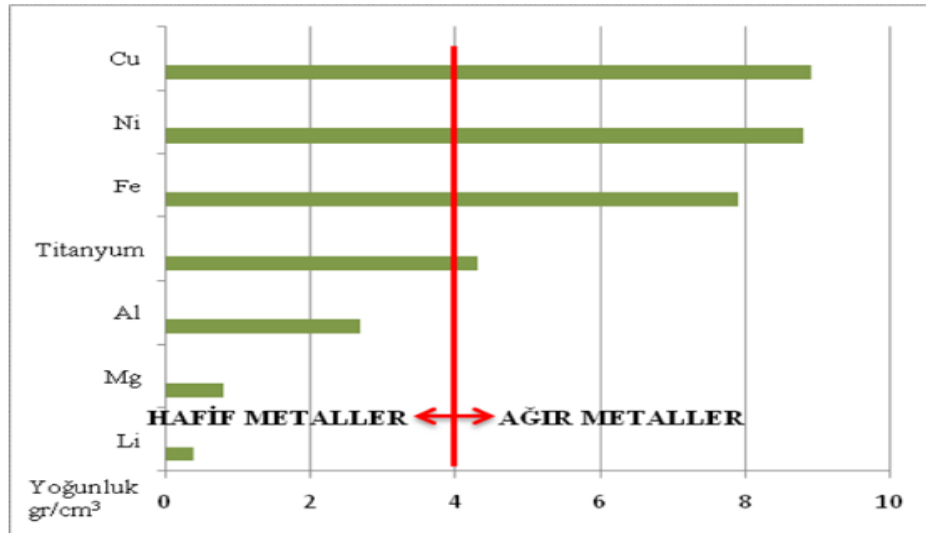
2.1. Titanyum ve Alaşımlarının Genel Özellikleri

Daha önceleri sık kullanılmayan bir metal olarak nitelendirilse de günümüzde endüstride kullanım alanı bulan en önemli metallere biridir. Bu element, ilk olarak İngiliz Minerolojist William Gregor tarafından 1791 yılında bulunmuş “Menakirit” adını almıştır. Ancak 1795 yılında Alman kimyacı Martin Heinrich Klaproth yaptığı çalışmaya dayanarak bu metalin yeni bir element olduğunu ispatlamış ve bu metale “Titanyum” adını vermiştir [27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36].

Titanyum, alüminyum, demir ve magnezyumdan sonra dünya da en çok bulunan dördüncü metaldir [36]. Düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, farklı ortamlarda iyi korozyon ve aşınma dayanımı, iyi oksidasyon dayanımı ve dayanım özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilmesi gibi özellikleri, bu elementin endüstriyel uygulamalarda cazip hale getirmiştir [36, 37, 38, 39, 40]. Titanyum alaşımlarının mekanik özelliklerine göre kullanım alanları Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Titanyum alaşımlarının genel özellikleri ve kullanım alanları [36].

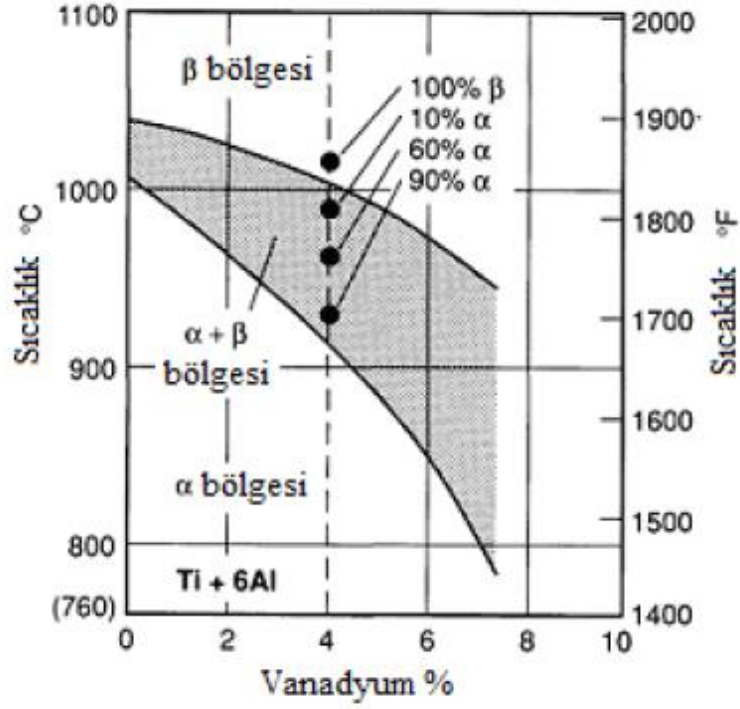


Şekil 2.2. Titanyumun yoğunluk açısından diğer metallerle kıyaslanması [35].

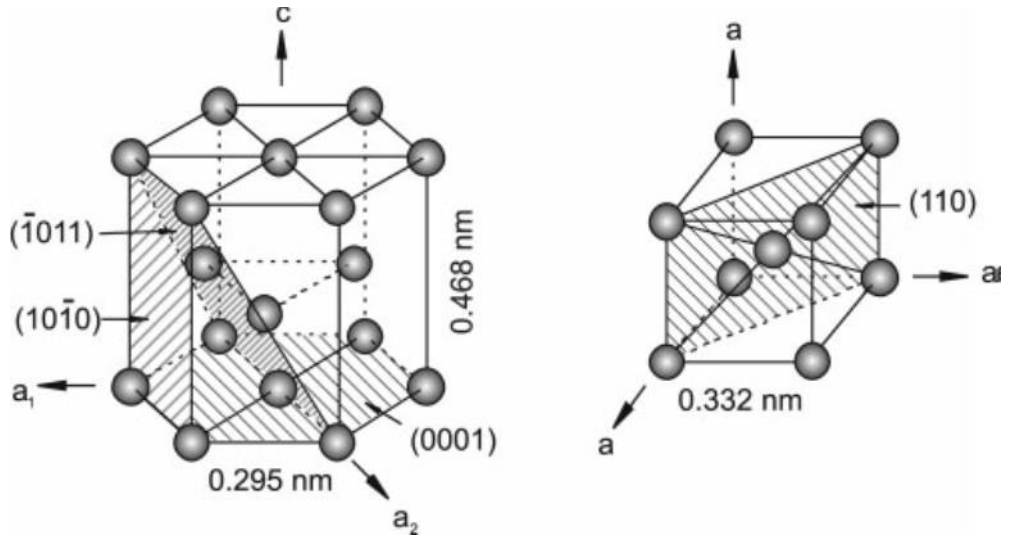
Kimyasal olarak titanyum, periyodik tablonun 4. periyodunun, 4. gurubunda bulunan bir geçiş elementidir. Atom numarası 22 ve atomik ağırlığı 47.9'dur [27,

33]. Geçiş elementi olması nedeniyle titanyum birçok element ile katı çözültü oluşturabilir [33, 36]. Ca, Fe, Co, Zr, Sn, Ce ve Hf gibi titanyum da birden farklı kristal yapıda bulunabilirler ve her biri belirli sıcaklık aralıklarında stabildir [35]. Elemental formda titanyumun ergime sıcaklığı 1668°C'dir. Hafif metaller dendiğinde akla ilk gelen genellikle alüminyum ve magnezyum olsa da, titanyum da demirin yoğunluğunun yaklaşık %60 kadarı bir yoğunluğa (4,5 g/cm³) sahip olması nedeniyle bu sınıf içerisinde kendine yer edinmiştir. Titanyumun yoğunluk açısından diğer metallerle kıyaslanması Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Allotropik bir malzeme olan titanyum oda sıcaklığından 882±2°C sıcaklığa kadar, Hegzagonal Sıkı Paket (HSP) kristal yapıdaki α fazı belirtilen sıcaklığın üzerinde Hacim Merkezli Kübik (HMK) kristal yapıdaki β fazına dönüşmektedir [6, 27, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 41, 42, 43, 44]. Ti6Al4V titanyum alaşımında alfa fazının beta fazına dönüşüm sıcaklıkları Şekil 2.3.'de gösterilmiştir. HSP kristal kafes yapısında, HMK kristal kafes yapısında göre daha kolay plastik deformasyon meydana gelir. Bunun nedenleri; HSP kristal kafes yapısının kayma düzlemindeki atom doluluk oranı yaklaşık %91 iken, bu değer HMK yapıda yaklaşık %83 olması ve plastik deformasyon için gerekli enerjinin, minimum kayma boyu ile direkt bağlantılı olmasıdır. HSP kristal kafes yapısı için minimum kayma boyu $b_{min}=1 \times a$ iken, HMK yapı için $b_{min}=0,87 \times a$ kadardır. [35]. Titanyumun α fazında, birim kafes değişkenleri $a=0.295\text{nm}$ ve $c=0.468 \text{ nm}$ 'dir. Normal HSP kristal kafes yapısında c/a oranı 1.633 iken, saf titanyum için bu değer yaklaşık 1.587'dir [35, 42]. Ancak bu oran alaşım elementlerinin türü ve miktarına göre değişir. 900°C'de titanyum β fazının birim kafes değişkeni yaklaşık $a=0.332 \text{ nm}$ 'dir [35]. α ve β fazlarının kristal yapıları en yoğun düzlem ve doğrultuları ile birlikte Şekil 2.4.'de görülmektedir. % 99.5 - % 98.635 oranında titanyum içeren ticari saflıktaki titanyum için belirtilen sıcaklık " β dönüşüm sıcaklığı" adını almaktadır [29, 34]. Ticari saflıkta olmayan diğer titanyum alaşımlarında bu sıcaklık, yer alan ve ara yer alaşım elementlerinin etkisi ile artmakta ya da azalmaktadır [30, 31]. Dönüşüm sıcaklığını arttırmasına ya da azaltmasına göre bu elementler α veya β dengeleyici elementleri olarak iki gruba ayrılırlar [31]. Alüminyum (Al), Galyum(Ga), Germenyum (Ge), Oksijen (O) ve Azot, (N) gibi alaşım elementleri α dengeleyici elementleridir ve bunlar α - β dönüşüm sıcaklığını yükseltirler. β dengeleyici elementleri ile izomorf ve ötektoid alaşım oluşturan elementler olmak üzere iki grupta incelenir. İlk gruptaki Molibden (Mo), Vanadyum (V), Tantal (Ta) ve Kolombiyum (Co), ikinci gruptaki Manganez

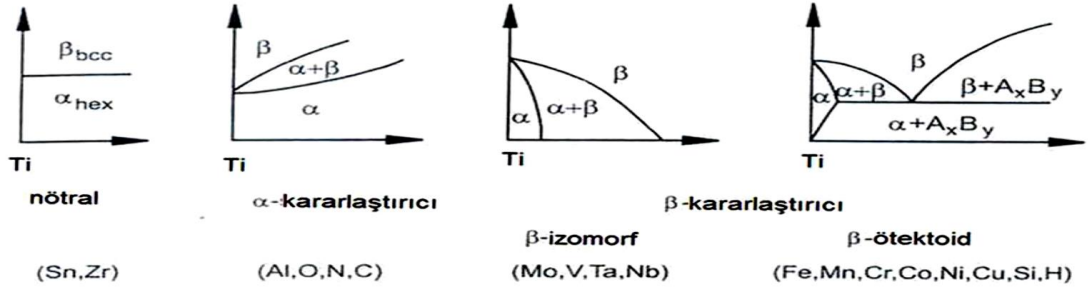
(Mn), Demir (Fe), Krom (Cr) , Kobalt (Co), Nikel (Ni), Bakır (Cu) ve Silisyum (Si) gibi elementler, β fazını kararlı hale getirerek dönüşüm sıcaklığını düşürürler [27, 28, 31, 35, 41, 42, 45]. Bunların dışında Sn ve Zr dönüşüm sıcaklığına tesir etmeden katı çözelti sertleştirmesini sağlar [31, 42]. Şekil 2.5.'de Alaşım elementlerinin titanyum faz diyagramına etkisinin şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ti6Al4V titanyum alaşımında alfa fazının beta fazına dönüşüm sıcaklıkları [43].



Şekil 2.4. α ve β fazlarının kristal kafes yapıları [31, 33, 35, 42].



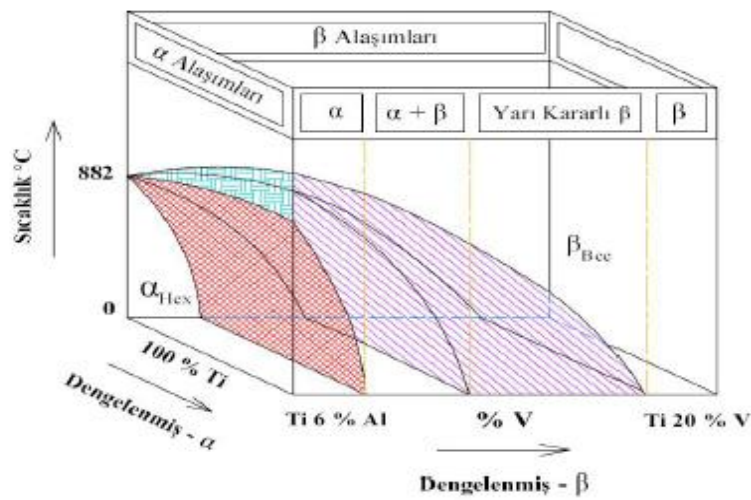
Şekil 2.5. Alaşım elementlerinin titanyum faz diyagramına etkisinin şematik gösterimi [31, 33].

2.1.1. Titanyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Titanyum alaşımları oda sıcaklığında yapılarında bulunan α ve β fazlarına göre genellikle dört ana grupta sınıflandırılırlar. Bunlar;

- α fazlı titanyum alaşımları,
- Yakın α fazlı titanyum alaşımları,
- $\alpha+\beta$ fazlı titanyum alaşımları,
- β fazlı titanyum alaşımlar [27, 46].

α ve β fazlarına göre genellikle dört ana grupta sınıflandırılan titanyum alaşımlarının sıcaklığa bağlı olarak içerdiği fazlardaki değişimi Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Titanyum alaşımlarının üç boyutlu faz diyagramında gösterilmesi [45].

2.1.1.1. α Fazlı Titanyum Alaşımları

Bu alaşımlar yüksek miktarda α dengeleyici, çok düşük miktarda β dengeleyici elementleri içerirler [46]. α fazlı alaşımlar, öncelikle kimya ve ürün mühendisliği endüstrinde kullanılırlar. Ticari saflıktaki titanyum alaşımları, içerdikleri oksijen miktarına göre birbirinden ayrılırlar. Bileşimdeki oksijen elementinin artışı dayanımı arttırırken sünekliliği azaltır. Dört farklı ticari titanyum alaşımı kalitesinden bahsedilebilir. Bu malzemelerin, oda sıcaklığındaki çekme dayanımı yaklaşık 240-740 MPa aralığındadır. Bu gruptaki malzemelerin mekanik özellikleri kendi içinde değerlendirildiğinde, Kalite 1 ticari titanyum alaşımı, en düşük dayanıma sahip malzeme olmasına karşın soğuk şekillendirilebilirliği en iyi olan malzemedir. Bu yüzden derin çekme işlemlerinde tercih edilirler. Kalite 2 ticari titanyum alaşımlarının çekme dayanımı yaklaşık 390-540 MPa arasındadır ve bu grup içinde en çok kullanılan kalitedir. Bu grupta en yüksek dayanıma sahip alaşımlardan biri olan Kalite 3 alaşımlar ise genellikle basınçlı kapların üretiminde tercih edilirler. Bu alaşımlar genellikle soğuk şekillendirme ile biçimlendirilirler. Kalite 4 alaşımlarının çekme dayanımları ise yaklaşık 740 Mpa'dır ve karmaşık şekilli parçaların yaklaşık 300°C'ye kadar olan sıcaklıklarda şekillendirilmesine izin verirler [35]. Bu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda $\alpha+\beta$ fazlı ve β fazlı Titanyum alaşımlarına kıyasla daha yüksek sürünme dayanımına sahiptirler [46].

2.1.1.2. Yakın α Fazlı Titanyum Alaşımları

Bu alaşımlar klasik yüksek sıcaklık alaşımlarıdır. Yapılarında β fazından daha çok α fazı bulunmaktadır [29, 30, 31, 33]. Yüksek sıcaklıkta α fazlı titanyum alaşımlarının mükemmel sürünme dayanımı ile $\alpha+\beta$ fazlı alaşımların yüksek dayanım özelliklerini bünyelerinde toplarlar. Bu alaşımları işlem sıcaklıkları yaklaşık 500-550°C aralığındadır [31, 35]. Ti-8-1-1 bu gruptan ilk üretilen alaşımdır. Bu alaşımlarda yüksek alüminyum içeriği gerilmeli korozyon problemlerine neden olduğundan alüminyum içeriği maksimum %6'da sınırlandırılmıştır. Diğer bir yakı α fazlı titanyum alaşımı Timet tarafından geliştirilen Ti-6-2-4-2 alaşımıdır ve en düşük alüminyum içeriği ile dikkat çeker. Araştırmalarda silisyum ilavesinin Ti-6-2-4-2 alaşımının sürünme özelliklerinin iyileştirildiği tespit edilmiş ve yüksek sıcaklık

titanyum alaşımlarına ağırlıkça %0.5 silisyum ilave edilmiştir. Silisyum içeren ilk yakın α fazlı titanyum alaşımı IMI tarafından üretilen IMI679'tur. Günümüzde bu gruptan en yaygın olarak kullanılan TİMETAL 834'tür. Bu malzemenin maksimum servis sıcaklığı yaklaşık 600°C'dir [35].

2.1.1.3. $\alpha+\beta$ Fazlı Titanyum Alaşımları

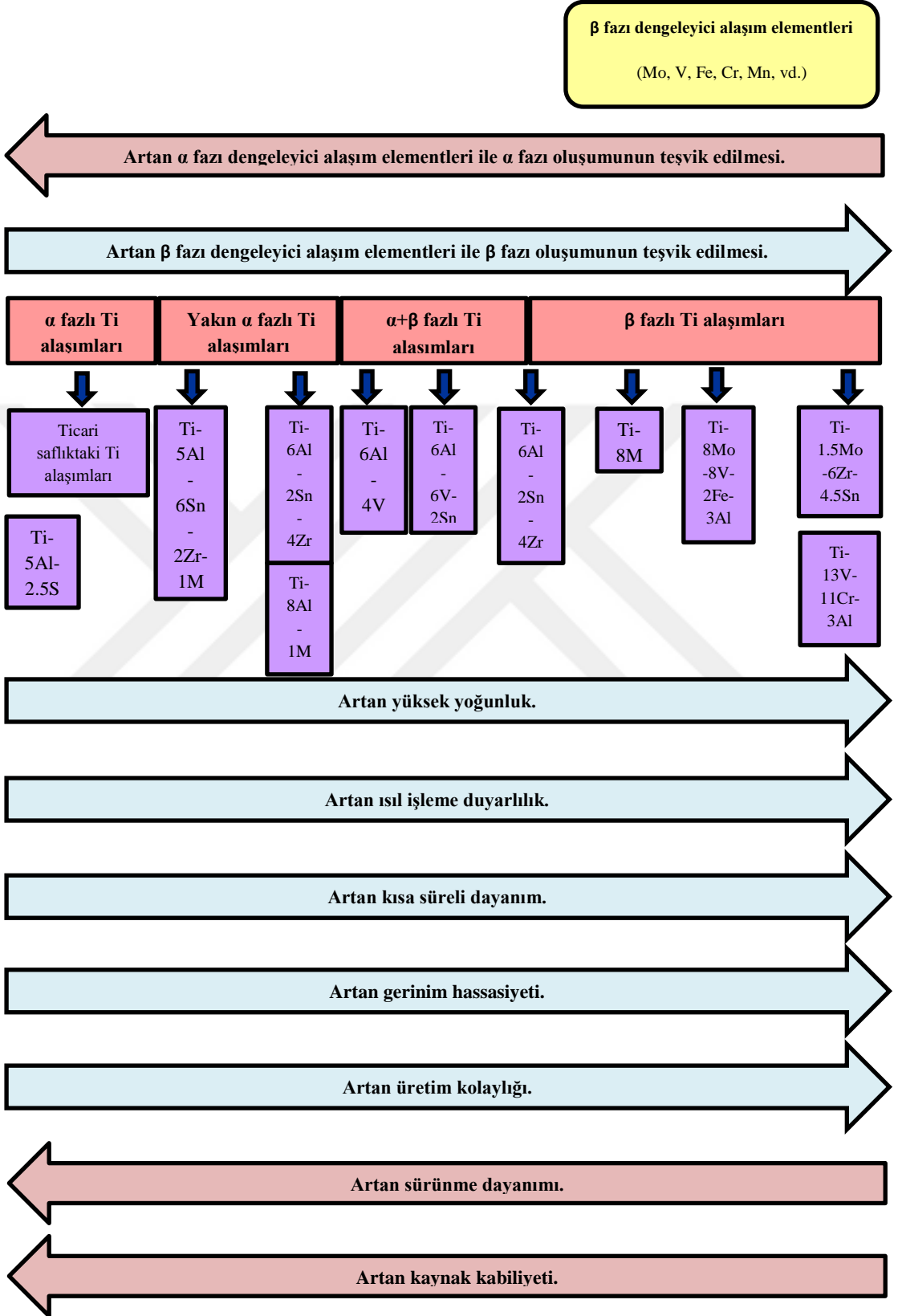
Bu alaşımların yapısında, uygun miktarda α ve β fazı dengeleyici bir ya da birden fazla alaşım elementi bulunur [41, 42]. Bu nedenle oda sıcaklığında yapılarında hem α hem de β bulundurlar [30, 32, 34, 47]. Bu gruptaki alaşımlardır. Oda sıcaklığında bu alaşımların içeriğinde, hacimce %5-40 oranında β fazı ihtiva ederler [28,34].

Bu alaşımlar içerisinde en popüler olanı Ti6Al4V alaşımıdır [6, 31, 32, 33, 34, 38, 40, 41, 43, 48, 49, 50, 51, 52]. Günümüzde titanyum alaşımlarının kullanımının yaklaşık %50'sini oluşturur [35, 39, 53, 54]. 1950'lerde geliştirilen bu alaşımın bu kadar başarılı olmasının iki nedeni vardır. Bunlardan ilki mekanik özelliklerinin güzel dengesi, ikincisi ise özellikle uzay endüstrisinde sıklıkla kullanılmasından dolayı en çok test edilen malzeme olmasıdır. Diğer $\alpha+\beta$ fazlı titanyum alaşımları; yüksek dayanım özelliği elde etmek amacıyla üretilen Ti-6-6-2, yüksek dayanım, yüksek tokluk özelliği için geliştirilen Ti-6-2-4-6 ve özellikle yaklaşık 400°C gibi yüksek sıcaklıklarda gaz trbınlerinin motorlarında kullanılmak için geliştirilen Ti-6-2-2-2-2, Ti55-24-S ve Ti-17'dir.

2.1.1.4. β Fazlı Titanyum Alaşımları

Bu alaşımlar, yapılarında β fazı dengeleyici alaşım elementleri içerirler ve mukavemet özellikleri $\alpha+\beta$ fazlı titanyum alaşımları ile benzerlik gösterir [32]. Son on yılda β fazlı titanyum alaşımları önem kazanmıştır. Bu alaşımların karmaşık yapısı yüksek dayanım ve yüksek tokluk özelliklerinin optimize edilebilmesini sağlar [38]. Dolayısıyla, yaklaşık 1400 MPa gibi yüksek dayanımları, sertleştirilebilme, dövülebilme ve soğuk şekillendirilebilme özellikleri ile dikkat ekerler [32, 35]. Ti10V2Fe3Al, Ti15V3Cr3Al3Sn ve Ti3Al8V6Cr4Mo4Zr alaşımları en sık kullanılan

β fazlı titanyum alaşımlarındandır [41]. Şekil 2.7'de titanyum alaşımı tipleri ve alaşım elementlerinin etkileri gösterilmektedir.



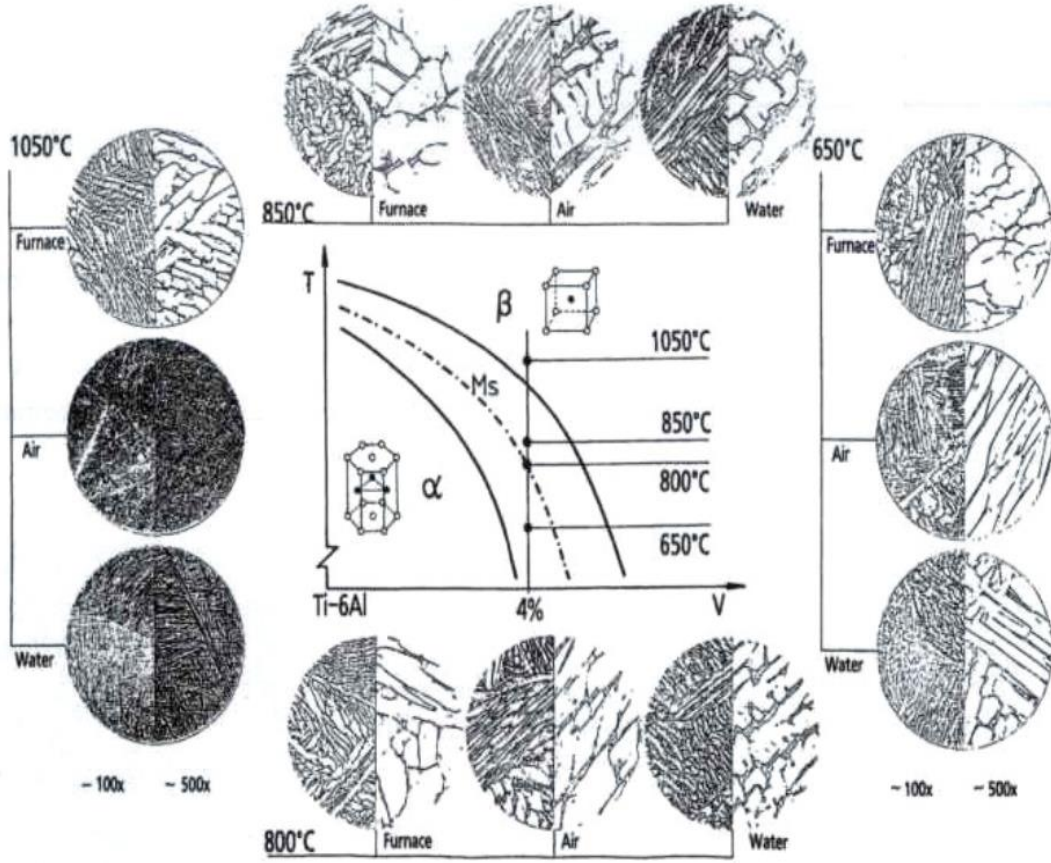
Şekil 2.7. Alaşım elementlerinin içyapı ve bazı mekanik özelliklere etkileri [34, 46].

tokluk, süneklik, yorulma dayanımıdır. Her ne kadar malzemenin üretim yöntemi, ısıtma şartları, kimyasal kompozisyonu özellikle O içeriği ve hatta kesiti değerleri değişirse de normalleştirme tavlama uygulanan alaşımın akma dayanım yaklaşık 760-895 MPa değerleri arasındadır [55]. β fazı tavlama ise kırılma tokluğu, yorulma ve gerilmeli korozyon dayanımı, sürünme direnci gibi mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilir. Diğer yandan yüksek mukavemet değerleri, elde etmek amacıyla çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemleri gerçekleştirilir. Çözeltiye alma sıcaklığı, yaklaşık 980°C olan β dönüşüm sıcaklığının üzerinde, 900-1000°C aralığında ya da 800-900°C aralığındaki herhangi bir değer olarak belirlenebilir [55]. Ancak bu farklı sıcaklıklar β fazı miktarının değişimine ve yaşlandırma işleminden sonra elde edilecek içyapı ve mekanik özellikleri de değiştirecektir [34]. Çözeltiye alma sıcaklığının belirlenmesinde, yaşlandırma işleminden sonra elde edilmek istenen mekanik özellikler ve yaşlandırma işlemi için gerekli süre de önem kazanmaktadır. Malzemenin beklenen en önemli mekanik özellikler süneklik, tokluk ve sürünme dayanımı ise çözeltiye alma işlemi $\alpha+\beta$ fazından gerçekleştirilmelidir [29, 34]. Tablo 2.1’de Ti6Al4V alaşımının ısıtma parametreleri verilmiştir. Ayrıca hangi ısıtma işlemi gerçekleştirilirse gerçekleştirilsin ısıtılacak sıcaklık kadar soğutma ortamı ve hızı da elde edilecek içyapı açısından önem taşımaktadır. Şekil 2.8’de Ti6Al4V alaşımının kabaca faz diyagramı ve farklı soğutma ortamı ve süreleri kullanılarak yapılan ısıtma işlemler sonucu elde edilen içyapı resimleri gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Ti6Al4V alaşımlarının ısıtma işlem parametreleri.

Gerilim giderme parametreleri			Tavlama parametreleri			Çözeltiye alma ve yaşlandırma parametreleri					
						Çözeltiye alma			Yaşlandırma		
Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Soğutma ortamı	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Soğutma ortamı	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Soğutma ortamı	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Soğutma ortamı
500-660	1-5	1	715-850	1-8	1	900-955	0,5-1	2	510-595	2-8	3

1: fırın içinde ya da havada soğutma, 2: suda ya da yağda, 3: havada



Şekil 2.8. Ti6Al4V alaşımının kabaca faz diyagramı ve farklı soğutma ortamı ve süreleri kullanılarak yapılan ısıl işlemler sonucu elde edilen içyapılar [34, 55].

2.2. Titanyum Alaşımlarının Isıl İşlemi

Titanyum ve alaşımlarına üretim sırasında ve sonrasında ısıl işlem uygulanabilmektedir. Titanyum alaşımlarının üretimi sırasında oluşan artık gerilmelerin önüne geçmek amacıyla gerilme giderme tavlaması uygulanırken, talaş kaldırılarak işlenebilirliğini iyileştirme, alaşımın yapısal ve boyutsal kararlılığı ve süneklik optimizasyonu için tavlama işlemi uygulanmaktadır. Titanyum ve alaşımlarının mukavemetini arttırmak için ise çözeltili alma ve yaşlandırma işlemi uygulanmaktadır [6,56].

Malzemenin mekanik özelliklerine etki etmek amacıyla uygulanan ısıl işlemler; tavlama, çözeltili alma ve yaşlandırma işlemleridir. Malzemenin korozif ortamlardaki direncini iyileştirmek, malzemeyi şekil verme işlemi için hazırlamak ve

çarpılmaları önlemek için ise tavlama ve gerilme giderme tavlama işlemleri uygulanabilmektedir [6,56].

Titanyum alaşımları α ve β fazlarının alaşımdaki içeriğine göre farklı özellikler göstermektedir. Alaşıma uygulanan ısı işlemler alaşım içerisindeki faz dağılım yoğunluğuna göre farklılık göstermekte ve farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. $\alpha + \beta$ alaşımlarına uygulanan yaşlandırma işlemi sırasında β fazının parçalanması sebebiyle alaşımlarda sertleşme meydana gelmektedir. Ancak $\alpha + \beta$ alaşımları yapısında β alaşımlarındaki kadar kararsız β fazı içeriğine sahip olmadığı için β alaşımları kadar sertleşmemektedir. Titanyum alaşımlarındaki α ve β fazlarına ve faz yoğunluklarına bağlı olarak uygulanan ısı işlemler yardımıyla mekanik ve mikroyapısal özelliklerinde iyileşme sağlanabilmektedir [46].

Titanyum alaşımlarından α ve β faz kararlaştırıcı elementlere sahip olan alaşımlar çözeltiye alma ve yaşlandırma basamakları uygulanarak sertleştirilmeleri sağlanabilmektedir. İkili faz bölgesi sıcaklık değerlerine ulaştırılan $\alpha + \beta$ alaşımları çözeltiye alınarak yağ, su veya farklı soğutucularla soğutulmaktadır. $\alpha + \beta$ alaşımlarına uygulanan işlem sonrasında çözeltiye alma sıcaklığındaki β fazı değişme göstermemiş veya soğutma uygulanan işlem esnasında dönüşüme uğramıştır. Çözeltiye alma işlemi uygulanan malzemenin boyutları, çözeltiye alma işleminin uygulandığı sıcaklık, alaşımın α ve β faz yoğunluğuna etki eden kompozisyonu, çözeltiye alma işleminde kullanılan soğutucu ve soğutma hızı çözeltiye alınan alaşımın işlem sonrasındaki yapısında β dönüşümüne etki ederek yapının içeriğini etkilemektedir. Çözeltiye alma işleminin ardından α ve β fazlarının iyi bir şekilde karışabilmesi için 480-650 °C de yaşlandırma işlemi uygulanmaktadır [57].

$\alpha + \beta$ alaşımı olarak titanyum alaşımlarından kullanımı en yaygın olan alaşım Ti6Al4V'dır. Alaşımın faz diyagramı kaba haliyle Şekil 2.9.'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Ti6Al4V temsili faz diyagramı [58].

Faz diyagramı incelendiğinde iki temel dönüşüm görülmektedir. Bu dönüşümlerden birincisi; β dönüşüm sıcaklığı üzerine çıkarılmış Ti6Al4V alaşımının $\alpha+\beta$ bölge sınırlarına ulaşmaya kadar soğutularak β fazının α fazı içerisinde çökeltilmesi, bir diğeri de β fazındaki alaşım suda soğutularak malzemede martenzit yapı oluşturulmasıdır. Martenzit yapıya sahip malzeme yaşlandırma işlemine tabi tutularak yapı içerisinde aşırı doymuş α fazının çökeltildiği halde oluşmuş β fazı tarafından bozulması sağlanmaktadır [58].

Ti6Al4V alaşımına uygulanan çözeltilme alma ve yaşlandırma işlemi sonrasında alaşımdaki dayanımı ve tavlama veya aşırı yaşlandırma uygulanmış alaşımların dayanımı karşılaştırıldığında çözeltilme alma ve yaşlandırma işlemi uygulanmış alaşım dayanımının %30 ila %50 daha iyi olduğu bilinmektedir. Alaşım sertlik değeri de içerdiği β faz kararlaştırıcı elementlerin miktarına bağlıdır. Alaşım içeriğinde β fazını kararlaştıran element miktarlarının artması sertleştirilebilirliği de arttırmaktadır [57].

β alaşımlarının yaşlandırma işlemi 450-600 °C sıcaklıkta, çözeltilme alma işlemi uygulandıktan sonra gerçekleştirilir. β alaşımlarına uygulanan yaşlandırma işlemi sonrasında mikroyapıda β fazı içerisinde dağılmış ince α parçacıkları oluşmaktadır. Yaşlandırılmış β alaşımlarının dayanımı, yine yaşlandırılmış $\alpha+\beta$ alaşımlarına göre daha yüksektir. Dayanımı yüksek olan β alaşımının $\alpha+\beta$ alaşımına göre yoğunluğunun yüksek olması, sürünme dayanımının düşük olması ve dövülebilirliğinin daha kötü olması β alaşımlarının dezavantajlarındandır.

Dövülebilmesinin daha kötü olmasına karşın yaşlandırma işlemi uygulanmış β alaşımlarının kırılma tokluğu, yaşlandırma işlemi uygulanmış $\alpha+\beta$ alaşımlarının kırılma tokluğundan daha yüksektir [57].

2.2.1. Gerilme Giderme Tavlaması

Titanyum ve alaşımlarına uygulanan gerilme giderme tavlaması; malzeme dövme yöntemiyle asimetrik bir şekilde şekillendirilmesi sonrasında, kaynak ve döküm işlemi ile imalatı yapılan malzemenin soğuması esnasında oluşan iç gerilmelerin azaltılması gayesiyle uygulanan bir ısıtma işlemidir. Uygulanan bu ısıtma işlemi Titanyum ve alaşımlarının dayanım ve sünekliğine negatif bir etki göstermemektedir [46].

Malzemeye uygulanan gerilme giderme tavlama ile boyutsal kararlılık da sağlanmaktadır. Malzemeye bir yönde uygulanan gerilmenin etkisiyle yer değiştiren ve uygulanan gerilme yönünde biriken dislokasyonlar, uygulanan gerilme tersi yöne çevrildiğinde çok daha kolay hareket ederek malzemenin akma sınırının altında şekillendirilmesine başka bir deyişle malzemenin akma dayanımının düşmesine neden olmakta ve bu etkiye Bauschinger etkisi denmektedir. Titanyum ve alaşımlarına uygulanan gerilme giderme tavlama sayesinde bu gibi istenmeyen etkiler de ortadan kaldırılabilir [46].

Gerilme giderme tavlama uygulanacak alaşımın metalürjik özellikleri dikkate alınarak uygulanmalıdır. Alaşım içerisindeki faz fraksiyonları ve özelliklerine uygun şekilde uygulanacak olan gerilme giderme tavlaması sıcaklık değerleri seçilirken, $\alpha+\beta$ alaşımları ile β alaşımlarında gerek olmadığı kadar yaşlanma ve çökelmeye sebep olmayacak, α alaşımlarında ise arzulanan yeniden kristalleşmeye müsaade etmeyecek şekilde seçilip uygulanmalıdır. Gerilme giderme tavlamasının etkin olabilmesi için yüksek sıcaklık ve kısa zaman uygulaması veya düşük sıcaklık uzun zaman parametreleri gerekmektedir. Öncesinde çözültüye alınmış ve yaşlandırılmış titanyum alaşımlarına gerilme giderme tavlaması işlemi uygulanırken elverişli sıcaklık-zaman parametreleri uygulanmasıyla, aşırı yaşlanmanın neden olduğu dayanım düşmesi engellenebilmektedir [46].

Titanyum ve alaşımlarına uygulanan gerilme giderme tavlama sürecinin uygulama sıcaklığı ne kadar önemliyse işlem sonrasında malzemenin soğutulması da o denli önemlidir. Gerilme giderme tavlama sonrasında soğutmanın su veya yağda yapılarak hızlandırılması iç gerilmeleri çöğaltabilmektedir. Bu iç gerilmelerin oluşumuna sebep olmamak için gerilme giderme tavlama sonrası soğutma işleminin fırında veya havada yapılması yeğlenmektedir [46].

Titanyum alaşımlarına uygulanacak olan gerilme giderme tavlama için önerilen işlem parametreleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Titanyum alaşımlarının bazıları için önerilen gerilme giderme tavlama parametreleri [56].

Alaşımın		Gerilme Giderme Parametreleri	
İç Yapısı	Türü	Sıcaklık (°C)	Zaman (Sa)
α	Saf Titanyum	500-600	0,25-4
	Ti-5Al-2.5Sn	550-660	0,25-4
	Ti-5Al-5Sn-5Zr	600-720	0,25-1
	Ti-7Al-12Zr	600-720	0,25-1
	Ti-8Al-1Mo-1V	600-720	0,5-5
$\alpha+\beta$	Ti-2Fe-2Cr-2Mo	500-550	0,5-1
	Ti-8Mn	500-600	0,25-0,5
	Ti-4Al-4Mn	500-720	0,25-1
	Ti-4Al-4V	500-660	1-5
	Ti-4Al-3Mo-1V	500-580	0,5-8
	Ti-6Al-4V	500-660	1-5
	Ti-7Al-4Mo	500-720	1-8
β	Ti-13V-11Cr-3Al	720-750	1-8

2.2.2. Tavlama

Tavlama işleminin titanyum ve alaşımlarına uygulanmasıyla; işlenebilirliğin iyileştirilmesi, kırılma tokluğunun uygun seviyeye çıkarılması, oda sıcaklığında alaşıma en yüksek süneklik özelliğini kazandırılması ve yüksek sıcaklıkta malzemenin yapısal ve boyutsal kararlılığının kazandırılması hedeflenmektedir [56].

Titanyum ve alaşımlarına tavlama işlemi uygulanmasında işlem şartları büyük önem arz etmektedir. Tavlama işlemi uygulanan $\alpha+\beta$ alaşımları soğuma sırasında β fazı dönüşüme uğrayabilmekte, titanyum alaşımlarının bazılarında ve belirli şartlarda kırılma ω fazının oluşmasını sağlamaktadır. Tavlama işlemi sonrasında görülen β faz dönüşümü Ti6Al4V gibi $\alpha+\beta$ alaşımlarının ısı kararlılığına tesir etmektedir. İşlem şartlarına bağlı olarak mikroyapıdaki bu değişimi önlemek ve kararlı bir β fazı oluşumunu sağlamak için tavlama işlem parametreleri uygun seçilmelidir [56].

Titanyum alaşımlarının bir çoğu normalizasyon tavlaması, dubleks tavlama, tripleks tavlama, yeniden kristalleştirme tavlaması ve β tavlaması uygulandıktan sonra piyasaya sürülmektedir [46].

Titanyum alaşımlarının tavlama için önerilen işlem parametreleri Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Titanyum alaşımlarının bazıları için önerilen tavlama parametreleri [56].

Alaşımların		Tavlama Parametreleri		
İç Yapısı	Türü	Sıcaklık (°C)	Zaman (Sa)	Soğutma
α	Saf Titanyum	660-770	0,1-8	Havada
	Ti-5Al-2.5Sn	730-850	0,16-4	Havada
	Ti-5Al-5Sn-5Zr	880-910	0,5-4	Havada
	Ti-7Al-12Zr	870-910	0,5-4	Havada
	Ti-8Al-1Mo-1V	800-910	1-8	Havada
$\alpha+\beta$	Ti-2Fe-2Cr-2Mo	660-715	0,5-4	Havada
	Ti-8Mn	660-770	0,5-1	(1)
	Ti-4Al-4Mn	715-800	1-2	(1)
	Ti-4Al-4V	660-770	1-8	(2)
	Ti-4Al-3Mo-1V	715-740	1-2	Havada
	Ti-6Al-4V	715-850	1-8	(2)
	Ti-7Al-4Mo	715-800	1-8	(3)
β	Ti-13V-11Cr-3Al	720-800	0,16-1	Hava/su

(1): 550 °C'ye kadar yavaş sonra havada soğutma
(2): Havada veya fırında soğutma
(3): (1) işlemi veya sadece havada soğutma

2.2.3. Çözeltiye Alma ve Yaşlandırma

Titanyum ve alaşımlarına süneklik ve yüksek dayanım özellikleri çözeltiye alma ve yaşlandırma ısıl işlem basamakları uygulanarak sağlanmaktadır. Bilindiği gibi titanyum saf halde iken allotropik bir malzemedir ve hegzagonal sıkı paket yapısına (α fazı) sahiptir. Ancak malzeme belli bir sıcaklığın üzerine ısıtıldığında hacim merkezli kübik (β fazı) yapıya dönüşmektedir [56].

Titanyum alaşımlarından $\alpha+\beta$ ve β faz alaşımlarına uygulanan çözeltili alma ve yaşlandırma işlemleri malzemenin mukavemetinde yüksek artışlara neden olmaktadır. $\alpha+\beta$ fazından yapılan çözeltili alma işlemi mukavemetteki bu artışın yüksek süneklik ile birlikte sağlanabilmesi için uygulanmaktadır. Malzemeye uygulanan çözeltili alma işleminin sıcaklık değerlerindeki değişim yapıdaki β faz miktarını değiştirerek çözeltili alma işleminden sonra uygulanacak olan yaşlandırma işlem özelliklerinin değişiminde etkili olmaktadır. Yaşlandırma işleminin uygulanacağı sıcaklık, işlemin uygulama süresi ve ulaşılmak istenilen malzeme özellikleri çözeltili alma sıcaklığının tayininde başvurulacak önemli parametrelerdir [56].

Titanyum ve alaşımlarına çözeltili alma işlemi uygulanırken kullanılan sıcaklık değerinin β dönüşüm sıcaklığını geçmesi halinde mekanik özelliklerinin yanında sünekliğe de negatif bir etki göstermektedir. Yapılan yanlış sıcaklık değeriyle uygulanan ısı işlem sonrası malzemenin istenilen özelliklere ulaşması mümkün görülmemektedir. Bu nedenle işlem gerçekleştirilirken sıcaklık kontrolü önemli ölçüde dikkatlice uygulanmalıdır. Malzeme özelliklerini etkileyen önemli faktörlerden biri de soğutma hızıdır. Soğutma hızına en duyarlı malzemelerden biri olarak karşımıza çıkan Ti6Al4V, çözeltili alındığı sıcaklıktan 1,5 saniye içinde 550 °C'ye soğutulmalı, 2 saniye içinde de fırından soğutma ortamına alınmalıdır. Ti6Al4V alaşımının suda ve yağda soğutularak yaşlandırılması karşılaştırıldığında suda soğutularak yaşlandırılmış olan malzeme dayanımının diğer örneğe göre daha yüksek olduğu görülmüştür [56].

Malzemenin metalürjik kararlılığının yüksek olması, dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi, uygun süneklik özelliklerinin kazandırılması amacıyla uygulanan yaşlandırma işlemi titanyum ve alaşımlarına uygulanan ısı işlemin son adımıdır ve soğutma sonrasında iç yapıda aşırı doymuş şekilde bulunan β fazının parçalanmasına neden olmaktadır [56].

Titanyum alaşımlarının çözeltili alma ve yaşlandırılması için önerilen işlem parametreleri Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Titanyum alaşımlarının bazıları için önerilen çözeltiye alma ve yaşlandırma parametreleri [56].

Alaşım	İç Yapı	Parça Şekli	Çözeltiye Alma		Yaşlandırma	
			Sıcaklık (°C)	Zaman (sa)	Sıcaklık (°C)	Zaman (sa)
Ti-8Al-1Mo-1V	α	a	980-1010	5-15 d	585-620	7-9
Ti-2Fe-2Cr-2Mo	$\alpha+\beta$	a,b	760-805	0,5-1	480-510	2-8
Ti-4Al-4Mn		c	790-870	1-2	480-540	4-8
Ti-4Al-3Mo-1V		a	870-900	5-20 d	480-565	4-12
Ti-6Al-4V		a	900-940	5-20 d	480-540	3-5
Ti-6Al-4V		c	900-955	0,5-1	510-595	2-8
Ti-7Al-4Mo		c	925-980	0,5-2	540-620	4-8
Ti-13V-11Cr-3Al		β	a	790	5-20 d	425-540
Ti-13V-11Cr-3Al	b		790	0,5-1	425-510	24-100
Ti-13V-11Cr-3Al	c				425-480	0,5-4

a: sac b: çubuk c: dövme bar

Ti6Al4V ($\alpha+\beta$) alaşımına uygulanan bazı ısıl işlem türleri, işlemin şartları ve işlem sonrasında oluşan iç yapı Tablo 2.5.'de verilmiştir.

Tablo 2.5. $\alpha+\beta$ titanyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemler [56].

Isıl İşlem Türü	Isıl İşlem Şartları	Oluşan İç Yapı
Dubleks Tavlama	β dönüşüm sıcaklığının 50-75 °C altında çözeltilme alma, havada soğutma ve 540-675 °C sıcaklığında 2-8 saat yaşlandırma	Birincil α ve Widmanstatten tipi $\alpha+\beta$ bölgeleri
Çözeltilme Alma ve Yaşlandırma	β dönüşüm sıcaklığının yaklaşık 40 °C altında çözeltilme alma, su verme ve 535-675 °C sıcaklıkta 2-8 saat yaşlandırma	Birincil α ve temperli martenzit α veya $\alpha+\beta$ karışımı iç yapı
β Fazı Tavlama	β dönüşüm sıcaklığının yaklaşık 15 °C üstünde çözeltilme alma, havada soğutma ve 650-760 °C'de 2 saat kararlaştırılması	Widmanstatten tipi $\alpha+\beta$ bölgeleri
β Fazında Su Verme	β dönüşüm sıcaklığının yaklaşık 15 °C üstünde çözeltilme alma, su verme ve 650-760 °C'de 2 saat temperleme	Temperli martenzit α
Normalizasyon Tavlama	925 °C'de 4 saat ısıtmanın ardından 760 °C'ye kadar 50 °C/saat hızla soğutma ve daha sonra havada soğutma	Eşksenli α taneleri sınırlarında noktasal β fazları
Yeniden Kristalleştirme Tavlama	$\alpha+\beta$ fazında yapılan sıcak işlem sonrası 705 °C'de en az 30 dakika tavlama ve havada soğutma	Kısmi kristalleşmiş α taneleri içinde hacimce küçük β partikülleri

2.3. Titanyum Alaşımlarının İşlenebilirliği

İşlenebilirlik talaşlı imalat için önemli bir kavram olsa da genel bir tanım olmadığı görülmekte ve genellikle bir karşılaştırma yapmak için kullanılmaktadır. Bu

nedenle bir malzemenin işlenebilirliğinden bahsedilirken işlenebilirlik indeksi ifadesi ile karşılaştırılır. Bu indekste işlenebilirlik özelliği araştırılacak malzeme, seçilecek referans malzeme ile kıyaslanır. Her iki malzemenin de işlenmesinde 60 dakika takım ömrü veren kesme hızı değeri seçilir. Hedef malzemeye ait kesme hızının referans malzemeye ait kesme hızına oranı, hedef malzemenin işlenebilirlik indeksini belirler [59]. Belirtilen oran 1'den büyük ise hedef malzemenin işlenebilirlik özelliğinin referans malzemeye kıyasla daha iyi olduğu söylenebilir ve tersi de doğrudur. İşlenebilirliğe etki eden birçok faktörden bahsetmek mümkündür. Bunlar; malzemenin genel durumu ve fiziksel özellikleridir. Burada genel durum ile kastedilen, malzemenin içyapısı, tane boyutu, ısıl işlem durumu, kimyasal bileşimi, üretim yöntemi, sertliği, akma ve çekme dayanımıdır. Fiziksel özellikleri ise, elastikiyet modülü, ısıl iletkenliği, ısıl genleşmesi, deformasyon sertleşmesi şeklinde sıralanabilir [60]. Bir malzemenin işlenebilirliği ile hakkında karar verilirken ise takım ömrü, kesme kuvvetleri ve güç tüketimi, yüzey kalitesi ve talaş formu gibi genel verilerden yararlanılır [60].

Malzemelerin işlenebilirlik durumunu değerlendirirken yararlanılabilecek başlıca kriterler;

Takım Ömrü; kesme koşullarının etkileyebileceği takım ömrü işlenebilirliğin en önemli ölçütlerindedir. Uzun takım ömürleri ve sabit kesme koşullarında azalan takım aşınması o koşullarda işlenebilirliğin arttığı anlamını taşır [61].

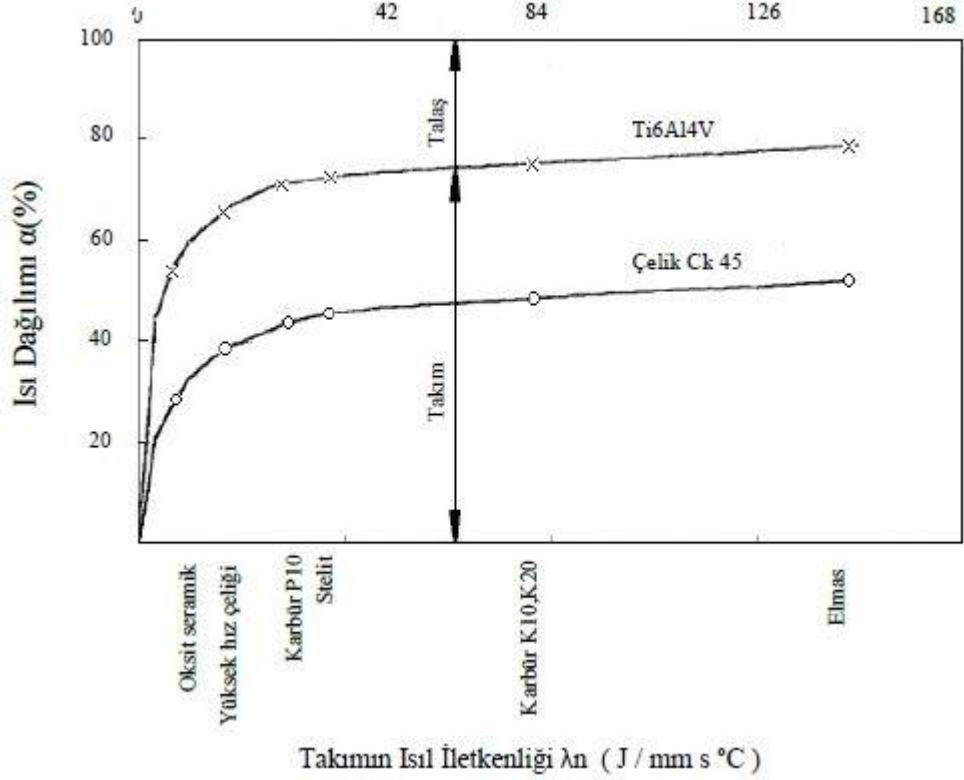
Kesme Kuvveti; kesme kuvvetinin düşük olması takım aşınmasını azaltır aynı zamanda geometrik tamlığı artırır. Kesme kuvvetinin düşük değerlerde seyretmesi kesim için ihtiyaç duyulan gücün de düşük olmasını gerektirir ve bu koşullarda işlenebilirliğin daha iyi olduğu söylenebilir [61].

Talaş; kesme parametrelerindeki değişikliklerle kesme sırasında oluşan talaşın formuna müdahale edilebilir. Kesme sırasında kısa talaş oluşumunun tercih edilme sebebi uzun, toz ve sürekli talaş oluşturan malzemelere kıyasla işlenebilirliğinin daha iyi olmasıdır. Kesme sırasında oluşan ısının kesme bölgesinden uzaklaştırılması bilindiği gibi büyük ölçüde talaşla sağlanır. Uzun ve sürekli, toz talaş oluşumu ısının kesme bölgesinden uzaklaştırılmasını zorlaştıracak

ve işlenebilirliğe olumsuz etki edecektir. Bu yüzden talaşlı şekillendirme işlemi uygulanırken, kısa talaş oluşturan kesme parametreleri tercih edilmelidir [61].

Yüzey Pürüzlülüğü; işleme sonrasında malzemenin işlenmiş yüzeyinde ölçülen yüzey pürüzlülük değerinin düşük olması yüzey kalitesinin iyi olduğuna, dolayısıyla işlenebilirliğin de iyi olduğu anlamı taşımaktadır. Yüzey pürüzlülük değerlendirmesi genellikle ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan Ra ölçüm sonuçlarına göre yapılmaktadır [61].

Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirliğini etkileyen faktörler arasında kesme parametreleri de yer almaktadır. Titanyumun işlenmesini güçleştiren etkenlerden biri de titanyumun ısı iletkenliğinin düşük olması ve işlem sırasında yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılmasıdır. Titanyumun ısı iletkenliğinin düşük olması, kesme sırasında oluşan ısının uzaklaştırmada en büyük faktörlerden olan talaşa aktarılamaması ve ısının kesici takım üzerinde birikmesine ve yüksek sıcaklıkla oluşan aşınma mekanizmalarının harekete geçmesine neden olmaktadır. Ti6Al4V ve CK45 çeliği için kesme işlemi sırasında ısının talaş ve takıma dağılım oranı Şekil 2.10.'da gösterilmiştir. Kesme sırasında oluşan sıcaklığın en önemli nedeni olarak kesme hızı ve ilerleme gösterilebilir. Kesme hızı ve ilerleme arttıkça sıcaklık artar ve takım aşınır, takımın aşınmasına bağlı olarak malzemenin yüzey kalitesi azalır. Kesme şartlarından biri olan kesme derinliğinin artması; hem ihtiyaç duyulan kesme kuvvetini arttıracak hem de sürtünme kuvvetini arttırarak daha fazla ısının açığa çıkmasına neden olacaktır. Kesme derinliği arttıkça işlenebilirliğin azaldığı yargısına ulaşılabilir. Titanyumun işlenmesi sırasında bilindiği gibi yüksek sıcaklık ve aşınma meydana gelir. İşlem sırasında sıcaklığın düşürülmesi ve sürtünmenin azaltılarak aşınmanın önlenmesi için kesme sıvısı kullanılmalıdır. Kesme sıvısı olarak klasik, MQL, kriyojenik soğutma, hava kullanılmaktadır. Düşük kesme hızlarında klasik akışkan (bor yağı) yeterli olurken, yüksek kesme hızlarında MQL daha etkilidir.



Şekil 2.10. Farklı kesici takımlarla uygulanan kesme işlemlerinde Ti6Ti4V ve CK45 çelik için ısının takım ve talaşa dağılımı [6].

İş parçasının frezelenerek şekillendirildiği işlemlerde kesici takım dönüş yönü ve tablanın ilerleme yönü işlenebilirlik açısından göz önünde bulundurulması gereken parametreler arasındadır. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın dönüş yönü ile takım tezgâhı tablasının ilerleme yönünün bir birine göre durumu kesme işlemi ve elde edilen yüzey kalitesini etkiler. Kesici takımın dönüş yönü ile tablanın ilerleme yönünün aynı olduğu şartlarda gerçekleştirilen kesme işlemine aynı yönlü frezeleme denir. Her bir devirde takımın kesici ağızına gelen talaş yükü maksimum ile başlar ve kesme sonlanana kadar sifıra doğru azalma gösterir. Kesici takımın dönüş yönü ile tablanın ilerleme yönünün birbirine zıt olduğu şartlarda yapılan kesme işlemine ise zıt yönlü frezeleme denir. Bahsedilen şartlarda her devirde tek bir kesici ağıza gelen talaş yükü sıfırdan başlar ve işlem sonlandığında maksimuma ulaşır. Bu koşullarda talaşın takım ile kesilen yüzey arasında sıkışması söz konusu olabilir ve takım kesmeye çalıştığı talaşı iş parçası malzemesinin yüzeyine doğru bastırıldığı için yeni işlene yüzeyde deformasyon sertleşmesi meydana gelebilir [62]. Şekil 2.11.'de aynı ve zıt yönlü frezeleme işlemleri gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Aynı ve Zıt Yönlü Frezeleme [63].

Titanyum alaşımlarının sahip olduğu özellikler, alaşımların işlenebilirliği zor malzeme grubunda anılmasına neden olmaktadır. Bu özelliklerden genel olarak bahsedilecek olursa;

1. Ti6Al4V alaşımının termal iletkenliği düşüktür. Örneğin orta karbonlu, düşük alaşımlı AISI 4340 çeliğinin oda sıcaklığındaki ısı iletkenliği yaklaşık 44,5 W/m.K iken aynı şartlarda Ti6Al4V alaşımının ısı iletkenliği yaklaşık 7,2 W/m.K'dır. Bu da işlem süresince oluşan ısının kesme noktasından uzaklaştırılmasını zorlaştırır.
2. Ti6Al4V alaşımının işlenmesinde çıkan talaşın diğer malzemelere kıyasla oldukça ince olması nedeniyle takım-talaş temas alanı daralır. Bu da takımın ucunda yüksek gerilmelerin meydana gelmesine neden olur. Belirtilen problem alaşımın düşük ısı iletkenlik özelliği ile birleştiğinde kesme esnasında oluşan ısının çok yüksek değerlere çıkması söz konusu olmaktadır [64].
3. Alaşım yüksek sıcaklıklarda da yüksek dayanım özelliklerini korumaktadır. Bu da talaş oluşumu için gerekli plastik deformasyonun oluşmasını zorlaştırmaktadır [29, 65].
4. Titanyum alaşımlarının kimyasal reaktifliği yüksektir. 500 °C ve üzeri sıcaklıklarda titanyum reaktif hale geçer ve O ve C başta olmak üzere birçok elemente karşı yüksek reaksiyon eğilimi gösterirler. Bu nedenle kesme işlemi sırasında titanyum alaşımlarının işlenmesinde takım-talaş

temas yüzeyinde kimyasal reaksiyon meydana gelir ve çoğu zaman kullanılan takım malzemesi belirleyici değildir [4, 29, 34].

5. Ti6Al4V alaşımının düşük elastikiyet modülü kesme esnasında kesici takımın uyguladığı yükten dolayı malzemenin eğilmesine neden olmaktadır. Bu durum özellikle ince kesitli ve derin duvarların işlenmesinde problem oluşturur [34, 62].

2.3.1. Titanyum Alaşımlarının İşlenmesinde Meydana Gelen Talaş Formları

Bir iş malzemesinin deformasyonu, takım tarafından iş malzemesini kalıcı olarak şeklini değiştirmek veya kırmak için yeterli kuvvetin uygulandığı anlamına gelir. Bir malzeme şekil değiştirirse, plastik sınırını aştığı söylenir. Talaş, şekil değişimi ve kırılmanın bir birleşimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kesme işlemi sırasında mekanik enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşür ve bu ısının büyük bir kısmı kesme ortamından talaş ile uzaklaştırılır. Metal kesme işleminde ortaya çıkan talaşlar üç temel tip olarak incelenecek olursa;







Süresiz Talaş - Tip 1; dökme demir ve sert bronz gibi kırılğan metallere kesildiğinde veya zayıf kesim koşullarında bazı sünek metallere kesildiğinde süresiz veya parçalı talaşlar üretilir. Kesici takım metal ile temas ettiğinde, bazı sıkıştırmalar meydana gelir ve talaş, talaş-takım arayüzü boyunca akmaya başlar. Kesme hareketiyle kırılğan metale daha fazla gerilme uygulandığında talaş işlenmemiş kısımdan ayrılır. Bu çevrim kayma açısı ve kayma düzlemi üzerinde meydana gelen her parçanın kırılması ile kesme işlemi sırasında süresiz olarak tekrarlanır. Genelde, bu ardışık kopmaların bir sonucu olarak, iş parçası üzerinde kötü bir yüzey oluşur [60].

Sürekli talaş - Tip 2; takım yüzeyinin yanındaki metal akışı, takım talaş arayüzünde bir yığılma kenar oluşumu veya sürtünme ile büyük ölçüde kısıtlanmadığında üretilen sürekli bir metal şerittir. Tip 1 talaş aksine, metalin sünek

doğasından dolayı kırılma veya kopma meydana gelmez. Talaş oluşumu, kesme takımından işlenmemiş çalışma yüzeyine uzanan tek bir düzlemde gerçekleşir [60].

Yığılma kenar ile sürekli talaş- Tip 3; kesici takımın önündeki metal sıkıştırılır ve talaş-takım arayüzü temas yüzeyi boyunca akmaya başlayan bir talaş oluşturur. Yüksek sıcaklık, talaş-takım arayüzü boyunca talaş akışına karşı yüksek basınç ve yüksek sürtünme direnci sonucunda, küçük parça metaller talaşın kesilmesi sırasında kesici takımın kenarına yapışmaya başlar. Kesme işlemi devam ettikçe, daha fazla parçacık kesici takıma yapışır ve kesme hareketini etkileyen daha büyük bir birikme oluşur. BUE (ısınmının etkisiyle takıma talaş yapışması-yığılma kenar oluşumu), boyut olarak artar ve daha kararsız hale gelir. Sonunda parçaların koptuğu noktaya ulaşılır. Kopan bu parçaların bir kısmı, talaşa ve iş parçasına yapışır. Bu parçalar, işlenmiş yüzeye yapışır, bu da zayıf bir yüzey kalitesi ile sonuçlanır [60].

Bir iş parçasından çıkan talaşların incelenmesi, işin ne kadar iyi gittiği, takım aşınmasının nasıl geliştiği ve kısa takım ömrünün nedeni hakkında çok fazla bilgi verecektir. Titanyum ve alaşımlarının işlenmesi konusunda yapılan literatür araştırması, elde edilen talaşların testere dişli olduğu ve uygulanan kesme parametrelere göre talaş şekillerinin değiştiğini göstermektedir. Titanyum ve alaşımları işlenmesinde ortaya çıkabilecek talaş formları Şekil 2.12.'de gösterilmiştir ve genel olarak;

Düz	
Dolaşmış	
Sonsuz Sarmal	
Tam Dönüşlü	
Yarım Dönüşlü	
Sıkı	

Şekil 2.12. Titanyum ve alaşımlarının işlenmesinde ortaya çıkabilecek talaş formları [60].

Düz Talaş; Düz talaşlar genellikle en sıkıntılı olanıdır. Takım tezgahının her yerine takılırlar, takıma, iş parçası ve fikstürlere (bağlama ekipmanı) dolanırlar, takımların kırılmasına neden olurlar, talaş kaldırma ekipmanlarına sıkışırlar, çıkarılmaları zordur. Düz talaşı ortadan kaldırmanın en hızlı yollarından biri, daha hızlı bir talaş daha kolay kırıldığından, ilerleme hızını (talaş kaldırma hızı) arttırmaktır [60].

Birbirine girmiş (dolaşmış) talaş; dolanmış talaşlar, sürekli talaşlar gibi, sürekli talaşlardır. Genellikle düz talaşlarla aynı koşullardan kaynaklanır ve aynı sorunları yaratırlar. Bu nedenle, dolanmış bir talaş durumunun düzeltilmesi için, aynı yöntemlerin düz talaşlarla aynı şekilde kullanılması mantıklıdır. Buna ek olarak, talaşları takımdan çıktıkça bir soğutma sıvısı ile soğutmak, onları kırmaya yardımcı olur [60].

Sonsuz Sarmal Talaş; sonsuz helis talaşları kırılma noktasına yakın talaşlardır. Bu tip bir talaşın yarattığı problemler, düz talaşınkilere benzerdir. Sonsuz helis talaşları, bir çok sünek malzeme işlenirken oluşumu yaygındır. Doğal talaş akış yönünü değiştirmeye zorlayacak bir sinterlenmiş talaş kırıcı kesici ucu kullanmak, sonsuz sarmal talaşın kırılmasında genellikle etkilidir. İlerleme veya hızda artış, talaşın kırılmasına yardımcı olur [60].

Tam Dönüslü Talaşlar; tam dönüslü talaşlar, tutarlı oldukları ve ara sıra kalıntıları olmadığı sürece genellikle bir problem değildir. Tutarlı bir tam dönüslü talaş ideal yarım dönüş talaşa yakındır [60].

Yarım Dönüslü Talaş; Mükemmel bir talaş gibi bir şey varsa, bu yarım dönüş veya '6' şeklindeki talaş olarak tarif edilmektedir. Bu, makine operatörünün kesme işleminde ortaya çıkarmak istediği talaş şeklidir. "Yarım dönüş" bir talaş Şekil 2.13.'de gösterilmiştir [60].

Sıkı Talaşlar; sıkı talaşlar, takım ömrünün ya da erken takım arızalarının meydana gelebileceğinin bir işaretidir. Sıkı talaş çok yüksek basınçla oluşur ve yoğun ısıya, takımın ve iş parçasının sapmasına ve hızlı takım aşınmasına neden olur. Sıkı bir talaş, sıkışmış bir talaştır, bu da akış yolunun aşırı derecede kısıtlanmış

olmasıdır. Sıkı talaşın oluşmasının nedenleri şunlardır; çok yüksek bir ilerleme hızı, çok negatif bir eğim açısı, uygun olmayan talaş kırıcı seçimi [60].



Şekil 2.13. Yarım dönüş talaş şekli [60].

2.3.2. Titanyum ve Alaşımlarının İşlenmesinde Kesici Takım Seçimi

Titanyum ve alaşımlarının sahip olduğu kimyasal ve mekanik özellikler, alaşımların talaşlı şekillendirilmesini güçleştirmektedir. Titanyum ve alaşımlarının kullanım alanının genişlemesi, malzemeye olan talebin artması bu alaşımların talaşlı imalatı için uygun kesici takım arayışını da arttırmış olsa da Titanyumun sahip olduğu zorlayıcı özellikler nedeniyle bu amaca tam anlamıyla ulaşılabildiği söylenememektedir. Titanyum ve alaşım özelliklerinin kesici takıma olan etkileri Tablo 2.6.'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Titanyum ve alaşım özelliklerinin kesici takıma olan etkileri [4].

Malzeme Özellikleri	Kesici Takıma Etkisi
Mukavemetin yüksek sıcaklıklarda korunması	Yüksek kuvvet ve ısıların oluşması
Talaş/takım temas alanının darlığı	Kesme kuvvetinin ve ısının yoğunlaşması
Isıl iletkenliğinin düşük olması	Isının sıkışıp yükselmesi
Periyodik talaş oluşumu ve düşük elastisiteden kaynaklanan değişken kuvvetler	Vibrasyon ve tırlama
Kimyasal reaktifliğin yüksek olması	Özellikle krater aşınması olmak üzere kimyasal tabanlı aşınmalar

Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirliğini zorlaştıran özellikleri göz önünde bulundurulduğunda seçilecek kesici takımda bulunması gereken özellikleri ön görememek mümkün değildir. Nitekim Ezugwu ve Wang bu özellikleri aşağıdaki gibi maddeler halinde özetlemiştir [6]:

1. Talaş kaldırma işlemi esnasında meydana gelen plastik deformasyonun %90'nı ısıya dönüşür ve iş parçası ve kesici takım malzemesinin ısı iletkenlik özelliğine göre söz konusu ısının bir kısmı iş parçasında bir kısmı ise kesici takımda kalır. Çelik malzeme işlerken ısının yaklaşık %50-60'ı kesici takımda kalırken Titanyum alaşımlarının düşük ısı iletkenlik özelliklerinden dolayı Titanyum alaşımı işlerken ısının yaklaşık %80'i kesici takımda kalır [15]. Ayrıca alaşımın küçük kesitli talaş vermesi nedeniyle talaş-takım temas yüzeyinin dar olması nedeniyle takımda yüksek gerilmeler meydana gelmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı kesici takımın kızıl sertliği yüksek olmalıdır.
2. Termal şokların en aza indirilebilmesi için kesici takımın ısı iletkenliği yüksek olmalıdır.
3. Alaşımın kimyasal reaktifliğinin yüksek olması nedeniyle kesici takımın kimyasal kararlılığı yüksek olmalıdır.
4. Talaş segmentasyonuna karşı koyabilecek tokluk ve yorulma dayanımına sahip olmalıdır.
5. Alaşım yüksek sıcaklıklarda da dayanım özelliklerini kaybetmediğinden ve deformasyon sertleşmesi gösterdiğinden kesici takımın çekme, basma ve kayma dayanımı yüksek olmalıdır [6].

Diğer yandan Jeffery ve Mativenga gerçekleştirdikleri literatür taramasında, titanyum alaşımlarının talaşlı imalat yöntemleri ile şekillendirilmesinde kullanılan kesici takım malzemelerini değerlendirmişlerdir. Derledikleri bilgiler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Ti6Al4V titanyum alaşımının talaşlı imalat yöntemleri ile işlenmesi konusunda gerçekleştirilen ilk çalışmalarda araştırmacılar, kesici takım malzemesi olarak özellikle kaplamasız ve yaklaşık ağırlık %6 Co içeren karbür malzemeleri önermektedirler,
2. Karbür malzeme içerisindeki ağırlıkça %Co içeriği takım performansı için belirleyicidir. Oranın artması plastik deformasyon aşınmasını, azalması ise çentik aşınmasını arttırmaktadır.
3. Ayrıca karbür malzemenin tane boyutu da kesici takımın takım ömrüne etki eden bir diğer önemli faktördür. Optimum takım ömrünün elde edilebilmesi için tane boyutunun 0,8-1,4 μm arasında olması gerekir. Tane çapının küçülmesi ile takım malzemesinin sertliğini artacağı bilinen bir gerçektir. Tane apı azalması plastik deformasyon aşınması azaltırken, artması ise krater aşınmasını azaltmaktadır.
4. Karbür kesici takımlar kullanılırken negatif eğim açısının, negatif eğim açısına kıyasla takım kenar güvenliğini attırmaktadır.
5. Karbür kesicilere uygulanan kaplamalardan da yüksek tokluk ve yorulma dayanımı ile kimyasal kararlılık beklenmektedir.
6. Diğer yandan seramik, elmas, kübik bor nitrür gibi ticari kesici takım malzemeleri titanyum alaşımlarının işlenmesine uygun değildir.
7. Kesici takım malzemelerinde kullanılan, HfC, NbC, TaC, Ti, WC, VC, ZrC gibi karbürler, BN, HfN, Si₃N₄, TiN gibi nitrürler ve, Al₂O₃, HfO₂, ZrO₂, La₂O₃ gibi oksitler arasında sadece La₂O₃, Ti içerisindeki çözünebilirliğinin düşük olması nedeniyle dikkat çekicidir.

2.3.3. Titanyum Alaşımlarının İşlenmesinde Meydana Gelen Aşınma Tipleri

Titanyum ve alaşımlarının talaşlı imalatı sırasında kesme bölgesinde sıcaklığın yüksek olması, malzemenin yüksek mukavemet özelliklerini koruması, takım üzerinde oluşan mekanik gerilmeler kesici takımın aşınmasını hızlandırırken ömrünü kısıltmaktadır. Takımdaki aşınma miktarı malzemelerin işlenebilirliği açısında önemli parametrelerdendir. Ürünün yüzey pürüzlülük değerlerini, geometrik tamlığını da etkileyen başlıca takım aşınma mekanizmaları incelenecek olursa;

Abraziv aşınma; birbirlerine temas halinde olan iki malzemenin, sert olanın yumuşak olan malzeme yüzeyinden mikro parçacık koparması olarak tarif edilebilecek olan aşınma mekanizmasıdır. Kesici takım sertliğinin arttırılması bu aşınma mekanizmasının oluşmasını önleyecek en büyük etmendir [62].

Difüzyon aşınması; yüksek kesme hızlarının da yol açabildiği kesme bölgesindeki yüksek sıcaklıkların etkisiyle kesici takım ve iş parçası malzemelerinin kimyasal reaksiyonun bir sonucu olan aşınma mekanizmasıdır. Bu aşınma mekanizması, kesici takım sertliğiyle değil kesici takım malzemesinin, işleyeceği iş parası malzemesine olan kimyasal kararlılığı ile engellenebilir [62].

Oksidasyon aşınması; kesme sırasında oluşan yüksek sıcaklık ve havanın etkisiyle malzemedede meydana gelen oksidasyondur. Talaşlı imalat sırasında yaygın olarak görülen mekanizmalardan değildir [62].

Yorulma aşınması; kesme işlemi sırasında kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık değişimi, kesici takım üzerindeki kesme kuvvetinin minimum ve maksimum değerler arasında değişerek işlemin devam etmesi gibi etkiler nedeniyle kesici takımda çatlak ve kırılmaların görüldüğü aşınma mekanizmasıdır [62].

Adeziv aşınma; birbirlerine temas halinde olan iki malzemenin birbirine yapışması ve ayrılma durumunda zayıf olan malzemenin ana parçadan kopması ile

oluşan aşınma mekanizmasıdır. Bu aşınma mekanizması yığma kenar oluşumuna neden olur [62].

İş parçasının işlenmesinde kesici takımlarda oluşan aşınma tipleri özetlenecek olursa;

Serbest Yüzey Aşınması; iş parçası malzemesindeki sert parçacıkların etkisiyle kesici takımın serbest yüzeyinde meydana gelen bu aşınma abraziv aşınma mekanizmasından kaynaklanır. Serbest yüzey aşınmasının artması ile yüzey kalitesi düşer, boyut hassasiyeti azalır ve sürtünme artar. Bu aşınma tipinin oluşmasını önlemek için kesme hızı azaltılmalı, aşınmaya karşı daha dayanıklı bir malzeme kalitesi seçilmeli ve ilerleme arttırılmalıdır [62].

Krater Aşınması; Difüzyon ve abraziv aşınma mekanizmalarından kaynaklanan, takım ve talaş arasında, talaşın en yüksek sıcaklıkta olduğu kısmında oluşan difüzyon sebebiyle ortaya çıkan aşınma tipidir. Krater aşınmasının artması ile kesici kenar geometrisinin değiştiği ve ucun zayıfladığı gözlemlenir. Yüksek sertlik ve kızıl sertliğe sahip takım malzemeleri kullanmak ve malzemeler arasındaki afinitenin minimum olması krater aşınmasını en düşük seviyelere indirir [62].

Yığma kenar, Talaş Yığılması (BUE); Yüksek basınç ve düşük sıcaklıklarda iş parçası malzemesinin koparak takım üzerine kaynaklanması (yapışması) olan bu aşınma tipi kesme hızına ve kesici takım ile iş parçası arasındaki afiniteye bağlı olarak ortaya çıkar. Düşük kesme hızları, düşük ilerleme, kesme bölgesinin sıcaklığının çok düşük olması yığma kenar aşınma tipine sebep olurken, kesme hızı ve ilerlemenin arttırılması, kesme sıvısı kullanılmasıyla bu aşınma tipinin önüne geçilebilir [62].

Çentik Aşınması; çentik aşınması Adezyon aşınma olmasıyla birlikte oksidasyon aşınmasının da oluşumunda etkisi vardır. Kesici kenar ile malzemenin ayrıldığı noktada oluşan çentik, işlemlerde yüzey kalitesini olumsuz etkiler [62].

Plastik Deformasyon; kesici üzerinde yüksek sıcaklık ve yüksek basınç nedeniyle oluşan bir aşınma tipidir. Kesme hızının ve ilerlemenin yüksek olması, iş parçası malzemesinin sert olması işlem sırasında ısı ve basıncın yüksek olması

sonucunu doğurur. Bu etkilerden dolayı kesici takımında yüksek kızıl sertlik aranmaktadır. Uygun kesici geometrisi kullanılması bu aşınma tipinin engellenmesinde etkilidir [62].

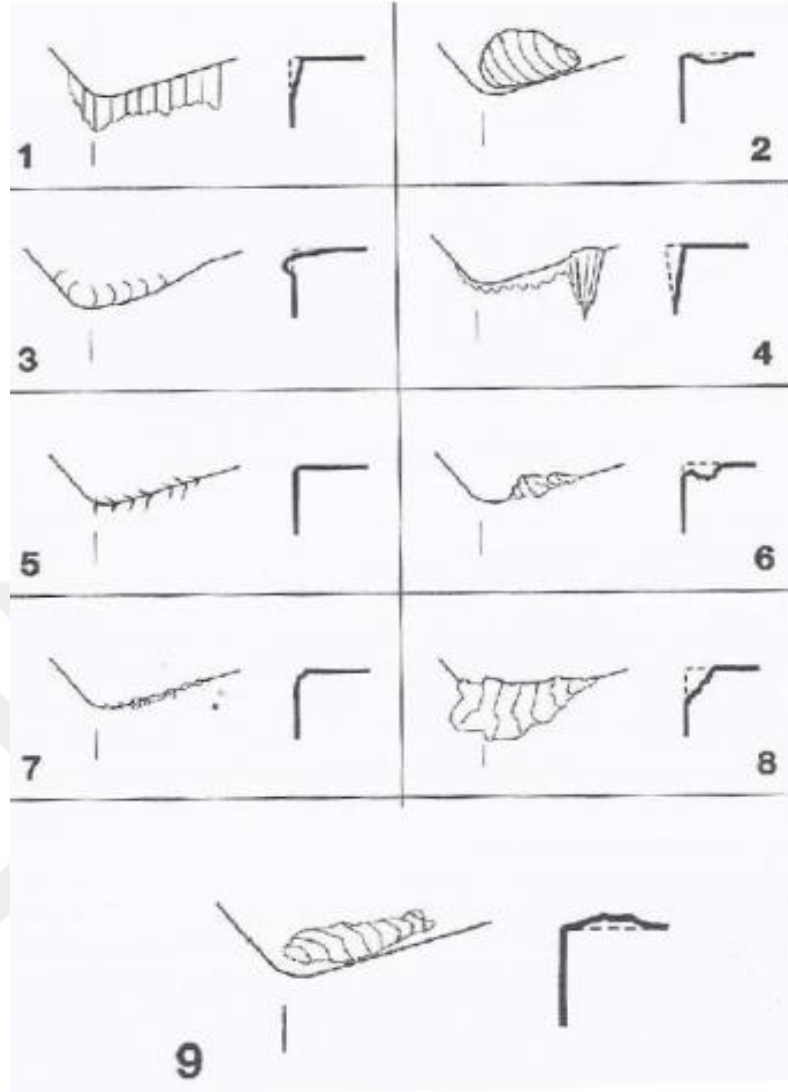
Termal Çatlaklar; Bir yorulma aşınması olan termal çatlaklar özellikle frezeleme işleminde değişen sıcaklıkların neden olduğu aşınma tipidir. Kesme hızı, talaş derinliği, darbeli işleme ve kesme sıvısı beslemesinin değişken olması işlem sıcaklığını değiştireceğinden termal çatlaklara neden olan önemli etkenlerdendir. Termal dayanıklılığı yüksek olan tok malzemeler seçilerek ve kesme sıvısının bol miktarda veya hiç kullanılmayarak bu tip aşınma azaltılabilir [62].

Kesici kenardan tanecik kopması; kesici takıma etkiyen kuvvetin değişken olması minimum ve maksimum değerler arasında dalgalanma yaşaması nedeniyle oluşan yorulma sonucunda takım malzemesinin kesici takım yüzeyinden koptuğu aşınma tipidir. Takım üzerindeki aşırı yüklemeler, yüksek talaş derinliği, titreşimler, iş parçası üzerinde kum birikmesi, kesici uç üzerindeki aşırı aşınma kesici kenardan tanecik kopmasında oldukça etkilidir [62].

Kesici kenarın kırılması; bu aşınma tipi görüldüğünde kesici takımın ömrünü tamamladığı sonucu çıkarılır ve imtina edilmesi gereken tehlikeli bir aşınma türüdür [62].

Mekanik yorulma çatlakları; kesici kenara paralel olarak ortaya çıkan bu çatlaklar kesme sırasında tek başına çatlak oluşturmayacak olan gerilmelerin minimum ve maksimum değerlerinde dalgalanmasıyla yorulmaya bağlı olarak ortaya çıkan çatlaklardır [62].

Kesici takımında oluşabilecek başlıca aşınma tipleri Şekil 3.14.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Kesici takımında görülebilecek aşınma tipleri [62]. 1) Serbest yüzey aşınması, 2) Krater aşınması, 3) Plastik deformasyon, 4) Çentik oluşumu, 5) Isıl çatlaklar, 6) Mekanik Yorulma çatlakları, 7) Tanecik kopması, 8) Kesici ucun kırılması, 9) Yığılma kenar oluşumu.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneysel çalışmada kullanılan kesici takım ve iş parçası, cihaz ve sistemler bu bölümde anlatılmıştır. İş parçasının kimyasal bileşimi, boyutları, ön hazırlık aşamaları açıklanmıştır. Deneysel sonunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde kullanılan cihazlar ve özelliklerinden, aşınma fotoğraflarının ve aşınma değerlerinin belirlenmesinde kullanılan mikroskoplar anlatılmıştır.

3.1.1. İş Parçası

Bu çalışmada iş parçası malzemesi olarak Ti6Al4V kullanılmıştır. Ti6Al4V çubuktan kesilerek elde edilen deney numunesi 40mm çapında ve 20 mm kalınlığındadır. Ti6Al4V malzemesinin kimyasal kompozisyonu Tablo 3.1’de, fiziksel özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Ti6Al4V malzemesinin kimyasal kompozisyonu.

Kimyasal Bileşim								
Alaşım Tipi	Ti	Al	V	N	C	H	Fe	O
Ti6Al4V	kalan	6,32	4,18	0,006	0,023	0,003	0,19	0,182
		6,52	4,21	0,007	0,021	0,003	0,19	0,182

Tablo 3.2. Ti6Al4V fiziksel özellikleri.

Ti6Al4V Fiziksel Özellikleri					
Özkütle (g/cm ³)	Erime Noktası (°C)	Isıl İletkenlik (W/m ⁰ C)	Çekme Direnci (MPa)	Akma Direnci (MPa)	Sertlik (HRC)
4,43	1650	6,6	989-982	895-887	33

3.1.2. Kesici Takım

Yapılan deneylerde kesici takım olarak Ø4 mikro taneli yekpare karbür 52 HRC sertliğe sahip AlTiCrN kaplamalı Eurocut marka parmak freze kullanılmıştır. Kesici takım boyutları Tablo 3.3.' de verilmiştir.

Tablo 3.3. Kesici takım boyutları.

D1	D2	L1	L2	Z (kesici ağız sayısı)
4	4	10	50	4

3.1.3. Takım Tutucu

İşlenebilirlik deneyleri spindle motoru, 2.2 kW güce ve 18000 dev/dk maksimum devir sayısına sahip hertz marka olan CNC Router'da gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle kesicinin bağlanabilmesi için ER 20, Ø4'lük pens ve pens takımı kullanılmıştır. Ayrıca her işlemde kesicinin, takım tutucu dışında kalan kısmının 15mm sabit olmasına dikkat edilmiştir.

3.1.4. Isıl İşlem Fırını

Ti6Al4V malzemelere frezeleme öncesinde uygulanan ısı işlemler Protherm PLF 120/7 kamara fırınlarında uygulanmıştır. Isıl işlem uygulanan Fırının özellikleri Tablo 3.4. de belirtilmiştir.

Tablo 3.4. Isıl işlemlerin uygulandığı fırın özellikleri.

Protherm PLF 120/7 Kamara Fırın	
Maksimum Sıcaklık (°C)	1200
İç Ölçüler (cm)	14x20x25
Hacim (lt)	7,3
Maksimum Güç (kW)	2

3.1.5. CNC Dik İşleme Merkezi

Ti6Al4V malzemesinin işlenmesinde EL6060 Masaüstü CNC Router model numaralı dik işleme merkezi kullanılmıştır. Dik işleme merkezinin özellikleri Tablo 3.5.' de verilmiştir.

Tablo 3.5. Dik işleme merkezi özellikleri.

Dik İşleme Merkezinin Özellikleri	
Model No	EL5490 Masaüstü Cnc Router
Çalışma Alanı (mm)	540x900x200
Eksen Motorları	Hybrid Servo Motor
Maksimum Eksen Hızı	8.000 mm/dk
Spindle Motor	2,2 kW; 18.000 devir/dk

3.1.6. Mikroskop

Kesici takımların aşınma miktarlarının ölçümünde Dino Capture 2.0 yazılımı ile Dino Lite AM 7915MZTL dijital mikroskop kullanılmıştır.

3.1.7. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

İşlenmiş numunenin yüzey pürüzlülük ölçümleri Mitutoyo SJ-301 yüzey pürüzlülük cihazında ölçüm aralığı 5 mm seçilerek yapılmıştır.

3.2. Yöntem

Bu çalışmadaki deneyler Ti6Al4V malzemesinin üç farklı ilerleme miktarı ve üç farklı giriş yöntemi ve iki farklı ısıl işlem uygulanarak yapılmıştır. Çalışma aşamaları şu şekilde ilerlemiştir;

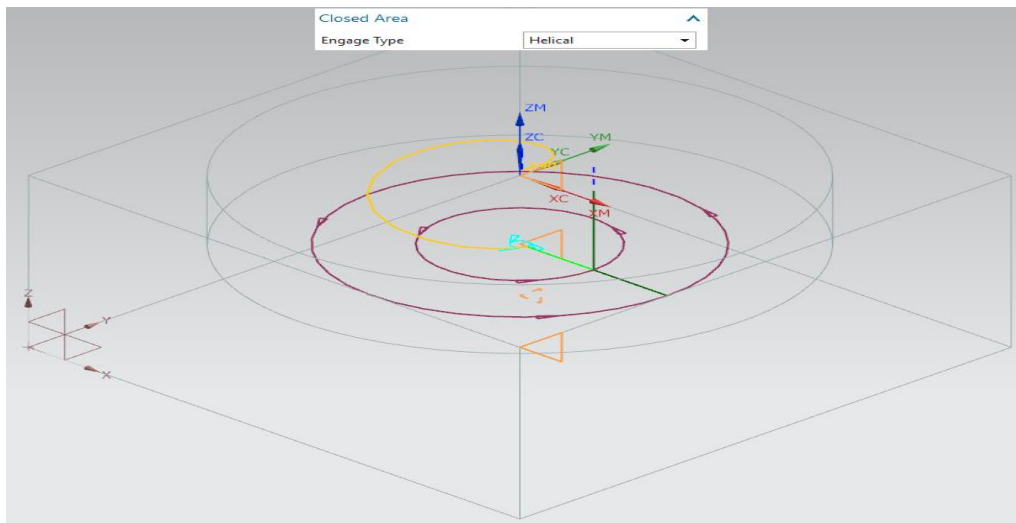
- Çubuktan kesilmiş olarak temin edilen Ti6Al4V malzemesine iki farklı ısıl işlem uygulanması
- Numunelerin dik işleme merkezinde üç farklı giriş ve ilerleme miktarında işlenmesi
- İşlemede kullanılan kesici takımların mikroskop altında aşınmalarının incelenmesi
- İşleme sonrası iş parçasında yüzey pürüzlülük ölçümü

3.2.1. Isıl İşlemlerin Yapılması

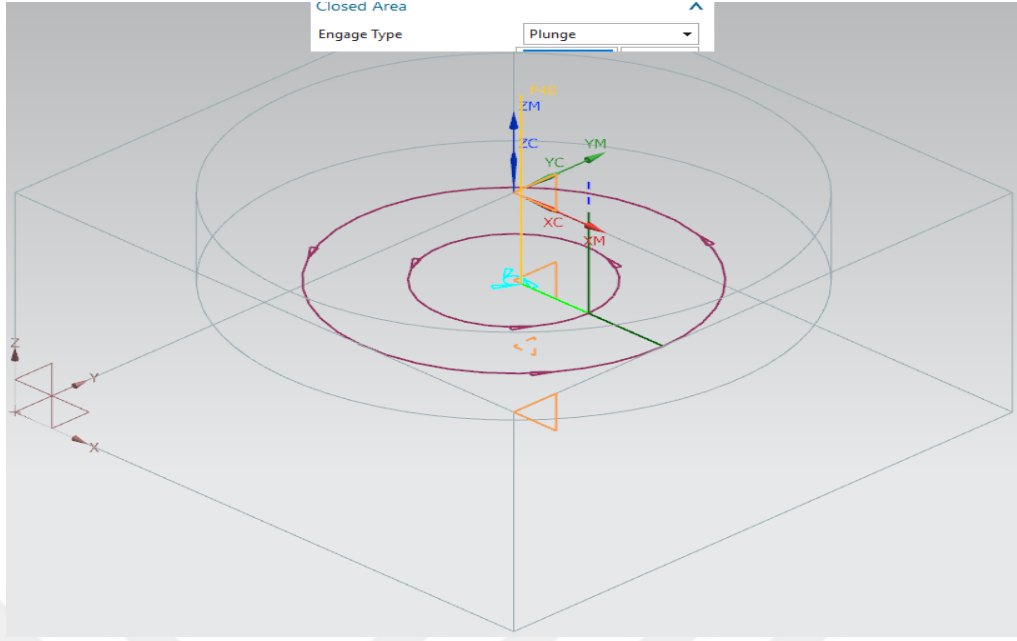
Çubuktan kesilmiş olarak temin edilen ve 40 mm çapında 20 mm kalınlığındaki 36 numune Protherm PLF 120/7 Kamara Fırında iki farklı ısıl işleme tabi tutulmuştur. Talaş kaldırma deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanan Ti6Al4V alaşımı numunelere, alaşımın faz oranlarının işlenebilirliğe etkilerinin incelenebilmesi amacıyla 2 farklı ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem parametrelerinin belirlenmesinde ilgili literatürden yararlanılmıştır. Belirtilen amaç ile alaşımın en sert halinin elde edilebilmesi için tavlama işlemi, β fazının küresel olarak α fazı içerisinde oluşmasını sağlamak ve nispeten yumuşak bir içyapı elde etmek amacıyla yaşlandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tavlama işlemi için numuneler (N2) 955°C'de 4 saat tutulmuş ve fırında soğutulmuştur. Yaşlandırma işlemi için ise numuneler (N1) 955°C'de 1 saat tutulmuş ve su da soğutulmuş, ardından 550°C'de 4 saat tutularak sonrasında havada soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Numunelerin CNC Dik İşleme Merkezinde İşlenmesi

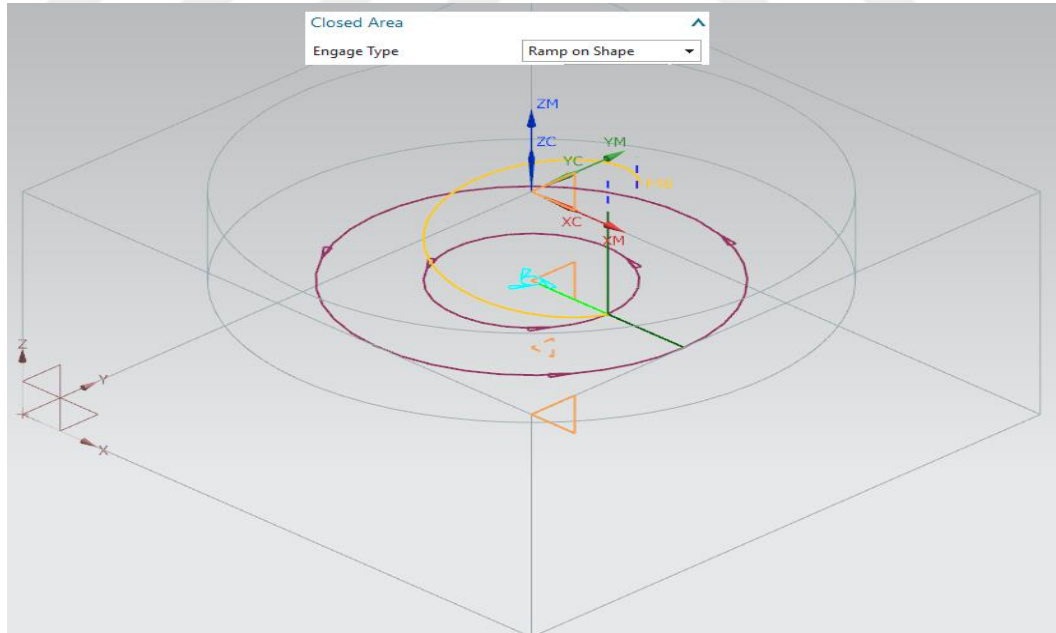
Titanyum alaşımı ürünler genellikle tercih edildiği alanların da etkisiyle oldukça karmaşık geometriye sahiptirler. Bu tür geometrilerin CNC takım tezgâhlarında işlenebilmesi için gerekli parça programları genellikle CAM yazılımlarının yardımıyla türetilmektedir. Karmaşık profile sahip olsalar da işlenecek formlar genellikle dişi ve erkek olarak iki gruba ayrılabilir. Erkek geometrilerde talaşa ilk gönderilen kısım, freze çıkışının görece olarak daha sağlam olduğu ve tek seferde kesebileceği derinliği daha büyük olduğu çevre kısmıdır. Dişi geometrilerde ise bu kısım kesicinin kısmen daha zayıf olduğu kesme yapan alanın sınırlı olduğu ve tek seferde kesebileceği talaş derinliğinin çevre kısmına kıyasla daha az olduğu alın kısmıdır. Dolayısıyla erkek geometrin işlenmesinde CAM yazılımları, takım sıfır talaş yükünden yavaş yavaş maksimum yüke doğru ilerlediği ve kesme işini takımın çevresine yaptırdığı takım yolu geometrileri sunar. Dişi geometrilerin işlenmesinde ise durum daha zor olsa da CAM yazılımları bu zor durumu kolaylaştırmak için farklı yaklaşma yöntemleri sunar. Örneğin ticari olarak yaygın kullanım alanına sahip CAM yazılımlarından biri olan Siemens NX, bu durumlar için altı farklı giriş yöntemi sunduğu gibi en problemlisi olan giriş hızını kontrol edecek ilerleme hareketlerine de kesme ilerlemesinden farklı ilerlemeler atanmasına izin vermektedir. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan yaklaşma hareketleri Şekil 3.1, 3.2, 3.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yaklaşma hareketi tipi “Helisel” olduğu şartlarda takım yolu geometrisi.

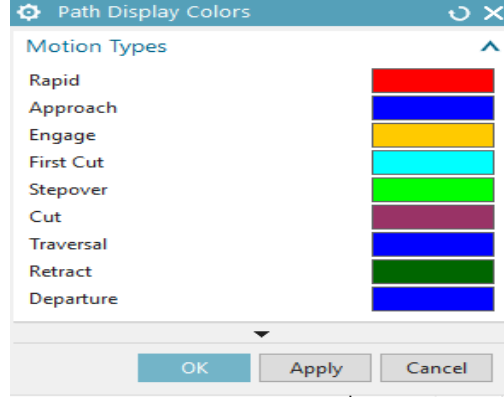


Şekil 3.2. Yaklaşma hareketi tipi “Dalma” olduğu şartlarda takım yolu geometrisi.



Şekil 3.3. Yaklaşma hareketi tipi “Rampalama” olduğu şartlarda takım yolu geometrisi

İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan yaklaşma hareketlerinin gösterildiği şekillerde görünen takım yolu renklerin anlamları Şekil 3.4. 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Takım yollu hareketlerine ait renklerin anlamları.

İki farklı ısıtma işlemi uygulanmış numuneler EL5490 Masaüstü CNC Router dik işlem merkezinde 366 mm/dk, 732 mm/dk ve 1098 mm/dk ilerleme hızlarında ve dalma, helisel ve rampa olmak üzere üç farklı giriş hareketiyle her iki ısıtma işlemi görmüş numuneler için uygulanarak işlenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan numunelerin kod anlamları Tablo 3.6.'da, deney kesme parametreleri Tablo 3.7.' de ve işlenen geometri Şekil 3.5. de verilmiştir.



Şekil 3.5. İşlenebilirlik deneylerinde işlenen geometri.

Tablo 3.6. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan numune kodlarının anlamları.

NUMUNE KODU XY-SAYI	X	Y	SAYI
	<u>Isıl İşlem Durumu</u> T: Tavlanmış Y: Yaşlandırılmış	<u>Yaklaşma Hareketi</u> D: Dalma H: Helisel R: Rampa	<u>İlerleme Hızı</u> (mm/dk) 366 732 1098

Tablo 3.7. Deney kesme parametreleri.

Numune Adı	Vc (m/dk)	F (mm/dk)	F (mm/diş)	N (dev/dk)
TH-366	48	366	0,0229	4000
TD-366	48	366	0,0229	4000
TR-366	48	366	0,0229	4000
TH-732	48	732	0,0458	4000
TD-732	48	732	0,0458	4000
TR-732	48	732	0,0458	4000
TH-1098	48	1098	0,0686	4000
TD-1098	48	1098	0,0686	4000
TR-1098	48	1098	0,0686	4000
YH-366	48	366	0,0229	4000
YD-366	48	366	0,0229	4000
YR-366	48	366	0,0229	4000
YH-732	48	732	0,0458	4000
YD-732	48	732	0,0458	4000
YR-732	48	732	0,0458	4000
YH-1098	48	1098	0,0686	4000
YD-1098	48	1098	0,0686	4000
YR-1098	48	1098	0,0686	4000

3.2.3. Kesici Takım Aşınmalarının Mikroskopta İncelenmesi

Ti6Al4V malzemeye uygulanan iki farklı ısıl işlem, üç farklı ilerleme hızı ve üç farklı giriş şekli ile frezelenmesi gerçekleştirilmiş, işlem sonrasında takımlardaki aşınma mikroskopta incelenmiştir.

3.2.4. İş Parçasının İşlenmiş Yüzeylerinde Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

İş parçasının işlenmiş yüzeylerinde 5mm ölçüm aralığında her yüzey için 3'er kez ölçüm işlemi tekrarlanarak yapılmıştır.

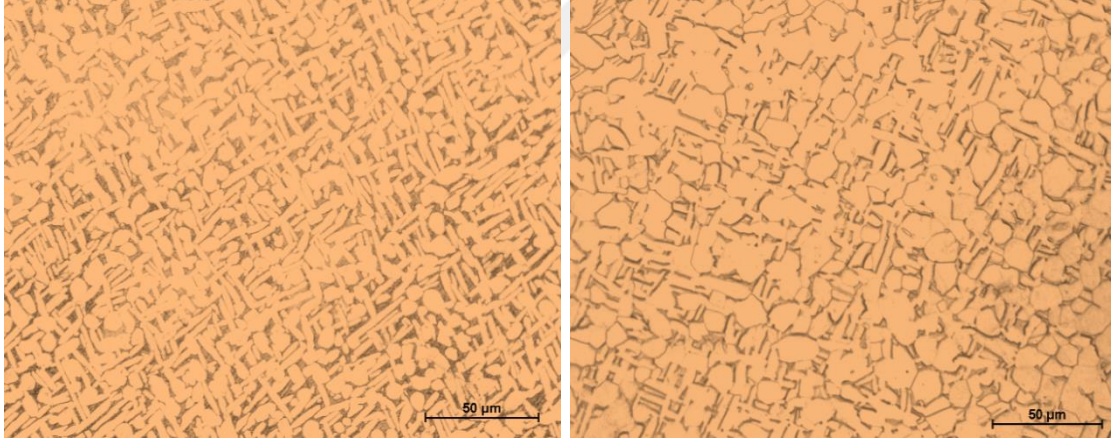


4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulguları

4.1.1. Isıl İşlem Sonuçları

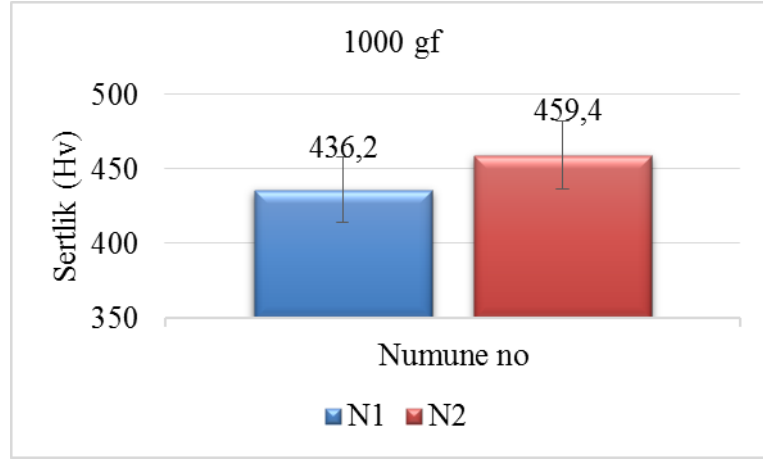
Talaş kaldırma deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanan Ti6Al4V alaşımı numunelere, alaşımın faz oranlarının işlenebilirliğe etkilerinin incelenmesi amacıyla 2 farklı ısıl işlem uygulanmıştır. Her iki numune gurubundan birer örnek alınarak faz analizleri, tane α fazı tane boyutu ve sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1.(a)'da tavllanmış numuneye, Şekil 5.1.(b)'de ise yaşlandırılmış numuneye ait içyapı fotoğrafları verilmiştir. Faz analizi sonuçları Tablo 4.1.'de, sertlik ölçüm sonuçları ise Şekil 4.2'de verilmiştir. Yapılan incelemelerde elde edilen sonuçların literatürdekiler ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Tavllanmış numuneye ait içyapı fotoğrafı (a), yaşlandırılmış numuneye ait içyapı fotoğrafı (b).

Tablo 4.1. İmaj ve XRD analizlerinin ortalama sonuçları

Numune No	α -fazı oranı (%)	β -fazı oranı (%)
N1 (Yaşlandırılmış)	75,41	24,59
N2 (Tavllanmış)	62,09	37,91



Şekil 4.2. Numune 1 ve 2 için ortalama Vickers mikrosertlik değerleri.

4.1.2. İş Parçası Yüzey Pürüzlülük Değerleri

İş parçasının işlenmiş yüzeylerinde her kesici takımın yaptığı giriş sayısı sonunda 3'er kez tekrarlanarak yapılan yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 4.2.' de verilmiştir.

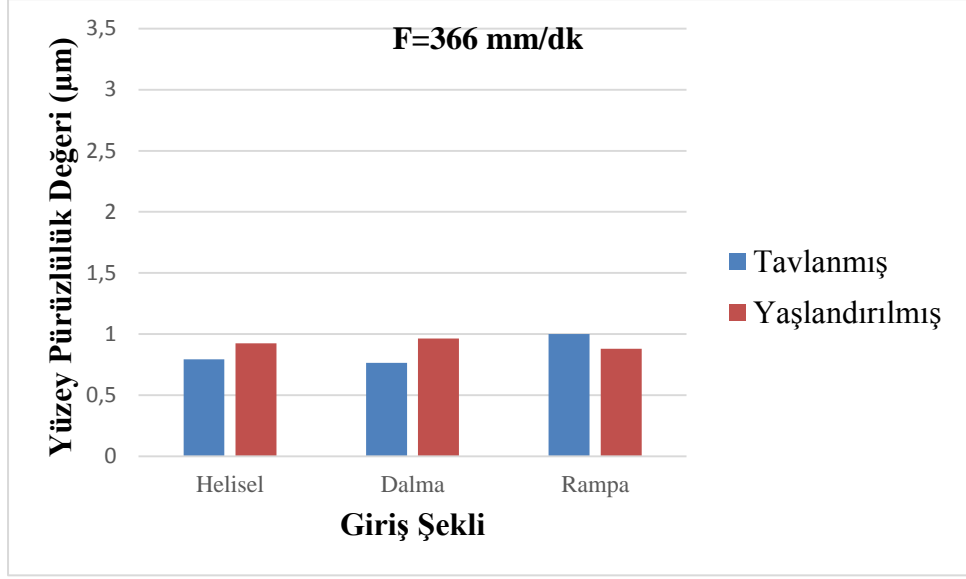
Tablo 4.2. İş parçası yüzey pürüzlülük değerleri (μm)

			GİRİŞ SAYISI							
			14	28	42	56	70	84	98	112
NUMUNE	TH-366	1. Ölçüm	0,47	0,46	0,7	0,78	0,82	0,86	0,78	0,77
		2. Ölçüm	0,62	0,74	0,8	0,8	0,96	0,99	0,89	0,95
		3. Ölçüm	0,58	0,6	0,64	0,89	0,85	0,79	1,15	1,18
		Ortalama	0,55	0,6	0,71	0,82	0,88	0,88	0,94	0,96
	TD-366	1. Ölçüm	0,59	0,77	0,75	0,57	0,74	0,83	0,75	0,73
		2. Ölçüm	0,71	0,6	0,7	0,9	0,8	0,69	0,91	0,59
		3. Ölçüm	0,63	0,57	0,79	0,79	0,77	0,91	0,92	1,25
		Ortalama	0,64	0,64	0,74	0,75	0,77	0,81	0,86	0,88
	TR-366	1. Ölçüm	0,72	0,74	1,06	1,15	0,85	0,78	1,27	1,27
		2. Ölçüm	1	0,99	0,86	0,9	0,99	0,75	1,2	1,08
		3. Ölçüm	0,78	0,96	0,9	0,78	1,13	1,53	0,89	1,46
		Ortalama	0,83	0,89	0,94	0,94	0,99	1,02	1,12	1,27

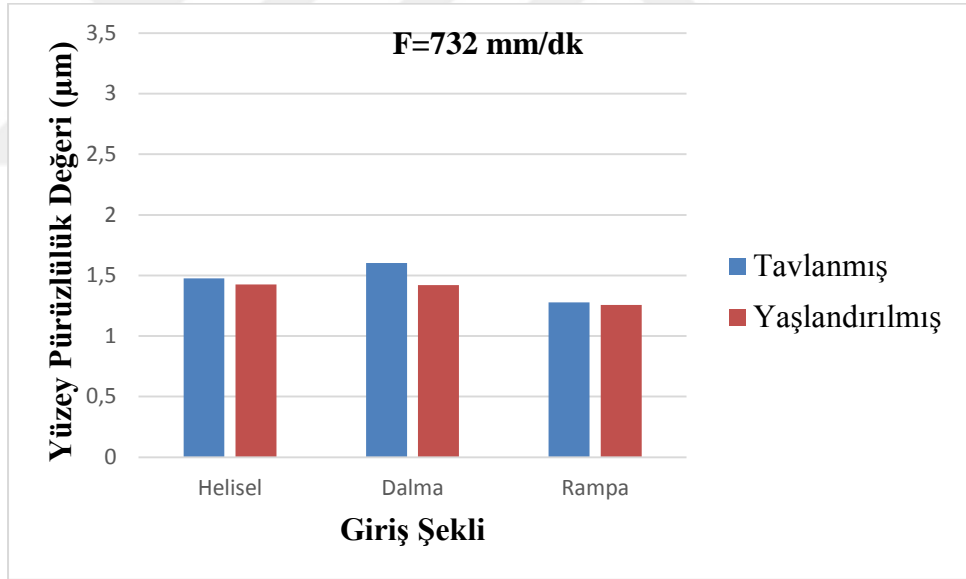
TH-732	1. Ölçüm	0,87	1,4	1,08	1,94	1,53	1,07	1,47	1,74
	2. Ölçüm	1,26	1,08	1,15	1,22	1,54	1,87	1,84	1,79
	3. Ölçüm	0,89	1,39	1,7	1,16	1,68	1,95	1,84	1,92
	Ortalama	1,01	1,29	1,31	1,44	1,58	1,63	1,72	1,81
TD-732	1. Ölçüm	1,48	1,61	1,67	1,14	1,27	1,58	1,48	1,81
	2. Ölçüm	1,43	1,65	1,61	1,61	1,75	1,98	2,11	2,15
	3. Ölçüm	1,06	1,14	1,14	1,67	1,44	1,44	1,54	2,32
	Ortalama	1,32	1,46	1,47	1,47	1,48	1,66	1,71	2,09
TR-732	1. Ölçüm	0,79	1,29	1,18	1,54	1,03	1,2	1,08	1,6
	2. Ölçüm	1,32	1,1	1,43	1,18	1,73	1,54	1,7	1,27
	3. Ölçüm	1,03	1,37	1,17	1,06	1,26	1,29	1,27	1,21
	Ortalama	1,04	1,25	1,26	1,26	1,34	1,34	1,35	1,36
TH-1098	1. Ölçüm	1,43	1,26	1,75	1,84	2,18	1,42	2,48	2,16
	2. Ölçüm	1,65	1,35	1,72	2,2	1,85	1,6	1,93	1,63
	3. Ölçüm	1,29	2,25	1,78	1,39	1,5	2,77	1,44	2,22
	Ortalama	1,45	1,62	1,75	1,81	1,84	1,93	1,95	2
TD-1098	1. Ölçüm	0,77	0,82	0,96	0,91	1,3	1,1	1,42	1,99
	2. Ölçüm	0,59	1,11	0,99	1,18	1,29	1,67	1,9	1,62
	3. Ölçüm	0,94	1,07	1,3	1,19	0,96	1,24	1,66	2,3
	Ortalama	0,76	1	1,08	1,09	1,18	1,33	1,66	1,97
TR-1098	1. Ölçüm	2,35	4,36						
	2. Ölçüm	1,41							
	3. Ölçüm	1,04							
	Ortalama	1,6	4,36						
YH-366	1. Ölçüm	0,58	0,76	0,87	0,54	0,73	0,68	0,61	0,54
	2. Ölçüm	0,95	0,9	1,02	0,84	1,15	1,22	1,07	1,65
	3. Ölçüm	0,74	0,91	0,71	1,28	0,93	1,01	1,38	1,11
	Ortalama	0,75	0,85	0,86	0,88	0,93	0,97	1,02	1,1
YD-366	1. Ölçüm	0,63	0,65	1,19	0,85	0,85	0,98	1,01	0,99
	2. Ölçüm	0,79	1,13	0,9	1,05	1,12	0,88	1,02	1,3
	3. Ölçüm	0,86	0,85	0,74	0,95	0,97	1,17	1,23	1,06
	Ortalama	0,76	0,876	0,94	0,95	0,98	1,01	1,08	1,11
YR-366	1. Ölçüm	0,83	0,9	0,79	0,99	0,58	0,77	0,87	0,86
	2. Ölçüm	0,66	0,71	0,9	0,77	1,39	1,19	1,08	1,12
	3. Ölçüm	0,81	0,69	0,77	0,77	0,73	0,86	1	1,07
	Ortalama	0,76	0,76	0,82	0,84	0,9	0,94	0,98	1,01

YH-732	1. Ölçüm	1,24	1,28	1,4	1,72	1,17	1,2	1,82	1,68
	2. Ölçüm	1,25	1,34	1,43	1,4	1,59	1,32	1,55	1,62
	3. Ölçüm	1,47	1,51	1,31	1,08	1,47	1,71	1,05	1,6
	Ortalama	1,32	1,37	1,38	1,4	1,41	1,41	1,47	1,63
YD-732	1. Ölçüm	0,78	1,2	1,48	1,12	1,23	1,36	1,51	1,98
	2. Ölçüm	1,13	1,4	1,15	1,35	1,27	1,39	1,62	1,36
	3. Ölçüm	1,81	1,25	1,41	1,78	1,74	1,68	1,3	1,77
	Ortalama	1,24	1,28	1,34	1,41	1,41	1,47	1,47	1,703
YR-732	1. Ölçüm	0,96	0,93	1,2	0,89	1,05	0,94	1,29	1,48
	2. Ölçüm	1,09	1,46	1,38	1,78	1,42	1,58	1,51	1,26
	3. Ölçüm	1,22	1,05	0,96	0,98	1,35	1,54	1,35	1,5
	Ortalama	1,09	1,146	1,18	1,21	1,27	1,353	1,383	1,41
YH-1098	1. Ölçüm	1,73	2,12						
	2. Ölçüm	2,12	1,78						
	3. Ölçüm	1,41	1,49						
	Ortalama	1,75	1,79						
YD-1098	1. Ölçüm	1,17	1,37						
	2. Ölçüm	1,79	1,49						
	3. Ölçüm	0,92	1,39						
	Ortalama	1,29	1,416						
YR-1098	1. Ölçüm	1,52							
	2. Ölçüm	1,24							
	3. Ölçüm	1,46							
	Ortalama	1,406							

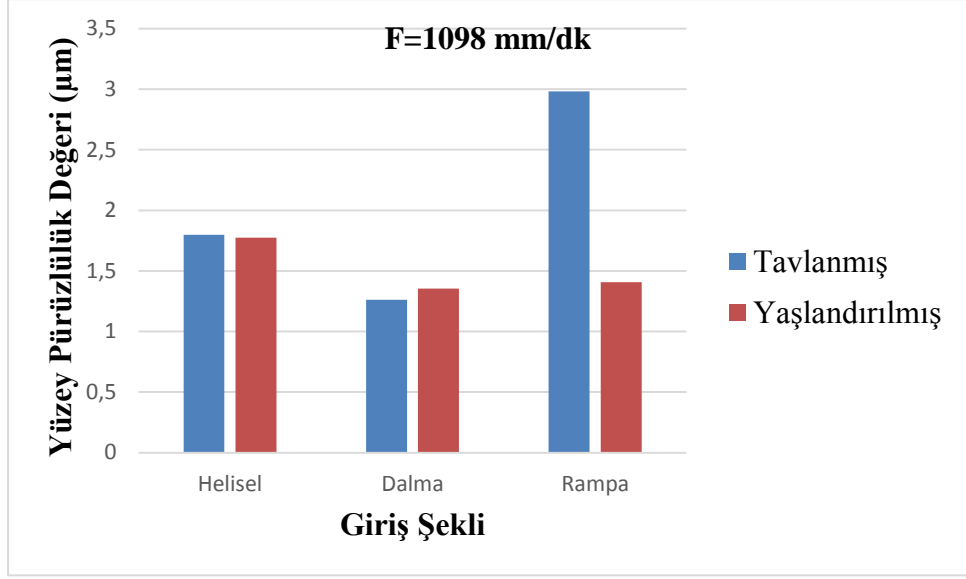
Tablo 4.2. den elde edilen grafikler Şekil 4.3., 4.4., 4.5., 4.6. ve 4.7., 4.8.'de sunulmuştur.



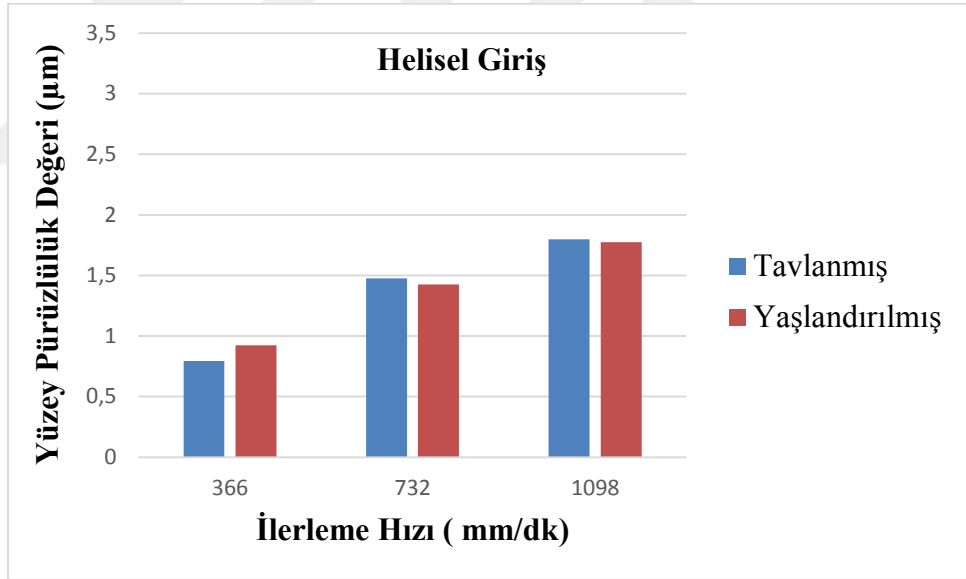
Şekil 4.3. İlerleme hızı 366 mm/dk iken giriş şekli-yüzey pürüzlülük değeri grafiği



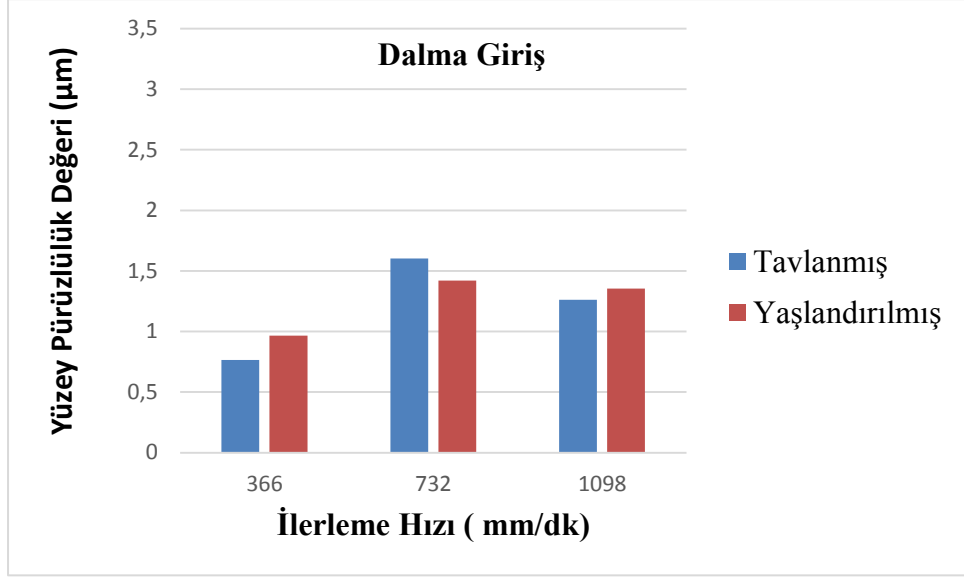
Şekil 4.4. İlerleme hızı 732 mm/dk iken giriş şekli-yüzey pürüzlülük değeri grafiği



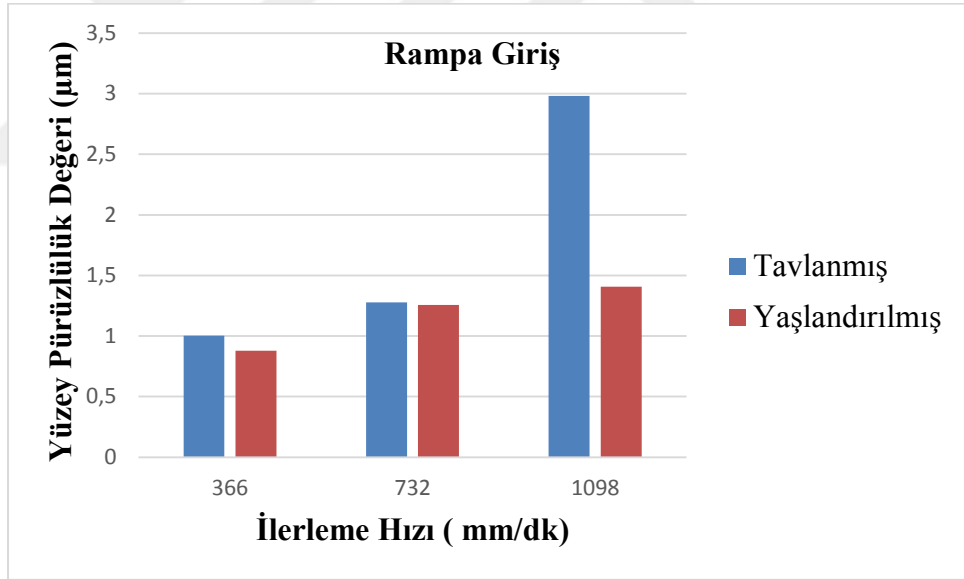
Şekil 4.5. İlerleme hızı 1098 mm/dk iken giriş şekli-yüzey pürüzlülük değeri grafiği



Şekil 4.6. Giriş şekli helisel iken ilerleme hızı-yüzey pürüzlülük değeri grafiği



Şekil 4.7. Giriş şekli dalma iken ilerleme hızı-yüzey pürüzlülük değeri grafiği











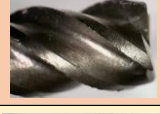




















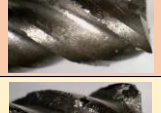








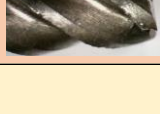
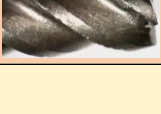
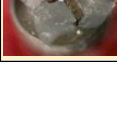
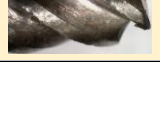
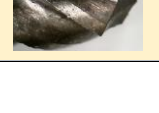
Şekil 4.8. Giriş şekli rampa iken ilerleme hızı-yüzey pürüzlülük değeri grafiği

4.1.3. Kesici Takım Aşınması

Yapılan çalışma üç farklı ilerleme hızı, üç farklı giriş şekli ve iki farklı ısıtma işlem görmüş malzeme üzerinde yapılmıştır. Deneyler yapılırken her bir parametre

için farklı bir kesici takım kullanılmıştır. Kullanılan toplam 18 adet takımın mikroskop altında incelendiği aşınma görüntüleri Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Takım aşınma görüntüleri

TAKIM AŞINMA							
NUMUNE	NUMUNE KODU	Alın yüzeyi	1. ağız	2. ağız	3. ağız	4. ağız	Gerçekleştirilen giriş sayısı
1	TH-366						112
2	TD-366						112
3	TR-366						112
4	TH-732						112
5	TD-732						112
6	TR-732						112
7	TH-1098						112
8	TD-1098						112
9	TR-1098						22

10	YH-366						112
11	YD-366						112
12	YR-366						112
13	YH-732						112
14	YD-732						112
15	YR-732						112
16	YH-1098						29
17	YD-1098						29
18	YR-1098						12

Ti6Al4V malzemesinin dik işlem merkezinde işlenmesinde kullanılan kesici takımların her biri ilerleme hızı, ısıl işlem şekli, giriş sayısına bağlı olarak alın yüzeyi ve dört kesici ağızda meydana gelen aşınma miktarları gözlemlenmiştir.

4.2. Tartışma

Numunelere uygulanan ısıl işlemler sonucunda, malzemenin içyapısında β -fazı artırılabilirdiğini faz analizi ile sertlik ölçüm sonuçları göstermektedir. Tavlanmış numunelerin içyapısında yaklaşık %13'lük β -fazı artışı numunelerin sertlik değerini yaklaşık 23,2 Hv artmıştır. α -fazı HSP, β -fazı HMK kristal kafes yapısına sahiptir. Bu nedenle β -fazı daha sert olmasına karşın atomları arasındaki mesafenin α -fazına

kıyasla daha büyük olması nedeniyle işlenebilirliği iyileştirdiği bilinmektedir. İşlenebilirlik deneylerinde, her bir kesici takım ile genel olarak 112 giriş hareketi gerçekleştirilerek 8mm derinliğinde 8 adet cep işlenmiştir. Tablo 4.2. incelendiğinde sertlik değeri düşük ve α -fazı oranı yüksek olan yaşlandırılmış numunelerin frezelenmesinde ilerleme miktarı arttırıldıkça işlemlerin gerçekleştirilemediği ve kesici takımların her deney tekrarında kırıldığı gözlemlenmiştir. Tavlanmış numunelerde ise yüksek ilerleme miktarı kullanılarak gerçekleştirilen frezeleme işlemlerinde helis ve dalma giriş şekillerinin kullanıldığı şartlarda 8 cep de işlenirken sadece rampa giriş şeklinin kullanıldığı şartta sadece 2 cep işlenebilmiştir. Ayrıca hangi koşulda ve kaçınıcı giriş hareketi tamamlandıktan sonra kesici takımın kırıldığı yine Tablo 4.3.'de belirtilmiştir. Bu sonuçlar da tavlama işlemi gerçekleştirilen numunelerin işlenebilirliğinin, yaşlandırılmış numunelere kıyasla iyileştiğini göstermektedir.

Diğer yandan Şekil 4.3., 4.4., 4.5., 4.6., 4.7. ve 4.8.'deki grafikler, 8 cep tabanının yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamasına göre oluşturulmuştur ve bu nedenle Tablo 4.2. ile birlikte değerlendirildiğinde anlamlı olmaktadır. Şekillerde verilen grafikler incelendiğinde, sertliği daha yüksek olan tavllanmış numunelere ait yüzey pürüzlülük değerlerinin daha küçük olduğu, ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca düşük ilerleme miktarlarında helisel giriş hareketinin yüzey pürüzlülük değeri bakımından daha iyi sonuç verirken ilerleme miktarı arttıkça bu giriş şeklinin düşük ilerleme miktarlarının kullanıldığı şartlara kıyasla daha kaba yüzey kalitesi verdiği görülmüştür. Grafikler incelendiğinde dikkat çeken diğer bir nokta dalma giriş hareketi ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin beklenenin aksine diğer giriş şekillerine yakın sonuçlar vermiş olmasıdır. Freze çakılarının en yüklü talaşa girebildiği ve en güçlü olduğu kısmı çevresi ile kesme yaptığı şartlardır. Freze çakılarının alın yüzeyi ile tek seferde kesebileceği maksimum talaş derinliği çevresine oranla oldukça küçüktür. Dahası birçok freze çakısının alın yüzeyinin tamamında kesici ağızlar bulunmamaktadır. Yani çakının alın merkezinde bir miktar alan kesme yapamaz. Bu nedenlerle işlenecek geometri uygun ise kesici takım hep dışarıdan yani takımın çevresinin kesme yapabileceği şartlarda gönderilir. Cep gibi dişi geometriye sahip şartlarda takım mecburen işlenecek geometrinin merkezinden talaşa gönderilir. Dalma yönteminde takım XY-düzleminde olduğu gibi doğrusal hareket yaparak direkt Z-

ekseninde talaşa girer. Takımın alın merkezinde boşluk olan takımlarda bu yöntemin kullanılması olanaksızdır. Ayrıca tek seferde verilebilecek talaş derinliğini sınırlayacağı gibi işlem süresini de artırır. Ancak malzemenin kesme kuvvetine verdiği tepki kuvveti freze çakısının alın yüzeyine oradan da fener miline yönlendirilir. Rampa giriş hareketinde ise giriş hareketi dalmada olduğu gibi yine doğrusaldır ancak hareket bu sefer sadece Z-ekseninde değildir. Giriş hareketi 30°'lik açı ile takım talaşa girecek şekilde oluşturulur. Kesme kuvvetlerine gelen malzemenin tepki kuvveti bu sefer takımın alın yüzeyinden çok çevresine gelir. Takım çapı küçüldükçe bu durum takımın kırılmasına neden olabilir. Helisel giriş şeklinde ise takım talaşa her üç ekseninde de hareket edebilecek şekilde helis hareketi gerçekleştirerek girer. Bu durumda hareket G01 yerine G02-G03 ile tanımlanır ve takımın giriş hareketinin hızı ilerleme miktarından daha düşük bir değerdedir. Literatürde giriş hareketlerinin takım ömrüne ya da işlenebilirliğe etkilerinin incelendiği çalışmaya rastlanmasa da belirtilen hareketlerin kinematiği göz önünde bulundurulduğunda elde edilen sonuçlar oldukça mantıklıdır.

Takım aşınmaları incelendiğinde tüm işlem şartlarında en yaygın görülen aşınma mekanizması difüzyon aşınma mekanizmasıdır. Difüzyon aşınmasının nedeni işlem sırasında meydana gelen yüksek kesme sıcaklıklarıdır. Titanyum alaşımlarının ısı iletkenliklerinin düşük olması kesme bölgesinden oluşan ısının atılamamasına neden olduğu bilinmektedir. Yüksek sıcaklıklarda kesici takım ile iş parçası malzemesi kimyasal etkileşime girerek kesici uç üzerinde krater oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca takım/iş parçası ara yüzünde sürtünmeden dolayı serbest yüzey aşınması gözlemlenmiştir. Diğer yandan takım üzerinde yığın talaş oluşumu tespit edilmiştir. Tüm aşınma tipleri de literatür ile benzerlik göstermektedir [66-68]. Ayrıca ilerleme miktarı arttıkça aşınma miktarının arttığı, rampa giriş şeklinin kullanıldığı şartlarda takım aşınmasının diğerlerine göre daha fazla gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımını malzemenin iki farklı ısıl işlem, üç farklı yaklaşma hareketi ve üç farklı ilerleme hızında frezelenmesi gerçekleştirilmiş, deneyler sırasında 18 farklı işlem şartı kullanılmış, deneyler üçer kez tekrar edilmiştir. Yapılan deneyler ve gözlemler sonucunda ulaşılan sonuçlar maddeler halinde sunulmuştur;

- Ti6Al4V alaşımının ısıl işlem ile işlenebilirlik davranışının β -fazının artırılarak değiştirilebildiği bilinmektedir. Çalışmada Ti6Al4V alaşımını numunelere tavlama ve yaşlandırma olmak üzere iki farklı ısıl işlem uygulanmıştır. Yaşlandırma işlemi ile malzemede elde edilen β -fazı oranı yaklaşık %24,59 iken tavlama işlemi ile elde edilen bu değer yaklaşık %37,91 olarak tespit edilmiştir.

- β - fazının artması ile sertlik değerinde yaklaşık 23,2 Hv'lik bir artış elde edilmiştir.

- İşlenebilirlik deneyleri için dışı geometriye sahip cep formu tercih edilmiş ve genel olarak her bir deney değişkeni için 112 giriş hareketi yapılarak 8mm derinliğinde 8 adet cep işlenmiştir. Fakat sertlik değeri düşük ve α -fazı oranı yüksek olan yaşlandırılmış numunelerin frezelenmesinde ilerleme miktarı arttırıldıkça işlemlerin gerçekleştirilemediği ve kesici takımların her deney tekrarında kırıldığı gözlemlenmiştir. Tavlanmış numunelerde ise yüksek ilerleme miktarı kullanılarak gerçekleştirilen frezeleme işlemlerinde helis ve dalma giriş şekillerinin kullanıldığı şartlarda 8 cep de işlenirken sadece rampa giriş şeklinin kullanıldığı şartta sadece 2 cep işlenebilmiştir.

- İlerleme miktarının düşük olduğu şartlarda en iyi yüzey pürüzlülük değeri helis ve rampa giriş şekli ile elde edilirken hemen hemen her deney değişkeni için optimum sonuç veren giriş hareketi dalma giriş hareketi olarak tespit edilmiştir. Dalma giriş şeklinin kinematığı göz önüne alındığında Ti6Al4V alaşımının dayanımının yüksek olması nedeniyle talaşa ilk giriş esnasında takıma gelen kuvvetlere en iyi dayanım gösterecek hareket şeklinin dalma giriş hareketi olacağı açıktır. En iyi yüzey pürüzlülük değerinin (yaklaşık 0,7613 μ m) elde edildiği koşul

tavlanmış numunelerin işlenmesinde rampa giriş hareketinin ve en düşük ilerleme miktarının kullanıldığı şartlardır.

- İşlenebilirlik deneyleri sonunda kesici takımlarda difüzyon aşınması, serbest kenar aşınması ve yığılma kenar oluşumunun yanı sıra krater oluşumu da gözlemlenmiştir.

- Kesici takımların 4 ağzı ve alın kısmı da mikroskop altında görüntülenmiş, yaptığı giriş sayısına göre üzerindeki aşınma ve varsa kırılmalar incelenmiştir. Ölçülen yüzey pürüzlülük değerleriyle takımlardaki aşınmaların paralellik gösterdiği, yüzey pürüzlülüğünün yüksek değerlerde ölçülen numuneleri işleyen takımların daha fazla aşınmış oldukları gözlemlenmiştir.

- Kırılan takımlar incelendiğinde tavlanmış malzemeyi işleyen kesici takımlardan 1098 mm/dk ilerleme hızında rampa yaklaşma hareketiyle yapılan deney şartlarında işleyen takımda 22. girişi sonrası kırılma görülmüş, yaşlandırılmış numuneleri işleyen kesici takımlarda da 1098 mm/dk ilerleme hızında helisel ve dalma yaklaşma hareketiyle yapılan deney şartlarında işleyen takımlar 29. girişi sonrası kırılırken, rampa giriş hareketiyle yapılan deney şartlarında işleyen takım 12. girişi sonrası kırıldığı görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada ele alınmayan ancak araştırılması gerektiği düşünülen konulara aşağıda belirtilmiştir.

- Yapılan çalışmada düzlem yüzey frezeleme işlemi için kullanılan ilerleme miktarı ile giriş hareketi için tanımlanmış ilerleme miktarı aynı kullanılmıştır. Giriş hareketi için kesme ilerlemesine kıyasla farklı ilerleme miktarlarının tanımlandığı şartlar için de deneyler tekrarlanabilir.

- Talaş derinliği arttıkça kesme kuvvetlerinin de artacağı açıktır. Talaş derinliği yapılan çalışmada sabit tutulmuştur. Talaş derinliğinin değişken olarak seçildiği şartlar için deneyler gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Chunxiang, C., BaoMin, H., Lichen, Z., Shuangjin, L. Titanium alloy production technology, market prospects and industry development. *Materials and Design*. 2011, 32, 1684–1691.
2. Gonzalez, M., Maskos, K., Hargrave, R., Kuberry, J. Titanium alloy tubing for HPHT applications. *Proc SPE Annu Tech Conf Exhibit*. 2008, 3, 1912–1928.
3. Oshida, Y. *Bioscience and Bioengineering of Titanium Materials*. Elsevier, 2007.
4. Ensarioglu, C., Çakır, M.C. Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü. *Mühendis ve Makine*. 2005,46(546),36-46.
5. Riberiro, M.V., Moreira, M.R.V., Ferreira, J.R. Optimization of titanium alloy (6Al – 4V) machining. *Journal of materials processing technology*. 2003, 143 – 144 458 – 463.
6. Ezugwu, E.O., Wang,Z.M. Titanium alloys and their machinability a review. *Journal of Materials Processing Technology*. 1997, 68, 262-274
7. G.A. Ibrahim, C.H.C. Haron, J.A. Ghani. Progression and wear mechanism of cvd carbide tools in turning Ti-6Al-4V ELI. *Mech. Mater. Eng*. 2009, 4 35–41.
8. Pohler, E.M. Unalloyed titaniumfor implants in bone surgery. *Injury*. 2002, 31(4),7-13.
9. Abbasi, S.A., Feng, P., Ma, Y., Zhang, J., Yu, D., Wu, Z., Influence of microstructure and hardness on machinability of heat-treated titanium alloy Ti-6Al-4V in end milling with polycrystalline diamond tools. *Manuf. Technol*. 2016, 86, 1393–1405
10. Zoya, Z.A., Krishnamurthy, R. The performance of CBN tools in the machining of titanium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*. 2000,100(1);80-86.
11. C.H. C. Haron, A. Jawaid. The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti – 6Al – 4V. *Journal of Materials Processing Technology*.2005, 166, 188 – 192.
12. Kitagawa, T., Kubo, A., Maekawa, K. Temperature and wear of cutting toolsin high-speed machining of Incone1718 and Ti-6Al-6V-2Sn. *Wear*. 1997, 202 (2),142–148.
13. Diniz, A.E., de Oliveira, A.J. Hard turning of interrupted surfaces using CBNtools. *J. Mater. Process. Technol*. 2008,195 (1), 275–281.

14. Barry, J., Bryne, G., Lennon, D. Observation on chip formation and acoustic emission in machining Ti – 6Al – 4V alloy. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2001, 41, 1055 – 1070.
15. Hiorasaki K., Fujii K., Sakaya K. Adaptive Controlled Machining of Titanium Alloy-Decision of Cutting Condition Under Constraint of Cutting Temperature. *Report of the Industrial Research Institute of Ishikawa*. 1999, 48, 9-14.
16. Jianxin D., Yousheng L., Wenlong S. Diffusion Wear in Dry Cutting of Ti–6Al–4V with WC/Co Carbide Tools. *Wear*. 2008, 265 (11-12), 1776-1783.
17. Ezugwu E.O., Bonney J., Yamane Y. An Overview of The Machinability of Aero-engine Alloys. *Journal of Materials Processing Technology*. 2003, 134, 233-253.
18. Graham D. Turning difficult-to- machine alloys: The special properties of superalloys and titanium alloys call for special machining considerations-Emphasis: Cutting Tools” 2010 .
19. Ünal E., Karaca F. Ti – 6al – 4v Alaşımının Dik İşlem Merkezli Cnc Tezgahında İşlenebilirliğinin Araştırılması”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Ekim 2007, 1-5.
20. Toprak İ., Çağlar M., Çolak O., Kıran K., Bayhan M. Ti-6al-4v Süper Alaşımının Yüksek Basıncılı Soğutma Kullanılarak Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu. *SDU International Journal of Technologic Sciences*. 2012, 4, 30-39.
21. Günay M., Kaçal A., Turgut Y. Optimization Of Machining Parameters In Milling Of Ti-6al-4v Alloy Using Taguchi Method. *e-Journal of New World Sciences Academy*. 2011, 6 ,428-440.
22. Akmal M., Layegh K S., Lazoglu I., Akgün A., Yavaş Ç. Friction Coefficients on Surface finish of AlTiN Coated Tools in the Milling of Ti6Al4V. *16th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations*. 2017, 58, 596-600.
23. Kondo E., Nishimura Y., Nakao M., “ Effects of oil mist and air jet flushing on tool wear in milling of Ti6Al4V at high speed” ,*7th HPC CIRP Conference on High Performance Cutting*. 2016, 45, 95-98.
24. Vidal, F.S., Mayuet P., Rivero A., Salguero J., Sol I., Marcos M. Analysis of the effects of tool wear on dry helical milling of Ti6Al4V alloy. *The Manufacturing Engineering Society International Conference*, 2015, Mesic, 132, 593-599.

25. Ahmadi M., Karpat Y., Acar O., Kalay Y.E. Microstructure effects on process outputs in micro scale milling of heat treated Ti6Al4V titanium alloys. *Journal of Materials Processing Tech.* 2018, 252, 333–347.
26. Shyha I., Gariani S., El-Sayed M.A., Huo D. Analysis of Microstructure and Chip Formation When Machining Ti-6Al-4V. *Metals.* 2018, 8, 185.
27. Liu, X., Chu, P.K., Ding, C. Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications. *Materials Science and Engineering.* 2004, 47, 49-121.
28. Subaşı, M., Karataş, Ç. Titanyum ve Titanyum Alaşımlarından Yapılan İmplantlar Üzerine İnceleme. *Politeknik Dergisi.* 2012, 15(2), 87-103.
29. İşler, A. Titanyum Alaşımlarının Isıl İşlem ve Mekanik Özellikleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 1999, 80s.(Yüksek Lisans Tezi).
30. Gökdemir, Y. Saf Titanyum Ve Ti6Al4V Alaşımının Yüksek Sıcaklıkta Oksidasyon Davranışı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2005, 83s. (Yüksek Lisans Tezi).
31. Balaban, N. Titanyum Ve Alaşımlarının Biyouyumluluklarının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2007, 69s. (Yüksek Lisans Tezi).
32. Günyüz, M. Titanyum Ve Alaşımlarının Mikro Ark Oksidasyon İşlem İle Kaplanması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2007, 68s. (Yüksek Lisans Tezi).
33. İçdem, C. Saf Titanyum Ve Ti6Al4V, Ti6Al7Nb Alaşımlarının Akışkan Yatak Ortamında Termal Oksidasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2007, 55s. (Yüksek Lisans Tezi).
34. Akyol, S. Ti6Al4V Titanyum Alaşımının İşlenebilirliğinin Isıl İşlem Yardımıyla Arttırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2007, 80s. (Yüksek Lisans Tezi).
35. Leyens, C. and Peters, M. Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications. Wiley VCH, Weinheim, 2003, 514s.
36. Joshi V.. Titanium alloys: an atlas of structures and fracture features. CRC Press, Boca Raton, 2006.

37. Rahim, E.A., Sasahara, H. A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys. *Tribology International*. 2011, 44, 309-317.
38. Çelik, Y.H., Kılıçkap, E. Titanyum Alaşımından Ti-6Al-4V'nın İşlenmesinde Karşılaşılan Zorluklar: Derleme. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji*. 2018, 6(1), 163-175.
39. Uzun, G., Yaşar, S.A., Korkut, İ. Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetlerine ve Delik Kalitesine Etkisinin İncelenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*. 2017, 7(2), 469-475.
40. Peters, M., Kumpfert, J., Ward, C.H., Leyens, C. Titanium Alloys for Aerospace Applications. *Advanced Engineering Materials*. 2003, 5(6), 419-427.
41. Sıcakyüz, Ö. Titanyum Ve Titanyum Alaşımının Anodik Oksidasyon Davranışı Ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2007, 65s. (Yüksek Lisans Tezi).
42. Yılmaz, H. Titanyum Ve Titanyum Alaşımının Yüzey Özelliklerinin Plazma (İyon) Nitrüleme İle Geliştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2008, 68s. (Yüksek Lisans Tezi).
43. Koyuncu, E. Titanyumun Yüksek Sıcaklıklarda İyonitürasyonda Sertleştirilip Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2008, 90s. (Yüksek Lisans Tezi).
44. Moiseyev, V. N. Titanium Alloys, Russian Aircraft and Aerospace Applications, Taylor & Francis, 2006.
45. Güven, A., Sınmazçelik T., Günay V. Ti6Al4V Alaşımında Çentiklerde Süpervizyon Etkisinin İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli. 2007.
46. Donachie, M.J. Titanium: A Technical Guide. Metals Park, ASM International, Ohio 1988. 452s.
47. Uzun, İ.H., Bayındır, F. Dental Uygulamalarda Titanyum Ve Özellikleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi. 2010, 20(2), 213-220.
48. Gil Mur, F.X., Rodriguez, D., Planell, J.A. Influence of Tempering temperature and time on the α Ti-6Al-4V martensite. *Journal of Alloys and Compounds*. 1996, 234, 287-289.

49. Alam, O., Haseeb, M. A.S.M.A. Response of Ti-6Al-4V and Ti-24Al-11Nb alloys to dry sliding wear against hardened steel. *Tribology International*. 2002, 35, 357-362.
50. Jovanovic, M.T., Tadic, S., Zec, S., Miskovic, Z., Bobic, I. The effect of annealing temperatures and cooling rates on microstructure and mechanical properties of investment cast Ti-6Al-4V alloy. *Materials and Design*. 2006, 27, 192-199.
51. Ding, R., Guo, Z.X., Wilson, A. Microstructural evolution of a Ti-6Al-4V alloy during thermomechanical processing. *Materials Science and Engineering*. 2002, 327, 233-245.
52. Saygı, M.K. *Titanyum Esaslı Biyolojik Malzemelerde Çinko Ve Bakır Katkılandırılmış Oksit Tabakalarının Oluşturulması*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2016, 59s. (Yüksek Lisans Tezi).
53. Bruschi, S., Poggio, S., Quadrini, F., Tata M.E. Workability of Ti-6Al-4V alloy at high temperatures and strain rates. *Materials Letters*. 2004, 58, 3622-3629.
54. Nurul Amin, A.K.M., Ismail, A.F., Nor Khairusshima, M.K. Effectiveness of uncoated WC-Co and PCD inserts in end milling of titanium alloy—Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Processing Technology*. 2007, 192-193, 147-158.
55. Boyer, R., Welsch, G., Collings. E.W. *Materials properties handbook. Titanium Alloys*, 3rd edition, ASM International, Ohio 2003.
56. Gilbert, R., Shannon, C. R. *Heat Treating of Titanium and Titanium Alloys*. ASM Handbook 9. Edition Vol 4, Heat Treatin. 2004, s. 2043-2971.
57. Bray, J.V. *ASM Handbook, 10. Edition, Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Introduction to Titanium and Titanium Alloys*, 2007.
58. Porter D.A., Easterling K.E. *Phase Transformation in Metals*. Chapman&Hall, London,1992, 536 s.
59. Marinov, Valery. *Manufacturing Technology, Machinability* 2006, 89-90 s.
60. Schneider, G., Cmfge, J. *Cutting Tool Applications*. GMRS Associates. 2002, 152 s.
61. Stephenson, D.A., Agapiou, J.S. *Metal Cutting Theory and Practise*. CRC Pres, Boca Raton, 2006

62. Çakır, C. Modern Talaşlı İmalatın Esasları. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın no:140, Bursa, 1999, 324s.
63. Smith, G.T. Cutting Tool Technology. Springer-Verlag London Limited, London, 2008, 599s.
64. Yang, X., Liu, C.R. Machining Titanium And Its Alloys. Machining Science And Technology. 1999, 3(1), 107-139.
65. Bayraktar, Ş., Demir, O. Titanyum Alaşımlarının İşlenebilirliği Üzerine Yeni Gelişmeler. 8th International Advanced Technologies Symposium, 19-21 Ekim, 2017, Elazığ.
66. Zhu, Z., Sun, J., Li, J., Huang, P. Investigation on the influence of tool wear upon chip morphology in end milling titanium alloy Ti6Al4V. Manuf Technol. 2016, 83, 1477–1485
67. Çalışkan H., Küçükköse M. The effect of aCN/TiAlN coating on tool wear, cutting force, surface finish and chip morphology in face milling of Ti6Al4V superalloy. Journal of Refractory Metals and Hard Materials.2015, 50, 304–312.
68. Zhang, S., Li, J. F., Sun, J., Jiang, F. Tool wear and cutting forces variation in high-speed end-milling Ti-6Al-4V alloy. Manuf Technol. 2010, 46, 69–78.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ozan ÇAYDAŞ

Doğum Yeri ve Yılı : Bulanık, 1992

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ozancaydas@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Çiğli Milli Piyango Anadolu Lisesi, 2010

Lisans : Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2016