



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Tİ-5553 ALAŞIM MALZEMESİNİN TALAŞLI İMALAT SÜRECİNDE KESİCİ TAKIM AŞINMALARININ YÜZEY BÜTÜNLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÜMİT YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2018



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Tİ-5553 ALAŞIM MALZEMESİNİN TALAŞLI İMALAT SÜRECİNDE KESİCİ TAKIM AŞINMALARININ YÜZEY BÜTÜNLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÜMİT YILMAZ

(523216017)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği

Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2018

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

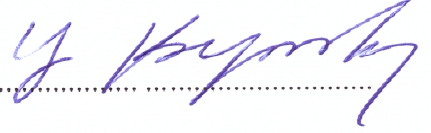
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Ümit YILMAZ'ın "Ti-5553 Alaşım Malzemesinin Talaşlı İmalat Sürecinde Kesici Takım Aşınmalarının Yüzey Bütünlüğüne Etkisinin İncelenmesi" başlıklı tez çalışması, 06/11/2018 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

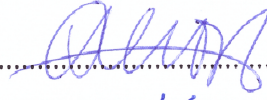
Doç. Dr. Yusuf KAYNAK (Danışman)

Marmara Üniversitesi



Prof. Dr. Erhan ALTAN (Üye)

Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU (Üye)

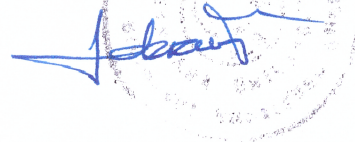
İstanbul Üniversitesi



ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ⁰⁵/12/2018 tarih ve 2018/29.002 sayılı kararı ile Ümit YILMAZ'ın Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Bülent EKİCİ



ÖNSÖZ

Her şeyden önce, tez danışmanım Doç. Dr. Yusuf KAYNAK'ın bana İleri İmalat Teknolojileri Laboratuvarı'nda (AMTL) çalışma şansı verdiği için, yüksek lisans eğitimim ve bu araştırma boyunca bana sağladığı akademik destek, rehberlik ve yardımcı eleştiriler için kendisine çok teşekkür ediyorum.

Daha sonra, lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca çok önemli bir akıl hocası olan ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Yusuf KAYNAK ile tanışmamıza vesile olan Gazi Üniversitesi'nden Sayın Prof. Dr. Oğuzhan YILMAZ'a teşekkür etmek istiyorum.

Yüksek lisans eğitimim sırasında destek ve katkılarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mustafa KURT ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ferhat GÜNGÖR hocalarıma çok teşekkür ediyorum.

AMTL üyesi ve meslektaşlarım Armin GARİBİ, Emre TAŞCIOĞLU, Erkin DUMAN ve Melih ÖZKÜTÜK'e akademik, teknik destek ve laboratuvarında oluşturdukları mükemmel çalışma ortamı için teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen Özhan KITAY, Ebru KIRMACIOĞLU, Ali Osman KABİL ve Çoşkun Anıl BOZKURT'a çok teşekkür ediyorum.

Son olarak ve en önemlisi eğitim hayatım boyunca koşulsuz sevgileri, sürekli destekleri için annem Gülsüme YILMAZ, babam Halil YILMAZ, abim Murat YILMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma, 214M068 numaralı TÜBİTAK ARDEB Projesi kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK ARDEB'e desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Kasım, 2018

Ümit YILMAZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER	viii
KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
1. GİRİŞ.....	16
2. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DÜZENEKLER.....	25
2.1 Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr Alaşım Malzemesi	25
2.2 CNC Torna Tezgahı, Takım Tutucular, Kesici Takım ve Optik Mikroskop.....	28
2.3 Soğutucu ve Yağlayıcılar	31
2.4 Kesme Parametleri	32
2.5 İşlenmiş Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü.....	34
2.6 İşlenen Parçaların Yüzey Morfolojisi Analizi	34
2.7 XRD Faz Analizi	35
2.8 İşlenen Parçaların Mikroyapısal ve Sertlik İncelemeleri için Metalografik Numune Hazırlama	35
2.9 Sertlik Ölçümü ve Mikroyapı Görüntüleme	37
3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	39
3.1 İşlenmiş Numunelerin Yüzey Topografi Analizi.....	39
3.1.1 Soğutucu ve Yağlayıcıların İşlenen Parçanın Yüzey Topografisine Etkisi .	39
3.1.2 Kesici Takım Aşınmasının İşlenen Parçanın Yüzey Topografisine Etkisi ..	47
3.2 Yüzey Pürüzlülüğü Analizi.....	59
3.2.1 Soğutucu ve Yağlayıcıların İşlenen Parçanın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	59
3.2.2 Kesici Takım Aşınmasının İşlenen Parçanın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi .	61
3.3 Mikroyapı Analizi.....	65
3.3.1 Eğik kesme operasyonunda kullanılan Soğutucu ve yağlayıcıların işlenen parçanın mikroyapısına etkisi	68
3.3.2 Eğik Kesme Operasyonunda Kesici Takım Aşınmasının İşlenen Parçanın Mikroyapısına Etkisi	70
3.4 Mikrosertlik Analizi.....	73

3.4.1 Eğik Kesme Operasyonunda Kullanılan Soğutucu ve Yağlayıcıların İşlenen Parçanın Yüzeyaltı Sertliğine Etkisi	73
3.4.2 Eğik Kesme Kesici Takım Aşınmasının İşlenen Parçanın Mikrosertliğine Etkisi	76
3.5 XRD Faz Analizi Sonuçları	83
3.5.1 Eğik Kesme Operasyonunda Kullanılan Soğutucu ve Yağlayıcıların İşlenen Parçalarda Yüzey Faz Karakteristiklerine Etkisi	85
3.5.2 Takım Ömrü Deneyleri Sonucu İşlenmiş Numunelerin Faz Analizi ve DeneySEL Bulgular	89
4. SONUÇLAR.....	93



ÖZET

Ti-5553 Alaşım Malzemesinin Talaşlı İmalat Sürecinde Kesici Takım Aşınmalarının Yüzey Bütünlüğüne Etkisinin İncelenmesi

Titanyum alaşımları, özellikle havacılık endüstrisinde bıçaklar, gaz türbin motorları, kompresör ve disk gibi yapısal bileşenler için mükemmel mukavemet-ağırlık oranı, güçlü korozyon direnci ve mukavemeti yüksek sıcaklıklarda muhafaza etme yetenekleri sayesinde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Yeni nesil beta titanyum alaşımı Ti-5553 (Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr), yüksek mukavemet, kırılma tokluğu, yüksek korozyon ve yorulma direnci gibi bazı üstün özelliklere sahiptir. Bu üstün özellikler, uçaklarda gelişmiş bileşenler için Ti-5553'ü daha cazip hale getiriyor. Ancak bu özellikler aynı zamanda Ti-5553 alaşım malzemesinin işlenebilirliği Ti-64'e (Ti-6Al-4V) kıyasla azaltıyor, yüksek takım aşınmasına ve çok kısa takım ömrüne neden olur. Bu çalışmada, işlenmiş Ti-5553'ün takım aşınmasına bağlı yüzey bütünlüğü, yüzey pürüzlülüğü, mikroyapı, topografya, XRD ve mikro sertlik değişimleri açısından araştırılmış. Takım serbest yüzey aşınmasının etkisini incelemek için takım ömrü deneyleri ve tek paso işleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 18 mm çapında Ti-5553 kullanılmıştır. İşleme parametreleri olarak, tek paso deneylerinde, kesme hızları $V_c = 30, 90, 120, 150$ ve 210 m / dk olarak seçilmiştir ve takım ömrü deneyleri için kesme hızı $V_c 90$ ve 120 m / dk olarak seçilmiştir. Tüm işleme süreçlerinin ilerleme sabit olarak alınmıştır, $f = 0.15$ mm / dev. Bu çalışmanın deneysel kısmı kuru, MQL, Kriyojenik, HPC ve kesme sıvısı ve CO₂ gibi farklı kesme koşullarında eğik kesme operasyonunu içermektedir. Talaşlı imalat işlemleri Doosan Puma GT2100 CNC işleme merkezinde yürütülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo SJ-210 ile ölçülür. $V_c = 120$ m / dak'da işlenmiş Ti-5553 mikroyapıları, Philips XL 30 SFEG taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve $V_c = 90$ m / dak'da işlenen numunelerin mikro yapılarını incelemek için Olympus BX51M optik mikroskop kullanılmıştır. İşlenmiş numunelerin faz dönüşümünü incelemek için, X-ışını Difraksiyonları Analizi için Bruker AXS Marka D2 Phaser kullanılır. Tüm mikro sertlik olasılıklarını ölçmek için Vickers mikro test cihazı kullanıldı. Eğik kesme testlerinde, seçilen kesme parametrelerinde işlenen parçaların aritmetik ortalama yüzey pürüzlülükleri genellikle $1 \mu\text{m}$ 'nin altında kalmıştır. Bu değerden sapmalar ise genellikle işlenen

yüzeydeki topografik kusurlar sonucudur . Dolayısı ile Ti-5553 alaşımları yüksek kesme hızlarında işlenildiğinde yüzey pürüzlülüğünde önemli bir artış söz konusu olmadığı bu çalışma ile görülmüştür. İlaveten aşınmanın 600 µm'ye kadar ulaşmasında yüzey pürüzlülüğünde önemli artışa sebep olmamaktadır. Ancak artan aşınma miktarının işlenen parçanın topografisinde önemli bozulmalara neden olduğu da görülmektedir ki bu durum artan aşınma sonucunda beklenen bir durumdur. Yüzey kalitesi ve topografik açıdan değerlendirildiğinde diğer tüm koşullara nazaran yüksek basınçlı soğutma sıvısının kullanımının Ti-5553 alaşımın işlenmesinde önemli katkı sağladığı söylenebilir. Özellikle kesme sıvısı ve kuru kesmede düşük aşınma miktarlarında bozulan topografi, yüksek basınçlı soğutmada aşınmanın artmış olduğu durumda dahi topografi halen kararlılığını korumaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ti-5553, Talaşlı imalat, Yüzey bütünlüğü, Kriyojenik, Serbest Yüzey Aşınması

ABSTRACT

Investigation of the effects of Tool Wear on Surface Integrity of Ti-5553 Alloy in Machining Process

Titanium alloys are commonly used materials especially in aerospace industry for structural components such as blades, gas turbine engines, compressor and disk thanks to their excellent strength-to-weight ratio, strong corrosion resistance and ability to retain high strength at high temperatures. A new generation near beta titanium alloy Ti-5553 (Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr) has some superior properties such as high strength, fracture toughness, high corrosion and fatigue resistance. This superior properties makes Ti-5553 more attractive for advanced component in aircrafts. But this properties also leads poor machinability and high tool wear and so short tool life when compared to Ti-64 (Ti-6Al-4V). In this study, tool wear induced surface integrities of machined Ti-5553 have been investigated in terms of surface roughness, microstructure, topography, XRD, and micro hardness changes while tool flank wear of the uncoated carbide insert is increasing in turning operation. To examine effect of tool flank wear, tool life experiments and single pass machining operations were carried out. In this study, 20 mm diameter Ti-5553 was used. As machining parameters, cutting speeds, V_c were chosen as 30, 90, 120, 150 and 210 m/min for machining of Ti-5553 in single pass machining and V_c were chosen as 90 and 120 m/min for tool life experiments. Feed rates of all machining processes is taken as constant, $f=0.15$ mm/rev. Experimental part of this study includes oblique cutting under different cutting conditions dry, MQL, Cryogenic, HPC, and Flood and CO_2 . Turning experiments are conducted Doosan Puma GT2100 CNC turning center. Surface roughness values are measured with Mitutoyo SJ-210. Microstructures of machined Ti-5553 at $V_c=120$ m/min were examined with Philips XL 30 SFEG scanning electron microscopy (SEM) and Olympus BX51M optical microscopy is employed to examine micro structures of ti 5553 at $v_c=90$ m/min and ti-64 at $v_c=120$ m/min. to examine phase transformation of machined specimens, Bruker AXS Marka D2 Phaser is employed for X-ray Diffractions Analysis. To measure all micro hardness chances, Vickers micro test was used. At oblique cutting processes and in the selected cutting parameters, the arithmetic mean surface roughness of the machined parts is generally less than 1 μm . Deviations from this value are usually the result of topographical defects on the treated surface. Therefore, when Ti-5553 alloys were processed at high cutting speeds, there was no significant increase in surface roughness. In addition, it does not cause a significant increase in surface roughness when wear reaches up to 600 μm . However, it can be seen that the increased amount of wear causes significant deterioration in the topography of the treated part, which is expected in the case of increased wear.

Considering the surface quality and topography, it can be said that the use of high pressure coolant compared to all other conditions makes a significant contribution to the

machining of Ti-5553 alloy. The topography is still stable in the case of the application of the high pressure cooling.

Key Words: Ti-5553, Machining, Surface Integrity, Cryogenic, Flank Wear



SEMBOLLER

A	: Akma gerilmesi (MPa)
B	: Sertleşme modülü (MPa)
C	: Şekil değiştirme hızı hassasiyet katsayısı
d	: Yeniden kristallenmiş tane boyutu (μm)
F_c	: Kesme kuvveti (N)
F_t	: İtme kuvveti (N)
f	: İlerleme (mm/dev)
l_c	: Temas uzunluğu (mm)
Q	: Aktivasyon enerjisi (J/mol)
R	: Evrensel gaz sabiti (J/Kmol)
R_a	: Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
t_0	: Kesme derinliği (mm)
t_c	: Talaş kalınlığı (μm)
T	: Mutlak sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$)
T_m	: İş parçasının ergime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_o	: Oda sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
V_c	: Kesme hızı (m/dk)
α	: Alfa fazı
β	: Beta fazı
α_p	: Primary alfa
α_s	: Secondary alfa
α	: Talaş açısı ($^{\circ}$)
$\dot{\epsilon}_0$	: Referans şekil değiştirme hızı
ϕ	: Kayma açısı ($^{\circ}$)
$\bar{\sigma}$	: Plastik akma
w	: Geçiş fazı
$\emptyset$	: Çap

KISALTMALAR

BM	: Bimodal
HMK	: Hacim merkezli kübik
LN₂	: Sıvı azot
SQL	: Minimum miktarda yağlama
HPC	: Yüksek basınçta soğutma
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
XRD	: X Işınımı kırınım yöntemi
SDH	: Sıkı düzen hegzagonal
HMK	: Hacim merkezli kübik
VB_{max}	: Maksimum serbest yüzey aşınması
CO₂	: Karbondioksit
XRD	: X-ışını difraksiyonu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. α ve β titanyum alaşımların kafes yapısı (Lenain, 2007).	16
Şekil 1.2. (a) Uçak motoru ve (b) iniş takımları (Bruhis ve ark., 2008, Ulutan ve Özel, 2011).	17
Şekil 1.3. Boeing 787 iniş takımlarında Ti-5553 alaşımın kullanım alanları (Boyer, 2010).	18
Şekil 1.4. Boeing 787 iniş takımlarında Ti-5553 alaşımın kullanım alanları (Tomchik ve Dunder, 2006).	18
Şekil 1.5. Titanyum alaşımları faz diyagramı (Aeby-Gautier ve Appolaire).	19
Şekil 1.6. Ti 5553 alaşım malzemelerinin TTT diyagramı (Nag, 2008).	20
Şekil 2.1 Ti-5553 alaşım malzemesi	25
Şekil 2.2 a) $\varnothing 63 \times 100$ mm iş parçası, b) dilimlenme işlemi sonrası, c) oluşturulan numuneler	26
Şekil 2.3 (a) İşlem görmemiş, sıcak haddelenmiş Ti-5553 iş parçası malzemesinin optik mikroskop, (b) taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri	26
Şekil 2.4 İş parçasının (Ti-5553 alaşımının) işlem görmemiş haline ait XRD sonucu. .	28
Şekil 2.5 Doosan Puma GT2100 CNC torna tezgahı.	28
Şekil 2.6 CNMG 120408 kaplamasız karbür takım ve PCLNL 2525M12 tip jet katerin 3-D gösterimi	30
Şekil 2.7 Optik Mikroskop	31
Şekil 2.8 Ti-5553 malzemesinin farklı soğutcu ve yağlayıcılarla eğik kesme tornalama operasyonunda deney ve ölçüm düzeneği	32
Şekil 2.9. Deneylerde kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	34
Şekil 2.10. Zygo ZeGage temassız 3-D optik profilometre.	35
Şekil 2.11. XRD ölçüm sistemi ve ölçülen numunelere ait görüntü	35
Şekil 2.12. İşlenen parçalardan metalografik numune hazırlama aşamaları	36
Şekil 2.13. İşlenen Ti-5553 alaşım malzemelerden metalografik numune hazırlama aşamasında kullanılan hassas kesme cihazı.	36
Şekil 2.14. Mikrosertlik ve mikroyapı analizleri için hazırlanan numunedeki incelenen yüzeyler	37
Şekil 2.15. Multipol Advanced Plus Zımparalama ve Parlatma Cihazı	37
Şekil 2.16 Olympus BX51M marka optik mikroskop	38
Şekil 2.17. Ti-5553 alaşım malzemesi numunelerinin incelendiği SEM cihazı.	38
Şekil 2.18. Vickers Mikrosertlik ölçüm cihazı	38
Şekil 3.1. Kuru kesme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi.	40

Şekil 3.2. Kuru kesme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili	40
Şekil 3.3. Kesme Sıvısı şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi.....	41
Şekil 3.4. Kesme Sıvısı şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili	41
Şekil 3.5. MQL ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi.....	43
Şekil 3.6. MQL ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili	44
Şekil 3.7. CO ₂ ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi.....	44
Şekil 3.8. CO ₂ ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili	45
Şekil 3.9. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi	45
Şekil 3.10. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili	46
Şekil 3.11. HPC ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi.....	46
Şekil 3.12. HPC ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili	47
Şekil 3.13. Kuru kesme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	48
Şekil 3.14. Kuru kesme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	48
Şekil 3.15. HPC ile işleme şartlarında, farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)	49
Şekil 3.16. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)	51
Şekil 3.17. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)	51
Şekil 3.18. MQL ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)	52
Şekil 3.19. MQL ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)	52
Şekil 3.20. Kuru kesme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	54
Şekil 3.21. Kuru kesme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	55

Şekil 3.22. Kesme sıvısı şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	55
Şekil 3.23. Kesme sıvısı şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	56
Şekil 3.24. HPC ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	56
Şekil 3.25. HPC ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	57
Şekil 3.26. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	57
Şekil 3.27. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)	58
Şekil 3.28. MQL ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)	58
Şekil 3.29. MQL ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)	59
Şekil 3.30. Farklı kesme parametre ve koşullarında iş parçası yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	60
Şekil 3.31.Farklı kesme koşullarında yüzey pürüzlülüğünün serbest yüzey aşınmasına bağlı değişimi ($V_c= 120$ m/dak, $a_p=0.6$ mm).....	63
Şekil 3.32. Farklı kesme koşullarında yüzey pürüzlülüğünün serbest yüzey aşınmasına bağlı değişimi ($V_c= 90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	64
Şekil 3.33. Kesici takım aşınmasına miktarına bağlı olarak işlenmiş yüzeyde ölçülen Yüzey pürüzlülüğü değerleri ($V_c= 120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm).....	65
Şekil 3.34. Ti-5553 alaşım malzemesinin işlem görmemiş mikroyapı görüntüsü a) Optik Mikroskop görüntüsü b) SEM görüntüsü	66
Şekil 3.35. Farklı kesme parametre ve koşullarında gerçekleştirilen kesme performans deneyleri sonucunda optik mikroskop altında iş parçasının yüzey ve yüzeye yakın bölgelerinde elde edilen mikroyapı görüntüleri.....	69
Şekil 3.36. 120 m/dak Kesme hızı ve kuru(a), kriyojenik (b), MQL(c) ve kesme sıvısı(d) ve HPC(e) kesme koşulları altında işlenmiş yüzeyin SEM mikroyapı görüntüsü ve tanelerde meydana gelen deformasyon.....	70
Şekil 3.37. $V_c=120$ m/dak kesme hızında farklı koşullarda ve farklı aşınma miktarlarında elde edilen SEM görüntüleri ($a_p= 1.2$ mm)	72
Şekil 3.38. 30 m/dak kesme hızında ve farklı kesme koşullarında derinliğe bağlı mikrosertlik değişim	73
Şekil 3.39. 90 m/dak kesme hızında ve farklı kesme koşullarında derinliğe bağlı mikrosertlik değişim	74
Şekil 3.40. 120 m/dak kesme hızında ve farklı kesme koşullarında derinliğe bağlı mikrosertlik değişim	75

Şekil 3.41. 150 m/dak kesme hızında ve farklı kesme koşullarında derinliğe bağlı mikrosertlik değişim	75
Şekil 3.42. 210 m/dak kesme hızında ve farklı kesme koşullarında derinliğe bağlı mikrosertlik değişim	76
Şekil 3.43. Kuru kesme şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=90$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm) ...	77
Şekil 3.44. MQL şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=90$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)	78
Şekil 3.45. HPC şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=90$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)	78
Şekil 3.46. Kriyojenik şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=90$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm) ...	79
Şekil 3.47. Kesme sıvısı şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=120$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm) .	80
Şekil 3.48. Kuru Kesme şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=120$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm) .	80
Şekil 3.49. MQL şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=120$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)	81
Şekil 3.50. Kriyojenik şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=120$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm) .	82
Şekil 3.51. HPC şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=120$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)	82
Şekil 3.52. İşlenmemiş Ti-5553 alaşım malzemesinin faz pikleri.....	84
Şekil 3.53. Kuru kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi	86
Şekil 3.54. Kriyojenik kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi	86
Şekil 3.55. MQL kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi	87
Şekil 3.56. HPC kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi	88
Şekil 3.57. CO ₂ ile kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi	88
Şekil 3.58. Kesme sıvısı ile kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi.....	89
Şekil 3.59. Kuru kesme koşulunda kesici takım serbest yüzey aşınmasındaki değişimin işlenen parçanın yüzeyinde kristal yapıya ve faza etkisi ($V_c= 120$ m/dak)	90
Şekil 3.60. Kesme sıvısı koşulda kesici takım serbest yüzey aşınmasındaki değişimin işlenen parçanın yüzeyinde kristal yapıya ve faza etkisi ($V_c= 120$ m/dak)	91

Şekil 3.61. HPC kesme koşulunda kesici takım serbest yüzey aşınmasındaki değişimin işlenen parçanın yüzeyinde kristal yapıya ve faza etkisi ($V_c= 120$ m/dak)	91
Şekil 3.62. Kriyojenik kesme koşulunda kesici takım serbest yüzey aşınmasındaki değişimin işlenen parçanın yüzeyinde kristal yapıya ve faza etkisi ($V_c= 120$ m/dak)....	92
Şekil 3.63. MQL kesme koşulunda kesici takım serbest yüzey aşınmasındaki değişimin işlenen parçanın yüzeyinde kristal yapıya ve faza etkisi ($V_c= 120$ m/dak)	92



TABLO LİSTESİ

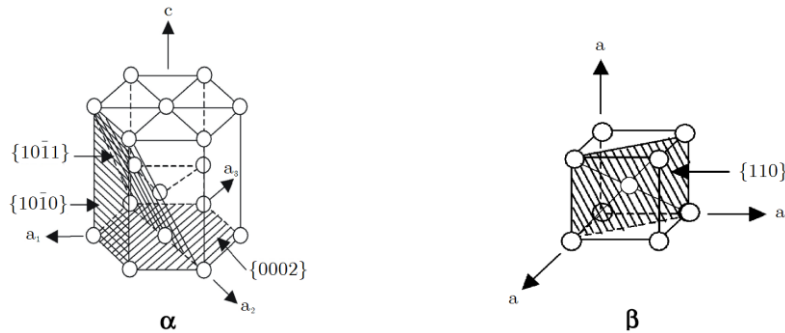
Tablo 1.1. Yüzey bütünlüğü kriterleri (Field ve ark., 1972).	23
Tablo 2.1. Ti-5553 malzemesinin yüzdesel kimyasal kompozisyonu.	26
Tablo 2.2. Ti-5553 malzemesine ait mekanik özellikleri.	26
Tablo 2.3 Doosan Puma GT2100 CNC torna tezgahı teknik özellikleri	29
Tablo 2.4. Eğik kesmede kullanılan kesici takım ve takım tutucuların özellikleri	30
Tablo 2.5. Tek paso eğik kesme deneyleri için belirlenen kesme koşul ve parametreleri.	33
Tablo 2.6. Takım ömrü testleri için belirlenen kesme koşul ve parametreleri.	33



1. GİRİŞ

Titanyum alaşımlar başta otomotiv, kimya, biyomedikal, havacılık endüstrisi olmak üzere gaz türbin motorları, nükleer atık depolama tankları, petrol rafineri, uçak motor bıçakları (compression blade), uçak gövdesi, iniş takımları gibi yapısal komponentlerin üretilmesinde, yüksek mekanik özellikleri, hafiflik, yüksek korozyon direnci, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruması gibi üstün özelliklerinden ötürü yaygın olarak kullanılırlar (Ezugwu ve Wang, 1997, Arrazola ve ark., 2009) (Ezugwu ve ark., 2003), (Boyer, 1996, Ginting ve Nouari, 2009).

Saf titanyum allotropik özelliğe sahip olması dolayısıyla oda sıcaklığında α faz ve sıkı düzen hegzagonal (SDH) birim hücre yapıda iken, yüksek sıcaklıklarda (882 °C) β fazında ve hacim merkezli kübik (HMK) birim hücresi yapıda bulunmaktadır (Lenain, 2007). β faz hacim merkezli kübik (HMK) yapıya sahip titanyum alaşımları yüksek sıcaklıklarda kararlı mevcut kayma sistemine sahip olmaları dolayısıyla ikizlenme mekanizması çok sık görülmemektedir (Lenain, 2007). Titanyum alaşımlarında ikizlenme mekanizması (112) düzlemi ve [111] doğrultusunda gerçekleşmektedir (Lenain, 2007). α faz durumuna sahip Ti-64 alaşımın sahip olduğu sıkı düzen hegzagonal (SDH) kafes yapısına ait düzlemler bazal (0002) düzlemi, üç prizmatik ($10\bar{1}0$) düzlem, altı ($10\bar{1}1$) doğrusal piramit düzlem ve $[11\bar{2}0]$ doğrultusu iken, metastabil β Ti-5553 alaşımının kristal doğrultusu (110) düzleminde, [111] doğrultusundadır (Gerday, 2009). α ve β titanyum alaşımlarına ait kafes yapıları Şekil 1.1’de görülmektedir (Lenain, 2007).

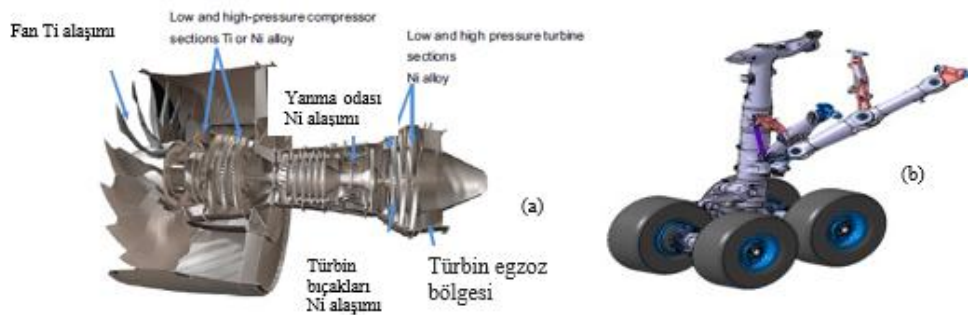


Şekil 1.1. α ve β titanyum alaşımların kafes yapısı (Lenain, 2007).

İlaveten, Titanyum alaşımlarında yer alan elementler allotropik dönüşüm sıcaklığını ve alaşımın mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedirler (Nouari ve Makich,

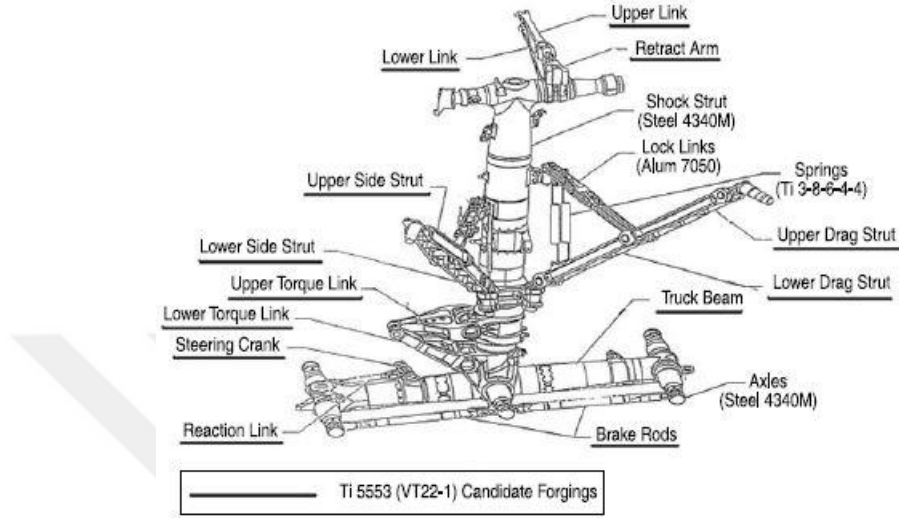
2013).Titanyum alaşımları bileşimlerindeki elementlere bağlı olarak α ve β olarak gruplandırılırlar. Al, Ga, Sn, Ge, La, O, N, B, C elementleri alaşım içerisinde α faz stabilleri olarak yer alırken, Mo, V, Nb, Ta, Re, Fe, Cr, Ni, Cu, W, Co gibi elementler β faz stabilleri olarak yer almaktadırlar (Arrazola ve ark., 2009,Nouari ve Makich, 2013). Ayrıca bileşimlerinde yer alan elementlerin yüzde miktarı malzemenin mukavemet değerlerini ve dolayısıyla işlenebilirlik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Al elementi sertlik değerini etkilerken, Mo elementinin yüzde miktarı çekme dayanımını etkilemektedir (Arrazola ve ark., 2009,Wagner ve ark., 2015). Alaşımın mikroyapısı içerisinde ise α faz yoğunluğu kırılma tokluğu değerini doğrudan etkilerken, β fazına sahip tane içerisinde yer alan α fazlar çatlak oluşumunu ve ilerlemesini engelleyerek yapının yüksek tokluğa sahip olmasını sağlarlar (Greenfield ve Margolin, 1971).

Ti-5553 alaşım malzemeleri Boeing 787, Airbus A380 uçakları (Nouari ve Makich, 2013) başta olmak üzere havacılık sektöründe uçak iniş takımlarında kullanılmaktadırlar. Boing uçaklarında, uçak motor ve gövde kısımlarında bu malzemelerin yüzde kullanım oranları sırasıyla % 18 ve 36'dır (Peters ve ark., 2003). Boing'in yeni seri uçaklarından birisi olan Boing 787'de Ti alaşım malzemelerinin kullanım oranı artmıştır (Bruhis ve ark., 2008). Bunun temel nedeni, Ti alaşım malzemelerinin sahip olduğu yüksek sıcaklık altında mukavemetini muhafaza etmesi, hafif olması, korozyona karşı direncinin yüksek olması, yorulma dayanımı gibi bazı önemli özellikleridir (Ezugwu ve Wang, 1997,Ezugwu, 2005). Bahsedilen özellikler bu malzemelerin havacılıkta ve uçaklarda, uçak motorları (Şekil 1.2a) ve iniş takımları (Şekil 1.2b) gibi en kritik yerlerde kullanılmalarını sağlamaktadır.



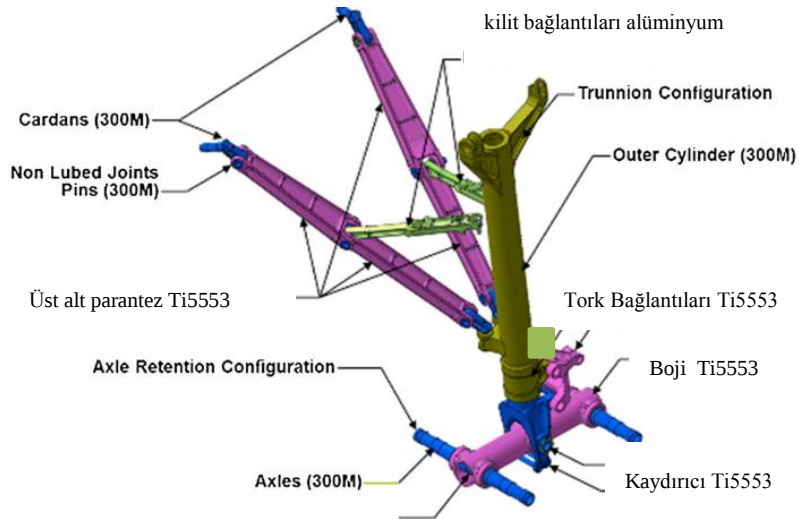
Şekil 1.2. (a) Uçak motoru ve (b) iniş takımları (Bruhis ve ark., 2008,Ulutan ve Ozel, 2011).

Titanyum alaşımlarına, özellikle Ti-64 alaşımına alternatif olarak geliştirilen Ti-5553 alaşım malzemesi havacılıkta uçakların iniş takımlarında kullanılmaya başlanmıştır (Braham-Bouchnak ve ark., 2013). Şekil 1.3'te Ti-5553 alaşımın kullanıldığı iniş takımı görülmektedir.



Şekil 1.3. Boeing 787 iniş takımlarında Ti-5553 alaşımın kullanım alanları (Boyer, 2010).

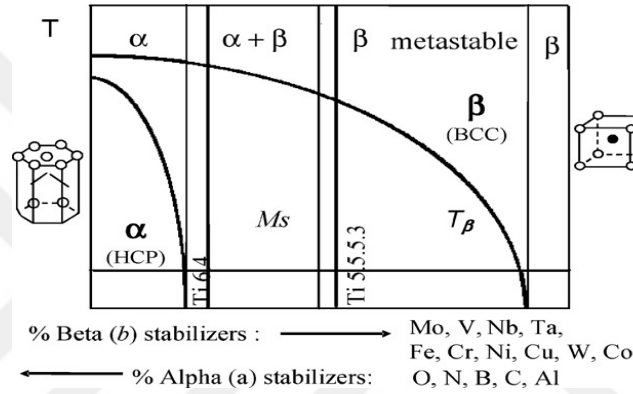
Ti-5553 alaşımın Boeing 787 uçağı iniş takımlarında kullanıldığı parçalar detaylı olarak aşağıda Şekil 1.4'te sunulmuştur.



Şekil 1.4. Boeing 787 iniş takımlarında Ti-5553 alaşımın kullanım alanları (Tomchik ve Dunder, 2006).

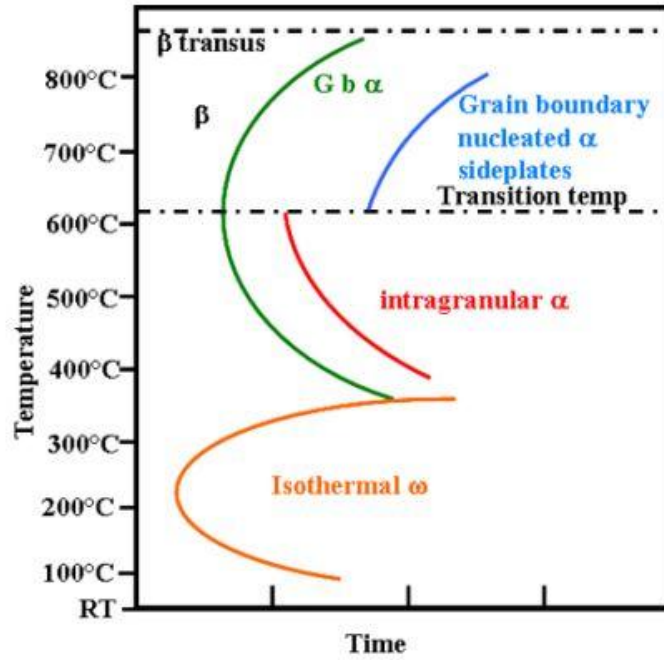
Son zamanlarda özellikle havacılık sektöründe yüksek dayanım, kırılma tokluğu, uzun yorulma ömrü, hafiflik, düşük yakıt tüketimi ve emisyonunu, emniyet gibi kriterleri sağlamaları sebebiyle kullanım alanları artan bu malzemelerin performans özelliklerinin geliştirilmesi hususunda çalışmalar devam etmektedir (Ezugwu ve ark., 2003).

Havacılık endüstrisinde toplam titanyum ürünlerinin yaklaşık % 50 sini oluşturan ve bugün hala yaygın olarak kullanılmakta olan $\alpha+\beta$ Ti-64 alaşımı ve bu malzemeye alternatif olarak geliştirilen Ti-5553 alaşımlarına ait faz diyagramı Şekil 1.5'te gösterilmektedir. Ti-5553 alaşımının β faz dönüşüm sıcaklığı 850 °C (Nag ve ark., 2009) iken, Ti-64 alaşımı için bu değer 950-1000°C (Nicolaou ve ark., 2005) aralığındadır.



Şekil 1.5. Titanyum alaşımları faz diyagramı(Aeby-Gautier ve Appolaire).

Mekanik özellikler açısından değerlendirildiğinde Ti-5553 alaşım malzemesinin Ti-64 malzemesine göre çekme dayanımı %25, akma dayanımı %27, sertliği %18 daha fazladır (Khanna ve Sangwan, 2013). Ti-5553 alaşımı bileşiminde yer alan β elementlerin dominant olmasından kaynaklı olarak β dönüşüm sıcaklığı (850 °C), $\alpha+\beta$ Ti 64 alaşımına göre daha düşüktür (1000 °C). İşlenebilirlik perspektifinden değerlendirildiğinde bu fark önemlidir çünkü Ti-64 malzemelerin işlenmesi esnasında 750-940 °C ısı oluşmakta ve $\alpha+\beta$ yapı korunmaktadır (Özel ve Zeren, 2006). Ti-5553 alaşım Ti-64'e göre daha yüksek mekanik ve termal özellikleri dolayısıyla bu malzemenin talaşlı imalatı sırasında β dönüşüm sıcaklığı üzerinde daha yüksek ısı oluşumu gözlemlenebilir ve bu durum talaşlı imalatı sırasında malzemenin muhtemel faz dönüşümüne sebep olabilecektir (Wagner ve ark., 2009). Ti-5553 alaşım malzemelerine ait zaman sıcaklık dönüşüm (TTT) diyagramı Şekil 1.6'da verilmektedir.



Şekil 1.6. Ti 5553 alaşım malzemelerinin TTT diyagramı (Nag, 2008).

α hekzagonal sıkı paket yapıdaki Ti 64 alaşımın yerine kullanılmaya başlanan bu malzemenin yüksek mekanik özelliklerinin yanı sıra tane boyutu, α - β fazlarının morfolojisi ve yüzde bileşimi, oda sıcaklığın atomik dolgu faktörü %68 olan hacim merkezli kübik yapıda bulunması gibi mikroskobik özellikleri işlenebilirlik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Arrazola ve ark., 2009). Yapılan deneysel çalışmalarda Ti 5553 alaşımın işlenebilirliği Ti 64 alaşıma göre yaklaşık %56 daha zor olduğu görülmüştür.

Bu malzeme düşük termal iletkenlik katsayısına sahip olmasından kaynaklı talaşlı imalatı sırasında kesici takım-talaş arayüzeyinde ısı transferi sınırlanır ve yüksek ısı oluşumu takım ömrünü azaltmakta buna ilaveten düşük elastikiyet modülüne sahip olması, yüksek sıcaklıklarda dayanımını koruması ve talaşlı imalat sürecinde pekleşme kabiliyeti sergilemesi talaşlı imalat açısından diğer olumsuz özellikler olarak göze çarpmaktadır (Arrazola ve ark., 2009, Ugarte ve ark., 2012). Ti 5553 alaşım malzemesi bahsi geçen özelliklerinden dolayı “kesilmesi zor malzeme” grubunda yer alıp, talaşlı imalatında karşılaşılan en büyük zorluklar yüksek kesme hızlarında çalışamaması, hızlı takım aşınması, kısa takım ömrü, yüksek kesme kuvvetleri oluşumu, yüksek dinamik yüklerin ve yüksek kesme sıcaklığının oluşması ve bütün bu tesirlerin sonucu yüksek talaş segmentasyon frekansı ve adyabatik kayma bandı oluşumu, iş parçasından kesici takıma adezyon eğiliminin artması olarak göze çarpmaktadır (Arrazola ve ark., 2009, Ugarte ve

ark., 2012) Talaşta yer alan adyabatik kayma bandı işleme sırasında termal ve mekanik yükleri arttırarak difüzyon mekanizması ile talaş yüzeyinde hızlı aşınmaya yol açar (Sun ve ark., 2015). Literatürde Ti-5553 alaşım malzemesinin işlenmesinde T-64 ile kıyaslandığında daha yüksek kesme kuvvetleri, daha fazla takım aşınması ve dolayısı ile daha kısa takım ömrü ve daha yüksek sıcaklıklar gözlemlenmiştir (Arrazola ve ark., 2009, Sun ve ark., 2015).

Bilindiği üzere talaşlı imalat sürecinde birçok mühendislik malzemesinin özellikle Ti alaşım malzemelerinde dahil olduğu işlenmesi zor malzemelerin takım aşınmasını ve kesme kuvvetlerini azaltmak suretiyle işleme performansını arttırmak için farklı yağlayıcı ve soğutucular literatürde ve endüstride yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle işlenmesi zor malzemelerin talaşlı imalatında hiçbir yağlayıcı veya soğutucunun kullanılmadan (kuru kesme) talaş kaldırma uygulamaları endüstride yok denilecek kadar azdır. Literatüre bakıldığında, özellikle farklı yağlayıcı veya soğutucuların kullanılması ile takım ömründe ciddi iyileştirmeler olduğu aşikardır. Ti-5553 alaşımın talaşlı imalat sürecinde şimdiye kadar yapılan çalışmalar daha çok problemlerin tespitine yönelik olup bu malzeme için bahsi geçen problemleri çözmeye yönelik yukarıda bahsedilen yağlama ve soğutma yöntemleri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcuttur.

Braham ve Ark. (Braham-Bouchnak ve ark., 2015) Ti-5553 alaşımın işlenmesinde yüksek basınçlı soğutmanın kesme kuvvetleri, kesici takım aşınması, talaş kırılabilirliği gibi talaşlı imalat performansı ve yüzey bütünlüğü karakteristiklerine etkisini incelemişlerdir. Yüksek basınçlı soğutma desteği ile özgün kesme kuvveti %23 azalmış, talaş kırılabilirliği artmış daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir. Bu yöntem yüzey bütünlüğü karakteristikleri perspektifinden yüzey pürüzlülüğü değerini düşürmüştür (Braham-Bouchnak ve ark., 2015). Sun ve Ark. (Sun ve ark., 2015) bu malzemenin işlenmesinde karşılaşılan bahsi geçen sorunların çözümüne yönelik minimum miktarda yağlama (MQL) ve sıvı azot (LN₂) yöntemini kullanarak elde edilen bulguları konvansiyonel kesme sıvısı ile kıyaslayarak değerlendirmişlerdir. Kriyojenik yöntem, MQL ve kesme sıvısı yöntemlerine göre kesme kuvvetlerinde %30 azalmaya ve dolayısıyla daha az kesici takım aşınması elde edilmesini sağlarken MQL yöntemi diğer yöntemlere kıyasla kesme boyunca iş parçası sıcaklığını arttırarak daha yüksek süneklik oluşumu sağlayarak yüzey kalitesini geliştirmiştir (Sun ve ark., 2015). Tarek Braham ve Ark (Braham-Bouchnak ve ark., 2013) laser desteği ile termal yumuşama sağlayarak malzemenin işlenebilirlik özelliklerini geliştirmişlerdir.

Shih dört farklı talaş açısında dik kesme esnasında oluşan gerilmeleri incelemiştir (Shih, 1995). Ceretti ve ark. farklı takım geometrileri ve kesme hızlarında dik kesme simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Sünek kırılmanın başlangıcını ve yayılımı üzerine tahminler yapmışlardır(Ceretti ve ark., 1999). Ship-Peng Lo farklı talaş açılarında sahip takım tutucularla yapılan kesme simülasyonlarında farklı talaş açılarının kesme kuvveti ve talaş morfolojisine olan etkilerini incelemiştir. Talaş açısının artmasıyla kesme kuvvetlerinin düştüğünü gözlemlemiştir. Bu sayede takım ömrünün arttığını bildirmiştir(Lo, 2000). Strenkowski ve Moon 6061-T6 alüminyum alaşımı için farklı talaş açıları, kesme derinlikleri ve kesme hızlarında kesme sıcaklığı, kesme kuvveti ve talaş morfolojisi tahmininde bulunmuşlardır. Talaş açısının artması ve kesme derinliğinin azalması ile kesme kuvvetlerinde düşüş olduğu sunulmuştur(Strenkowski ve Moon, 1990). Sima ve Özel Ti-64 alaşımının farklı talaş açılarında talaşlı imalatının modellenmesi sonucu talaş morfolojisini incelemiştir(Sima ve Özel, 2010). Ding ve Shin farklı talaş açısının tane boyutuna ve sıcaklığa etkisini saf titanyum üzerinde dislokasyon temelli model kullanarak gözlemlemiştir. Talaş açısı $+20^\circ$ iken kesme sıcaklığı -20° 'ye göre daha düşük bunun yanında tane boyutunun daha büyük olduğu rapor edilmiştir(Ding ve Shin, 2014).

Yüzey bütünlüğü özellikle dinamik yüklere maruz kalan parçaların, birbiri ile temas halinde olan parçaların ve korozyona maruz kalması söz konusu parçaların imalatında önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir (Ulutan ve Ozel, 2011,Kaynak ve ark., 2014). Ti-5553 alaşımlar uçakların iniş takımları gibi sürekli olarak dinamik yüklere maruz kalma potansiyeli olan uygulama alanına sahip olması nedeniyle (Tomchik ve Dunder, 2006), bu konudaki çalışmalar önem arz etmektedir. Yüzey bütünlüğü konusunda ilk kayda değer çalışmalar ve bu terminolojinin tanımlanması 1972 yılında Field ve arkadaşları (Field ve ark., 1972) tarafından yapılmıştır. Tablo 1.1'de yüzey bütünlüğünü oluşturan kriterler yer almaktadır. Tablo 1.1'de görüldüğü üzere Field ve arkadaşları yüzey bütünlüğünü üç ana kategoride değerlendirmişlerdir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar genellikle minimum ve standart yüzey bütünlüğü kriterlerine göre yapılmaktadır bazı çalışmalarda ise genişletilmiş yüzey bütünlüğü kriterleri de araştırmacılar tarafından irdelenmektedir (Jawahir ve ark., 2011).

Tablo 1.1. Yüzey bütünlüğü kriterleri (Field ve ark., 1972).

Minimum Yüzey Bütünlüğü Kriterleri	Standart Yüzey Bütünlüğü kriterleri	Genişletilmiş Yüzey Bütünlüğü kriterleri
Makroyapı (10x veya daha az)	Minimum Yüzey Bütünlüğü kriterleri	Standart Yüzey Bütünlüğü kriterleri
Mikroyapı	Yorulma testleri	Yorulma testleri (tasarım için)
Mikro boyutta çatlaklar	Gerilim korozyon testleri	
Plastik defomasyon	Kalıntı gerilme ve distorsiyon (çarpılma)	İlave mekanik testler; çekme, sürünme
Faz dönüşümü		Gerilme kırılması
Taneler arası atak		
Yüzeyde çukurlaşma, yırtılma oluşumu		
Yüzeye sıvanmış malzeme birikintileri (Build up layer)		
Mikrosertlik değişimi		

Literatürde birçok farklı malzemenin talaş kaldırmaya bağlı olarak yüzey ve yüzey altındaki karakteristikler incelenmiştir/incelenmektedir(Jawahir ve ark., 2011). Bu malzemelerin başında Titanyum ve alaşımları, Ni esaslı alaşımlar, farklı özelliklerde çelikler gelmektedir(M'Saoubi ve ark., 2008,Ulutan ve Ozel, 2011). Ayrıca farklı soğutucu ve yağlayıcıların talaşlı imalat süreçlerinde kullanılması ve bunların yüzey bütünlüğüne etkisi konusunda da çalışmalar yapılmıştır (Kaynak ve ark., 2014). Ti alaşımlar içinde nispeten yeni kabul edilen Ti-5553 alaşımlar konusunda ise literatürde yüzey bütünlüğü çalışmaları sınırlıdır. Baili ve Ark. (Baili ve ark., 2011) yaptıkları çalışmada iş parçasının ısıtılmasının iş parçası yüzey sertliğinde artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir. İlaveten artan sıcaklığında yüzey kalitesinde iyileşmeye neden olduğu rapor edilmiştir. Sun ve arkadaşları (Sun ve ark., 2015) ise yaptıkları çalışmada yüzey pürüzlüğünün kesme koşullarına ve parametrelerine bağlı olarak değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Yan ve arkadaşları (Yan ve ark., 2011) yaptıkları çalışmada talaş kaldırma sonucunda Ti-5553 alaşımda faz dönüşümü olduğunu ifade etmişlerdir ve faz dönüşümü ile ilgili kapsamlı bilgiye ulaşmak için XRD analizinin yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Diğer taraftan talaş kaldırmanın Ti-5553 alaşımda kalıntı gerilmeler etkisi konusunda çalışmalar Braham-Bouchnak ve arkadaşları (Braham-Bouchnak ve ark., 2013,Braham-Bouchnak ve

ark., 2015) tarafından yapılmıştır ve bu alaşımlarda işleme esnasında malzemenin ısıtılması ve farklı soğutucuların kullanılması dikkate alınmıştır.

Bu tez kapsamında Ti-5553 alaşım malzemesinin eğik işlenmesi sırasında oluşan serbet yüzey aşınmasının yüzey bütünlüğüne olan etkileri araştırılmıştır. Farklı soğutma ve yağlama sıvılarının takım aşınması ve buna bağlı olarak yüzey bütünlüğüne olan etkileri kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır.

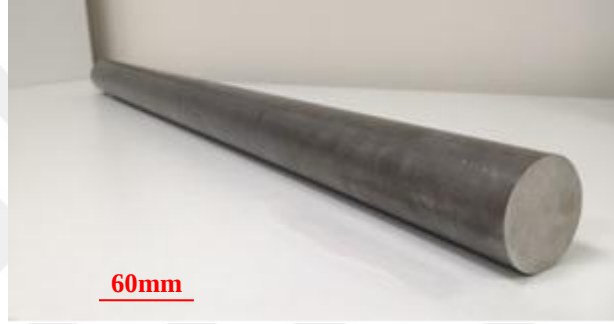


2. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DÜZENEKLER

Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan iş malzemesi, teknik ekipman, soğutucu ve yağlayıcılar ve kesme parametreleri bu bölümde sunulmaktadır.

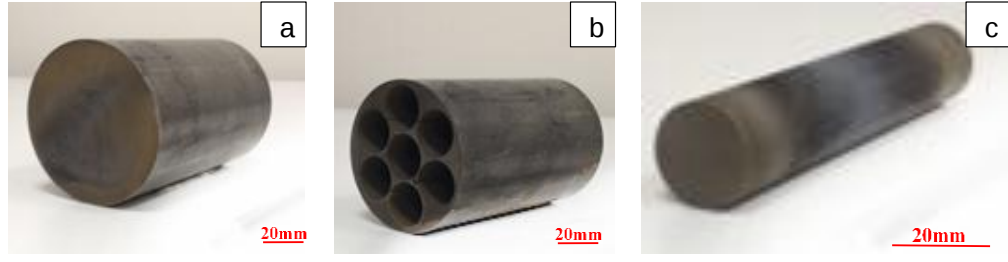
2.1 Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr Alaşım Malzemesi

Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr (Ti-5553) alaşım malzemesi sıcak haddelenmiş olarak Amerikan menşeli Grandis Titanium firmasından temin edilmiştir. Malzeme $\varnothing 63 \times 1000$ mm boyutlarında 15 kg ağırlığında 4 adet olarak alınmıştır. Ti-5553 alaşım malzemesi Şekil 2.1 'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Ti-5553 alaşım malzemesi

İş parçası israfını minimize edebilmek için 63 mm çapında tedarik edilen bu parçalar, tel erezyon kullanılarak daha küçük boyutlarda numunelere dönüştürülmüştür. Böylece temin edilen malzeme ile daha fazla sayıda test yapabilme imkanı elde edilmiş ve aynı zamanda ilave maliyetin önüne geçilmiştir. Ti-5553 alaşım malzemesi tornalama operasyonu eğik kesme deneyleri için $\varnothing 18.2 \times 100$ mm. Tel erezyon işleminden kaynaklı işleme izleri ve kalıntıların kesme esnasında neden olabileceği vibrasyonun önlenmesi maksadıyla boyutları $\varnothing 18.2 \times 100$ olan numuneler, $\varnothing 18 \times 100$ mm olacak şekilde 0.2 mm temizleme operasyonu uygulanarak tornalama işlemine tabii tutularak talaşlı imalat testleri için hazır hale getirilmiştir. Tel erozyon ile eğik kesme testleri için numune hazırlama aşamalarının fotoğrafları Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2 a) Ø63x100 mm iş parçası, b) dilimlenme işlemi sonrası, c) oluşturulan numuneler

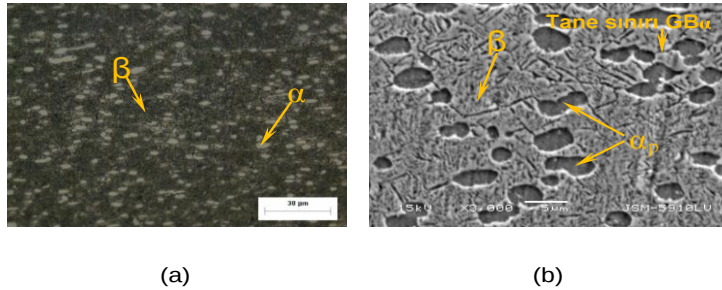
Tablo 2.1. Ti-5553 malzemesinin yüzdesel kimyasal kompozisyonu.

İş parçası	Al	V	Mo	Cr	Fe
Ti-5553	5,532	4,96	5,09	2,96	0.34

Tablo 2.2. Ti-5553 malzemesine ait mekanik özellikleri.

İş Parçası	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	% Uzama	Sertlik (HV)	Beta (β) fazına dönüşüm sıcaklığı (°C)	Isıl İletim Katsayısı (W/m°C)
Ti-5553	1171	1412	10	317±5	850	8

Ti-5553 numunelerinin talaş kaldırma operasyonu öncesi işlem görmemiş (as-received) mikroyapılarına ait optik mikroskop görüntüleri Şekil 2.3(a)'da gösterilmektedir. Şekil 2.3 (b)' de Ti-5553 malzemesine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemi ile elde edilen mikroyapı görüntüsü gösterilmektedir.



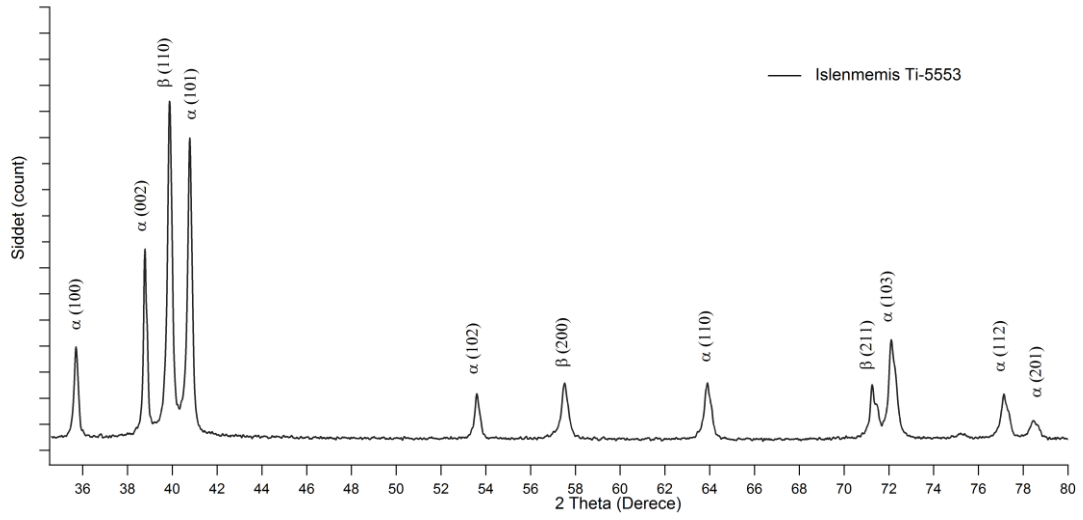
Şekil 2.3 (a) İşlem görmemiş, sıcak haddelenmiş Ti-5553 iş parçası malzemesinin optik mikroskop, (b) taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri

Ti-5553 alaşım malzemeleri metastabil β alaşım grubundadır ve mikroyapı-özellik ilişkileri bakımından bimodal (BM) veya lamelli mikroyapılara sahip olabilmektedir (Huang ve ark., 2011, Srinivasu ve ark., 2013, Li ve ark., 2015). Titanyum alaşımlarının mekanik özellikleri alaşımın kimyasal bileşimi ve bu elementlerin yüzdece miktarı ile (Grosdidier ve ark., 1997) büyük ölçüde malzemenin tane boyutu, morfolojisi, α ve β fazların hacimsel miktarına, tanelerin mikroyapı içinde dağılımı ve oryantasyonu gibi mikroyapı karakteristiklerine bağlıdır (Lütjering ve Williams, 2003, Jones ve ark., 2009, Wu ve ark., 2013, Osovski ve ark., 2015).

Ti-5553 alaşım iş parçasının işlem görmemiş hali için elde edilen SEM görüntüleri (Şekil 2.3 b) malzemenin bimodal yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bimodal (BM) yapının lamelli yapıya göre daha yüksek dayanıma sahip olduğu, sünekliğinin ise lamelli yapı ile çok yakın olduğu rapor edilmiştir (Huang ve ark., 2017). İlaveten Bimodal yapının deformasyon davranışının α_p 'ın kaymasından oldukça etkilendiği ifade edilmektedir (Huang ve ark., 2017)

Şekil 2.3 (b)'de sunulan SEM görüntüsündeki gri renkli ana yapı β fazları temsil ederken küresel olarak görünen koyu bölgeler birincil (primary) α_p fazları temsil etmektedir. Görüldüğü gibi yapıda çok sayıda küresel birincil α_p (primary α) faz bulunmaktadır. Aynı zamanda β matris içerisinde tane sınırları alfa ($GB\alpha$) boyunca iğnemsiz ikincil α_s (secondary alfa) faz bölgeleri bulunmaktadır (Huang ve ark., 2017). Yapıda bulunan ve β faza göre göreceli olarak daha yumuşak olan (Xin ve Zhao, 2006), eş eksenli α_p fazlar yapı ile iyi bir uyum sergileyebilir ve deformasyon süresince alaşım malzemesinde birim şekil değiştirmenin meydana geldiği noktalarda önemli bir rol oynar (Huang ve ark., 2011).

Şekil 2.4'te işlem görmemiş Ti-5553 alaşım malzemesinden alınan numunenin kristalografik dokusunu temsil eden faz pikleri, bölgeleri ve düzlemleri (miller indisleri) yer almaktadır.



Şekil 2.4 İş parçasının (Ti-5553 alaşımının) işlem görmemiş haline ait XRD sonucu.

2.2 CNC Torna Tezğahı, Takım Tutucular, Kesici Takım ve Optik Mikroskop

Deneysel çalışmada Doosan Puma GT2100 model maksimum 4500 RPM iş mili devrine, 18,5 kW motor gücü ve 183 Nm torka sahip 8 inç aynalı CNC torna tezgahı kullanılmıştır (Şekil 2.5). CNC torna tezgahının teknik özellikleri tablo da verilmiştir (Tablo 2.3). Ti-5553 alaşımının tornalama işlemi için kullanılan kesici takım tutucular Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Tornalama operasyonunda PCLNL 2525M12 tip jet kateri ve CNMG 120408 tip kaplamasız karbür kesici takım kullanılmıştır.



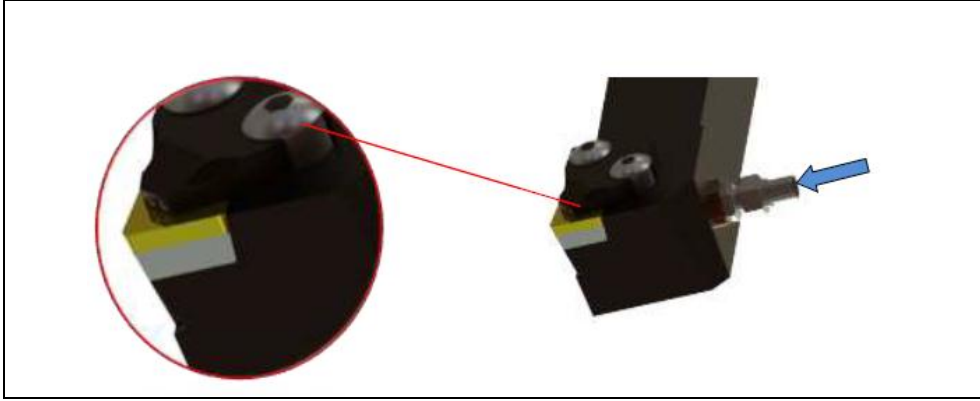
Şekil 2.5 Doosan Puma GT2100 CNC torna tezgahı.

Tablo 2.3 Doosan Puma GT2100 CNC torna tezgahı teknik özellikleri

Azami Tornalama Çapı	390 mm
Azami Tornalama Boyu	562 mm
Azami İş mili Devri	4500 dev/dak
Takım Adedi	12
Ayna Ölçüsü	8 inch
Boyutlar(Uzunluk-Genişlik-Yükseklik)	2940-1628-1700 mm
Boştaki Eksen Hızları	X=24 m/dak Z=30 m/dk
İş mili Motor Gücü	18,5 kW

Titanyum ve alaşımlarının özellikle Ti-5553 alaşımının farklı talaşlı imalat süreçlerinde kaplamalı (TiCN,TiAlN, vb) (Baili vd. 2011;Sun vd. 2015) ve kaplamasız kesici takımlar (Yan vd. 2011) kullanılmıştır. Her ne kadar Ti-5553 alaşımların talaş kaldırma operasyonunda kaplamalı kesici takımlar tercih edilmiş olsada, Ti-64 literatüründe kaplamasız takımlarda yoğun şekilde kullanılmaktadır (Che-Haron ve Jawaid 2005). İlaveten Ti-5553 konusunda yapılan çalışmada (Wagner vd. 2015b) kaplamalı takımların kesici takım ömrüne katkısının dikkate alınmayacak kadar az olduğu vurgulanmıştır. Bunlar dikkate alınarak ve özellikle de bu iş parçasının düşük ısıl iletkenliğe sahip olduğu ve kaplamanın yayılımına negatif etkisinin olabileceği de dikkate alınarak, kaplamasız kesici takımlar kullanılmıştır.





Şekil 2.6 CNMG 120408 kaplamasız karbür takım ve PCLNL 2525M12 tip jet katerin 3-D gösterimi

Eğik kesmede kullanılan karbür takımda ISO'ya göre S serisi Ti ve Ni esaslı alaşım malzemelerin işlenmesinde kullanılması önerilen takımdır. Şekil 2.6'da katerin ve kesici ucun şematik gösterimi ve görüntüleri verilmiştir. Eğik kesme deneylerinde kullanılan kesici takım ve tutucuların özellikleri Tablo 2.4'te toplu olarak sunulmuştur.

Tablo 2.4. Eğik kesmede kullanılan kesici takım ve takım tutucuların özellikleri

Kesici takım		Takım tutucu	
ISO kod	CNMG 120408	ISO kod	PCLNL 2525M12
Kalite	883	Serbest Boşluk Açısı	-6°
Kaplama tipi	kaplasız	Talaş Açısı	-6°
Köşe Rad.	0.8mm	Boyut	25x25
Talaş kırıcı	M1	Uç Yuvası	12
Uç Yuvası	12	Nozul tipi	Serbest ve talaş yüzeyinden jet nozul
Kesme Kenarı Sayısı	4		
Operasyon	Eğik kesme	Operasyon	Eğik kesme

Takım ömrü deneylerinde testler belirli periyotlarla durdurulmuş ve kesici takım serbet yüzeyinde meydana gelen aşınma miktarları Şekil 2.7’de görseli verilen optik mikroskop yardımı ile aşınması miktarı ölçülmüştür.

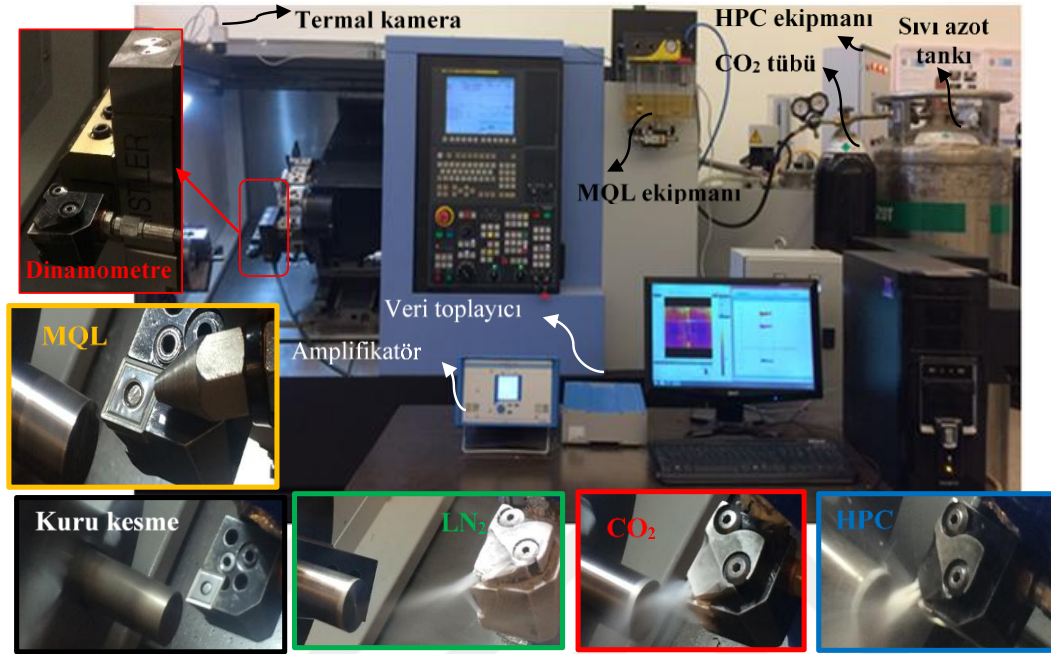


Şekil 2.7 Optik Mikroskop

2.3 Soğutucu ve Yağlayıcılar

Kesme sürecinde değişik yağlayıcılar ve soğutucular kullanılmıştır ve elde edilen sonuçlar kuru kesme ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan yağlayıcılar ve soğutucular kesme sıvısı, yüksek basınçlı soğutma (HPC), minimum miktarda yağlama (MQL), Kriyojenik soğutucular (LN₂ ve CO₂). Eğik kesme testlerinde kesme sıvısı 400 lt/saat akış oranında talaş yüzeyinden kesme bölgesine uygulanmıştır. Yüksek basınçlı soğutma takım tutucunun jet nozulu vasıtasıyla serbest yüzey ve talaş yüzeyinden kesme bölgesine gönderilmiştir. Yüksek basınçlı soğutmanın basıncının tayin edilmesi için deneyler yapılmıştır ve 50 bar basıncın kullanılmasına karar verilmiştir. Yüksek basınçlı soğutma (HPC) kullanılarak yapılan deneylerinde yarı sentetik QualiChem Xtreme Cut290 kesme sıvısı %5 katılarak kullanılmıştır. LN₂ ve CO₂ kullanılan testlerde ise, soğutucular takım tutucu vasıtasıyla serbest yüzey ve talaş yüzeyinden kesme bölgesine gönderilmiştir. Sıvı azotun kullanıldığı testler boyunca sabit basınç (15 Bar) tutabilmek adına azami gayret sarfedilmiştir. Basıncın düştüğü veya yükseldiği durumlarda basınç ayar valfi aktif hale getirilerek tekrar 15 Bar basınç elde edilmiş ve deneyler yapılmıştır. CO₂ kullanılan testlerde basınç 54 bar’da tüpü ısıtarak sabit tutulmuştur ve basınç düştüğünde tüp değiştirilip testlere devam edilmiştir. Minimum miktarda yağlama (MQL) sisteminde ise 21 ml/saat kullanılmıştır. MQL yağı olarak kaynama noktası 232 °C, viskozitesi 40 °C sıcaklıkta 68 cSt olan Hangsterfer's Way Oil 2 kesme yağı kullanılmıştır. Ti-5553

malzemesinin farklı soğutucu ve yağlayıcılarla eğik tornalama operasyonu deney ve ölçüm düzeneği Şekil 2.8’de sunulmuştur.



Şekil 2.8 Ti-5553 malzemesinin farklı soğutucu ve yağlayıcılarla eğik kesme tornalama operasyonunda deney ve ölçüm düzeneği

2.4 Kesme Parametleri

Tezde birden fazla test serisi bulunmaktadır. Bunlar soğutma ve yağlama sıvılarının etkilerini ve buna bağlı olarak takım aşınmasının yüzey bütünlüğünde meydana getirdiği etkileri incelemek amacı ile yapılan tak paso eğit kesme testleri, ve farklı kesme hızlarında ve farklı soğutucu ve yağlayıcılar kullanılarak gerçekleştirilen takım ömrü deneylerinden oluşmaktadır.

Uygun kesme parametre aralığının belirlenmesi aşamasında da dikkate alınan bir husus vardır. Bu çalışmada özellikle Ti-5553 alaşımın yüksek hızlarda işlenmesi ve bunun hem işleme performansına hemde yüzey bütünlüğüne etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Literatürde bu malzemenin işlenmesinde bilindiği kadarıyla seçilen en yüksek kesme hızı 90 m/dak’dır (Braham-Bouchnak vd. 2013a;Braham-Bouchnak vd. 2015). Dolayısı ile bu çalışmada bu değer üzerinde ve altında değerler seçilmiştir. Seçilen ilerleme ve kesme

derinliği de literatürdeki mevcut çalışmalar dikkate alındığı bir aralıktadır (Braham-Bouchnak vd. 2015).

Tablo 2.5'teki test serisinde ise farklı kesme koşullarının geniş aralıklı kesme hızlarında Ti-5553 alaşımının işlenmesi için yapılan deneysel çalışmanın kesme parametreleri sunulmuştur. Burada yapılan çalışmadan elde edilen numunelerin aynı zamanda yüzey bütünlüğü analizleri yapılarak farklı kesme koşullarının farklı hızlarda yüzey bütünlüğü ile ilişkisi de araştırılmıştır.

Tablo 2.5. Tek paso eğik kesme deneyleri için belirlenen kesme koşul ve parametreleri.

Kesme hızı, V_c (m/dak)	Kesme koşulları	Kesme derinliği, a_p (mm)	İlerleme, f (mm/dev)
30	Kuru Kesme	1.2	0.15
90	Kesme Sıvısı		
120	HPC (50 Bar)		
150	MQL (21 ml/saat)		
210	Kriyojenik (Sıvı azot, LN ₂) Karbondioksit (CO ₂)		

Ti-5553 alaşımlarının işlenmesinde karşılaşılan önemli sorunlardan biri olarak kısa takım ömrü (Braham-Bouchnak vd. 2015) kabul edilmektedir. Farklı kesme koşullarının takım ömrüne etkisinin araştırıldığı testlerde Tablo 2.6'da sunulan parametreler kullanılmıştır. Ve takım ömrü deneylerinden elde edilen numunelerin farklı serbest yüzey aşınması miktarlarında VB:200 μm 400 μm ve vb 600 μm yüzey bütünlüğü özelliklerinde meydana gelen değişimler kapsamlı şekilde araştırılmış analiz edilmiştir.

Tablo 2.6. Takım ömrü testleri için belirlenen kesme koşul ve parametreleri.

Kesme hızı, V_c (m/dak)	Kesme koşulları	Kesme derinliği, a_p (mm)	İlerleme, f (mm/dev)
90	Kuru Kesme	1.2	0.15
120	Kesme Sıvısı		
	HPC (50 Bar)		
	MQL (21 ml/saat)		
	Kriyojenik (Sıvı azot, LN ₂)		
	Karbondioksit (CO ₂)		

2.5 İşlenmiş Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

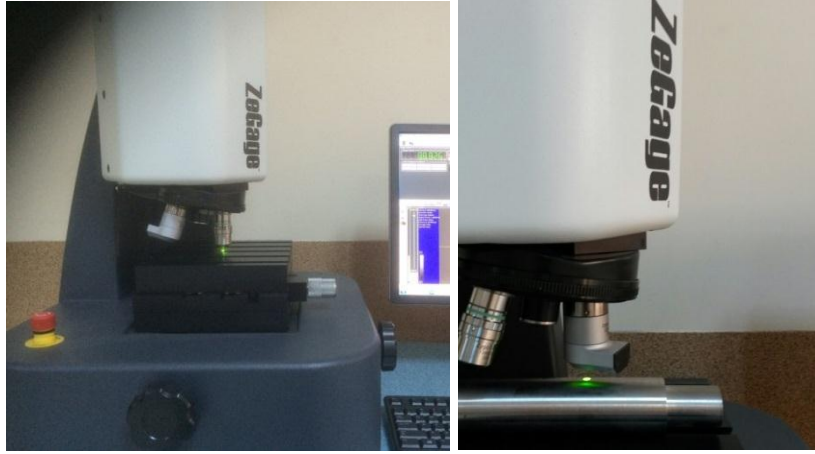
Deneysel çalışmalar kapsamında talaş kaldırma testleri yapılan parçaların yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Ölçümlerde parçaların Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, R_a , dikkate alınmıştır. Şekil 2.9 'da gösterilen Mitutoyo SJ-210 yüzey pürüzlülüğü cihazı ve ölçüm standı kullanılmıştır. Bir numunenin Artitmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü değerini belirlemek için dörtten az olmamak üzere ölçüm yapılmıştır. Sonrasında ise bu ölçümlerin ortalaması alınarak R_a değeri belirlenmiştir.



Şekil 2.9. Deneylerde kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

2.6 İşlenen Parçaların Yüzey Morfolojisi Analizi

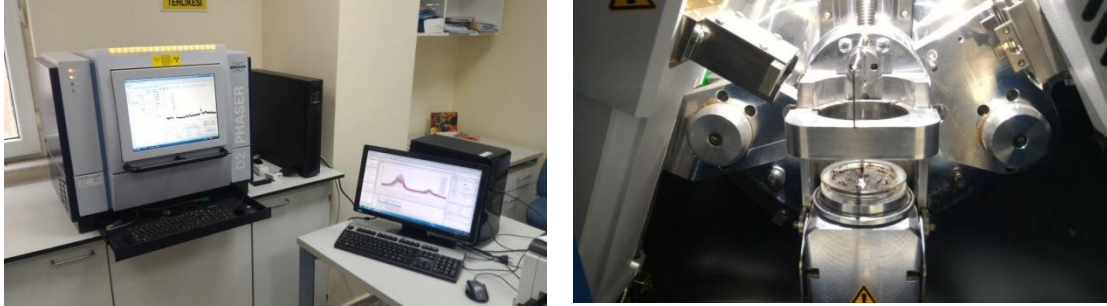
Tornalama operasyonu ile elde edilen numunelerin yüzey morfolojileri ise Zygo ZeGage temassız 3-D optik profilometre kullanılarak ölçülmüştür. Tek taramada 1.4 mm uzunluk ve 1.4 mm genişlik şeklinde tarama yapılmıştır. Kullanılan Zygo Zegage cihaz fotoğrafı Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.10. Zygo ZeGage temassız 3-D optik profilometre

2.7 XRD Faz Analizi

X-ışını difraksiyonu (XRD) ölçümleri için Bruker AXS Marka D2 Phaser cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.11). Faz analizi kapsamında gerçekleştirilen XRD ölçümlerinde 1,54060 Å dalga boyuna sahip $\text{CuK}\alpha$ katot kullanılmış, akım ve voltaj değeri sırasıyla 10mA ve 30kv olarak seçilmiştir. 2 Theta ölçüm aralığı literatür dikkate alınarak (Campo vd. 2016) 30-90° seçilmiştir. Ölçümler işlenmiş parçaların işlenen yüzeylerinden yapılmıştır.

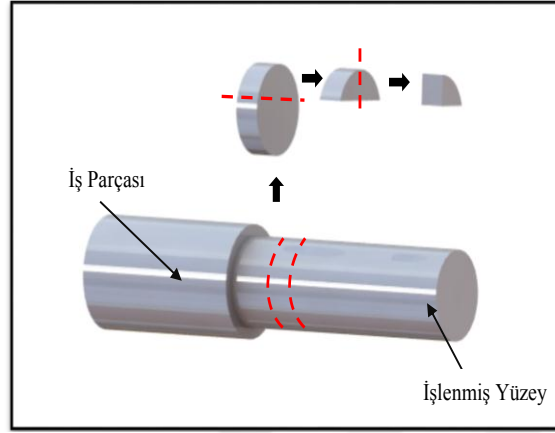


Şekil 2.11. XRD ölçüm sistemi ve ölçülen numunelere ait görüntü

2.8 İşlenen Parçaların Mikroyapısal ve Sertlik İncelemeleri için Metalografik Numune Hazırlama

İşlenen parçalar yukarıda verilen ölçümler yapıldıktan sonra tahribatlı muayene yöntemiyle metalografi analizleri için hazırlanmıştır. Tornalama ve dik kesme sonucu elde edilen işlenmiş parçalar Şekil 2.12’de gösterildiği gibi hassas kesme cihazı ile birkaç

aşamalı kesim yapılarak metalografi için hazırlanmıştır. Numunelerin dilimlenmesinde kullanılan hassas kesme cihazı Şekil 2.13’te görülmektedir.

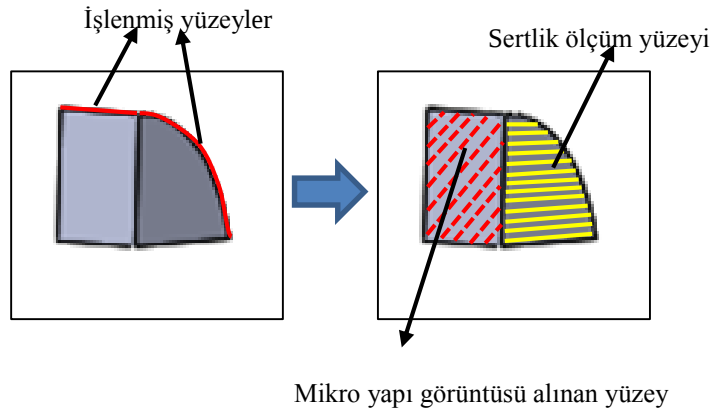


Şekil 2.12. İşlenen parçalardan metalografik numune hazırlama aşamaları



Şekil 2.13. İşlenen Ti-5553 alaşım malzemelerden metalografik numune hazırlama aşamasında kullanılan hassas kesme cihazı

Kesilen parçalarda mikrosertlik ve mikroyapı analizleri için Şekil 2.14’te gösterilen noktalardan ölçümler ve görüntüler alınmıştır.



Şekil 2.14. Mikrosertlik ve mikroyapı analizleri için hazırlanan numunedeki incelenen yüzeyler

Kesilen numuneler öncelikli olarak soğuk bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler Şekil 2.15’te fotoğrafı görülen 150 rpm devir ve numune üzerine 300 N yük uygulayabilen otomatik zımparalama ve parlatma cihazında zımparalanıp parlatılmıştır. Parlatılan numuneler 2ml HF+ 6ml HNO₃ + 92 ml H₂O reaktifi kullanılarak dağlanmıştır



Şekil 2.15. Multipol Advanced Plus Zımparalama ve Parlatma Cihazı

2.9 Sertlik Ölçümü ve Mikroyapı Görüntüleme

Hazırlanan metalografik numunelerin yüzey ve yüzeyaltı sertlikleri Future-Tech FM-310e model mikrosertlik cihazı (Şekil 2.18) kullanılarak yapılmıştır. Vickers yöntemiyle yapılan ölçümlerde 25g yük 15 saniye uygulama süresi tercih edilmiştir. Mikroyapının görüntülenmesi için Olympus BX51M marka optik mikroskop (Şekil2.16), Philips XL 30 SFEG marka Taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Şekil2.17) kullanılmıştır. Optik mikroskop ile alınan görüntülerde mikroyapısal değişimler tam olarak gözlemlenememiştir.

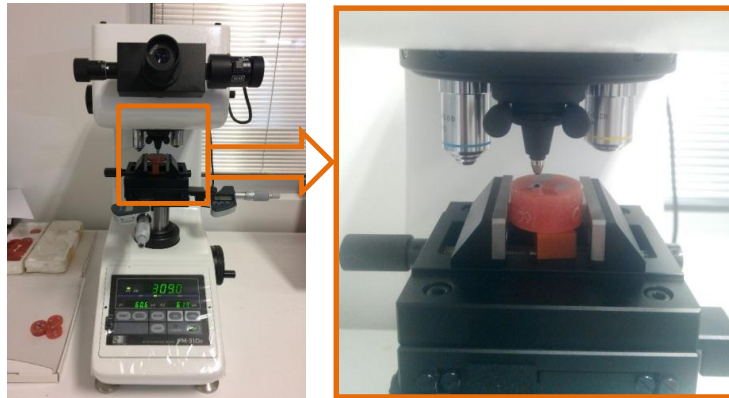
Dolayısı ile akabinde Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu ile numunelerin yüzeyden itibaren etkilenmiş katmanları tam olarak gözlemlenebilmiştir ancak tane boyutlarındaki değişimi görebilmek SEM görüntüleri ile mümkün olmamıştır.



Şekil 2.16 Olympus BX51M marka optik mikroskop



Şekil 2.17. Ti-5553 alaşım malzemesi numunelerinin incelendiği SEM cihazı



Şekil 2.18. Vickers Mikrosertlik ölçüm cihazı

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

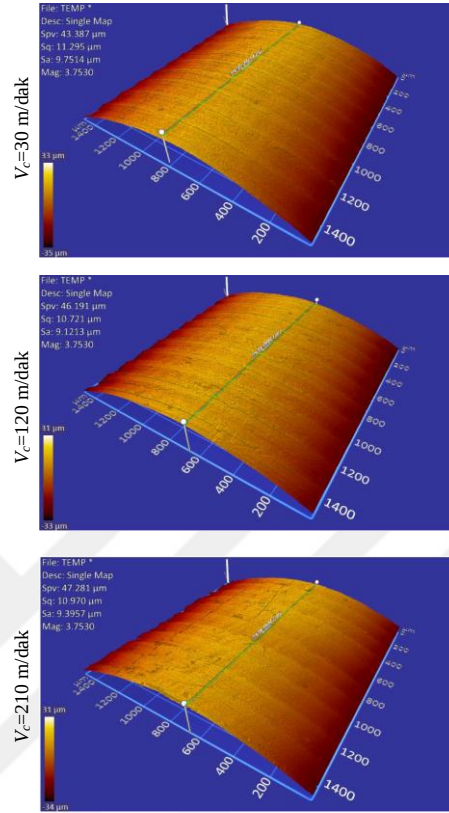
Yüzey bütünlüğü çalışması kapsamında eğik kesmede işlenen parçaların yüzey topografisi ve aritmetik ortalama yüzey pürüzlülükleri farklı kesme hızlarına, koşullarına ve aşınma miktarına bağlı olarak araştırılmış ve bulgular analiz edilmiştir. Tek paso deneylerinde elde edilen numelerin mikrosertliği, mikroyapısı ve faz dönüşüm davranışları araştırılmış ve elde edilen bulgular analiz edilmiştir. İlaveten eğik kesmede mikrosertlik, mikroyapı ve faz dönüşümünün serbest yüzey aşınması ile arasındaki ilişkide araştırılmıştır. Tüm bulgular bu bölümde sistematik olarak sunulmuştur.

3.1 İşlenmiş Numunelerin Yüzey Topografi Analizi

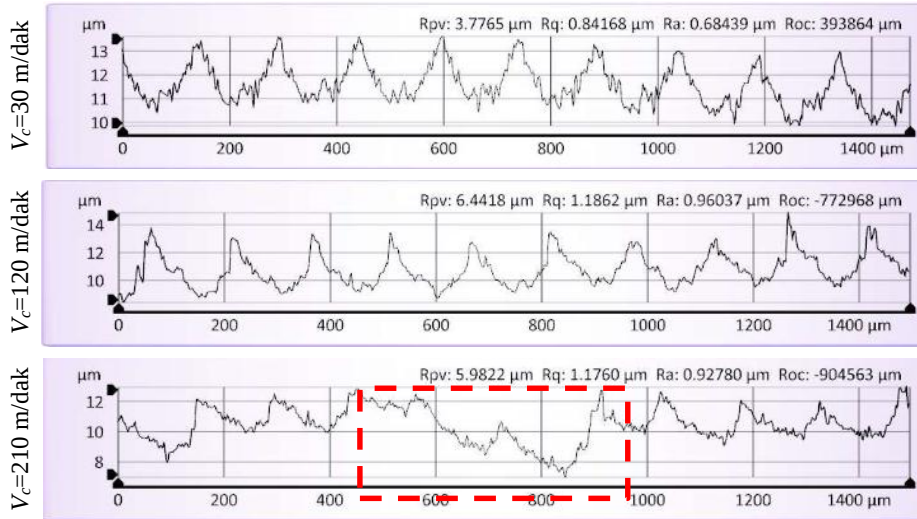
3.1.1 Soğutucu ve Yağlayıcıların İşlenen Parçanın Yüzey Topografisine Etkisi

Farklı kesme hızlarında ve koşullarında işlenen parçaların 3 boyutlu yüzey topografisi çıkarılmıştır. İşlenen yüzeylerin topografisi ile özellikle literatürde henüz kapsamlı çalışmaların yapılmadığı bu Ti-5553 alaşım malzemesinin işlenen yüzeyinde ne tür problemlerle karşılaşıyor bunun analiz edilmesi amaçlanmıştır. Şekil 3.1’de kuru kesme koşulunda işlenen parçaların topografisi ve Şekil 3.2’de ise profili görülmektedir. Üç farklı kesme hızında işlenen parçaların topografisinin görüldüğü şekilde çok önemli farklılıklar gözlemlenmemiştir. 30 m/dak kesme hızında ilerleme hızları daha sistematik devam ederken, yüksek kesme hızlarında bölgesel değişimler söz konusudur. Örneğin 210 m/dak kesme hızında 3-D topografide görülen bölgesel çapsal değişim veya süreksizlik denilebilecek durum. Şekil 3.2’deki profili incelendiğinde de (kırmızı kesik çizgi ile çizilmiş dikdörtgen içindeki alan) rahat şekilde görülmektedir. Gözlemlenen diğer bir sorun ise, yüksek kesme hızlarında işlenen yüzeyde görülen küçük talaş parçacıkları ki bu parçacıklar ağız birikintisinden kopup iş parçası yüzeyine yapışan parçalardır. İlaveten işlenen yüzeyde talaş çiziklerine rastlanmıştır. Not edilmesi gereken husus, kuru kesmede talaş kırılmayıp süreli ve uzun olarak oluşmaktadır ve bunun iş parçası yüzeyine etkisi de Şekil 3.1’de görülmektedir. Şekil 3.3’te kesme sıvısı kullanılarak yapılan talaş kaldırma sürecinde elde edilen parçanın yüzey topografisi 3-D olarak sunulmuş ve Şekil 3.4’te ise bu topografinin bir noktadan profili görülmektedir. Kesme sıvısı kullanılarak işlenen parçaların yüzey topografisi incelendiğinde işlenen yüzeyde önemli bir sorun görülmemektedir. Ancak yüksek kesme hızında ($V_c = 210$ m/dak) kesici takım burun

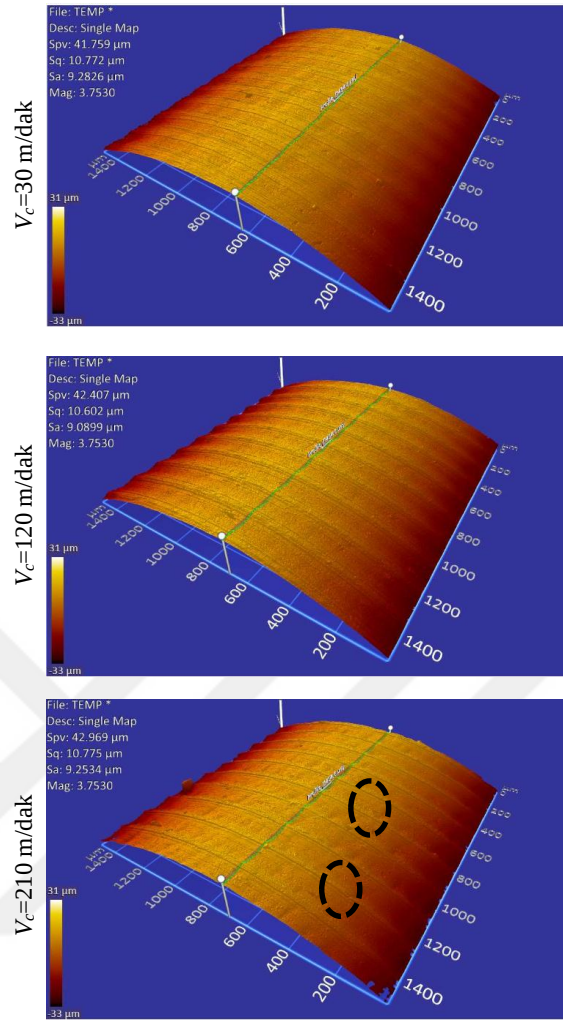
bölgesinde aşınmadan dolayı ilerleme dairesi üzerinde bölgesel çöküntüler (kesikli çizgiyle siyah renkte çizilmiş dairelerle gösterilmiştir) meydana gelmiştir.



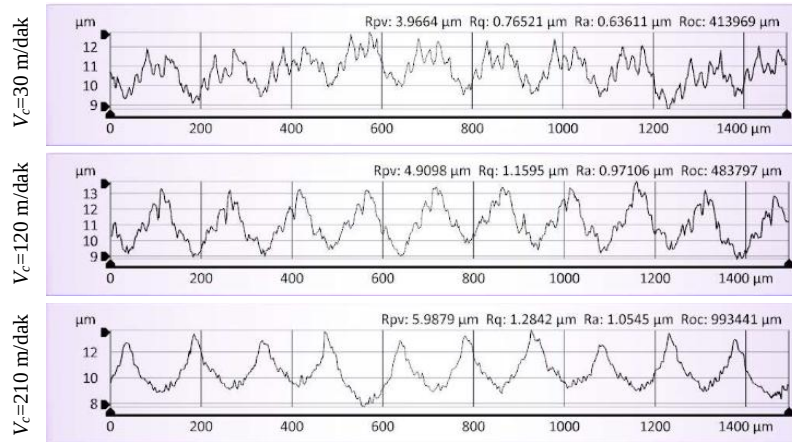
Şekil 3.1. Kuru kesme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi



Şekil 3.2. Kuru kesme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili



Şekil 3.3. Kesme Sıvısı şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi



Şekil 3.4. Kesme Sıvısı şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili

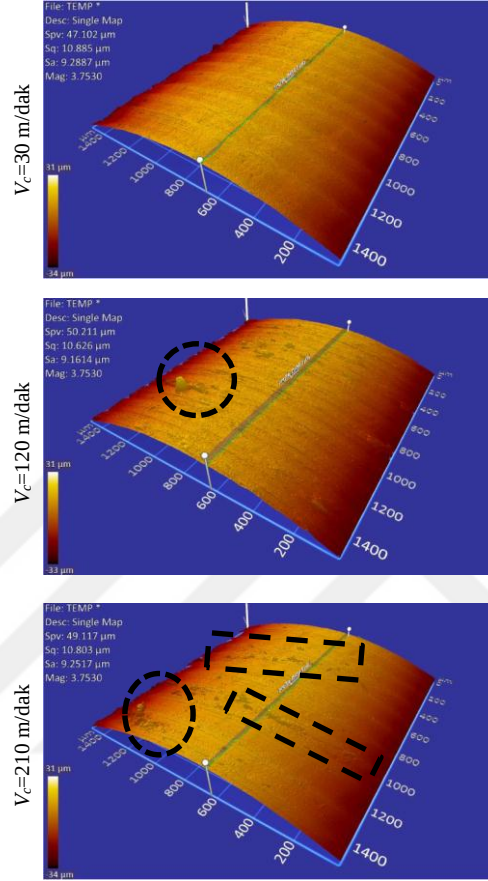
Şekil 3.5 ve 3.6’da MQL yardımıyla yapılan talaş kaldırma sonucu elde edilen parçaların 3-D yüzey topografisi ve bir noktadan profili sırasıyla sunulmuştur. Kuru ve kesme sıvısında karşılaşılan yüzeyden farklı olarak MQL uygulamasında 120 m/dak kesme hızında ağız birikintisi kırıntılarının (debris) işlenen parça yüzeyine yapıştığı net olarak görülmektedir. Kesici takımların burun bölgelerinden alınan optik mikroskop görüntüleri bu tartışmayı desteklemektedir. İşleme performansı bölümünde Şekil 95’te sunulan optik mikroskop görüntülerinde MQL ile işlemede tüm kesme hızlarında ağız birikintisi görülmekte sadece 120 m/dak’da ağız birikintisi görülmemektedir. Esasında bu topografi bulguları gösteriyor ki o kesme hızında ağız birikintisi oluşuyor ama kesici takım ağızında biriken talaşçıklar veya diğer bir ifade ile talaş kırıntıları kesici takım talaş arayüzeyinden sıyrılıp iş parçası yüzeyine yapışıyor. Ayrıca MQL ile talaşlı imalat sürecinde aşınmanın oldukça agresif olduğunu bir önceki bölümde göstermiştik. Aşınmanın artması özellikle yüksek kesme hızında (210 m/dak) işlenen yüzeyde bölgesel hasarların oluşmasına neden olduğu görülmektedir (Şekil 160, 210 m/dak), ki bu durum Şekil 3.6’de yüzey profiline de kısmen yansımıştır.

Karbondioksit (CO₂) topografyası irdelendiğinde (Şekil 3.7), özellikle yüksek kesme hızında yine ağız birikintisinin iş parçası yüzeyine devir yönü boyunca dağıldığı durumlar gözlemlenmiştir. Ayrıca takım aşınmasında artış ve burun yarıçapının aşınmayla daha büyümesi sonucunda ilerleme izlerinin (Peak and valley) derinliğinin azaldığı görülmektedir (Şekil 3.8).

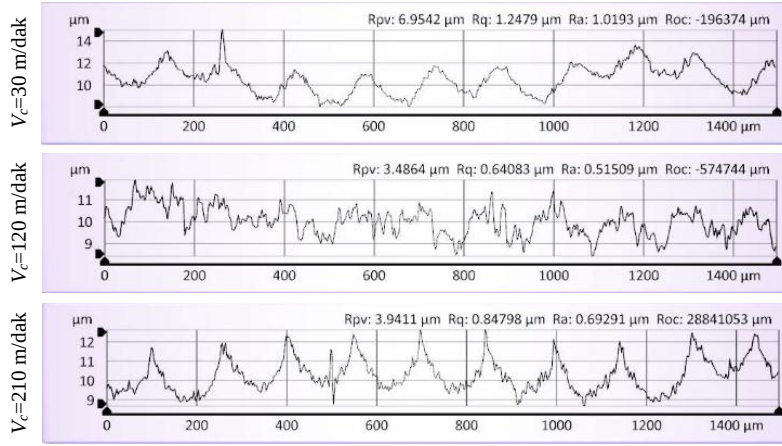
Kriyojenik işlemeyle elde edilen parçanın 3-D topografisi Şekil 3.9’da sunulmuştur. Özellikle 120 m/dak ve kısmen 210 m/dak’da ağız birikintisinin işlenen yüzeye sıvanarak, işlenen yüzey topografisini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Bu durum iş parçası yüzey pürüzlülüğüne de yansımış ve ortalamanın oldukça üstünde yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür (Şekil 3.10).

Şekil 3.11’de yüksek basınçlı soğutma kullanılarak yapılan talaşlı imalat sürecinde elde edilen parçanın yüzey topografisi sunulmuştur. Ayrıca Şekil 3.12’de ise bu topografiden alınan profil görülmektedir. Diğer yöntemlerde elde edilen yüzeylerin topografileri ile kıyaslandığında daha kararlı ve arzu edilen özelliklerde yüzey elde edildiği görülmektedir. Ayrıca not edilmesi gereken husus, yüksek basınçlı soğutma ile elde edilen yüzey topografisi, kesme sıvısı ile elde edilen yüzey topografisi ile benzerlikler göstermiştir. 210

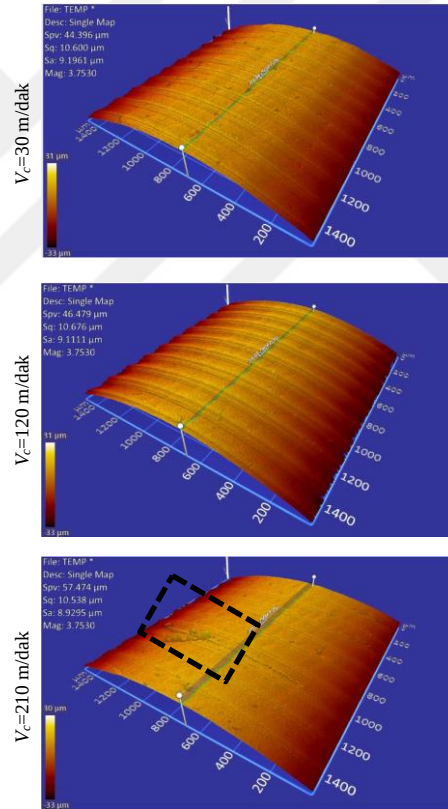
m/dak kesme hızında oluşan bölgesel çöküntüler oluşmuştur ki benzeri sorunlar kesme sıvının kullanıldığı durumda da oluşmaktaydı. Onun haricinde, sürekli ve kararlı bir profil elde edilmiştir.



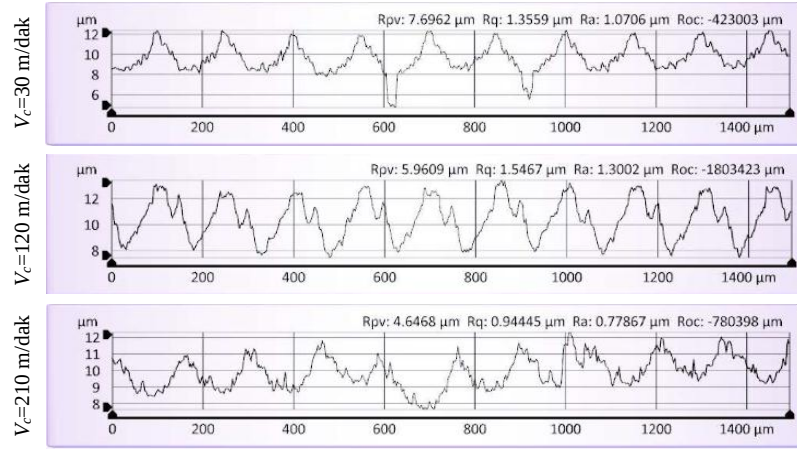
Şekil 3.5. MQL ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi



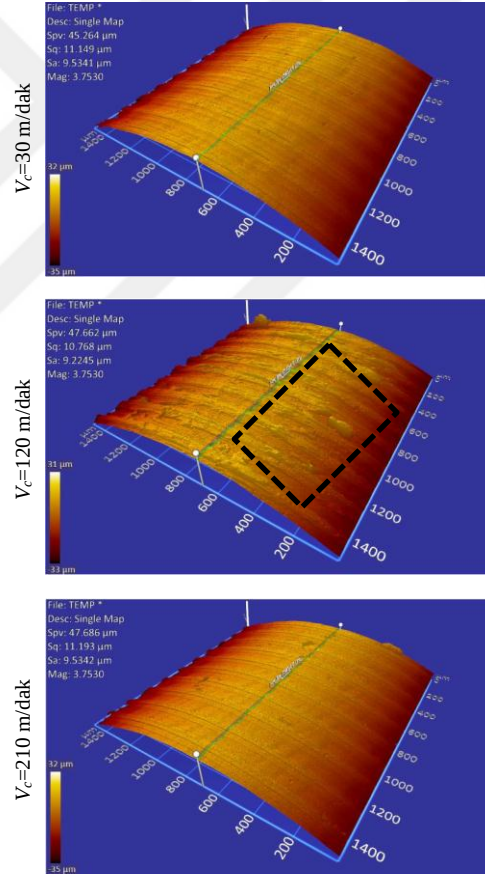
Şekil 3.6. MQL ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili



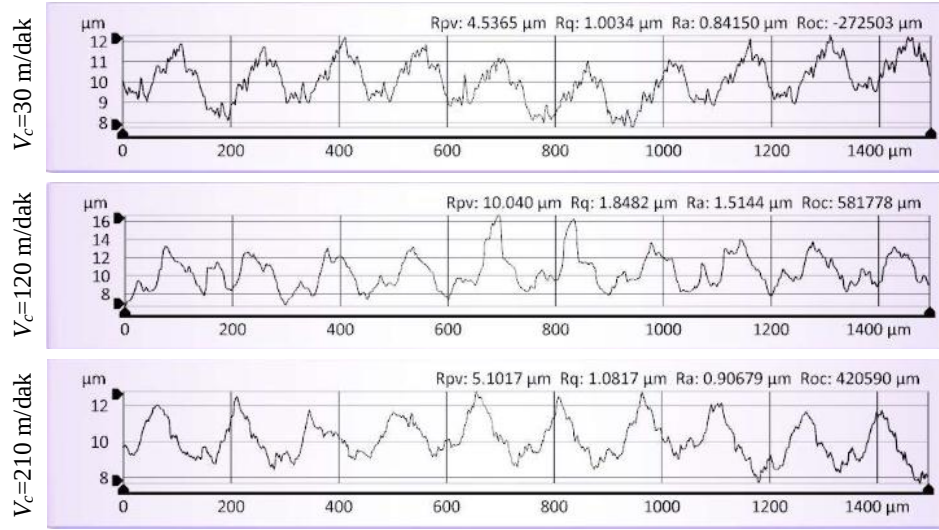
Şekil 3.7. CO₂ ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi



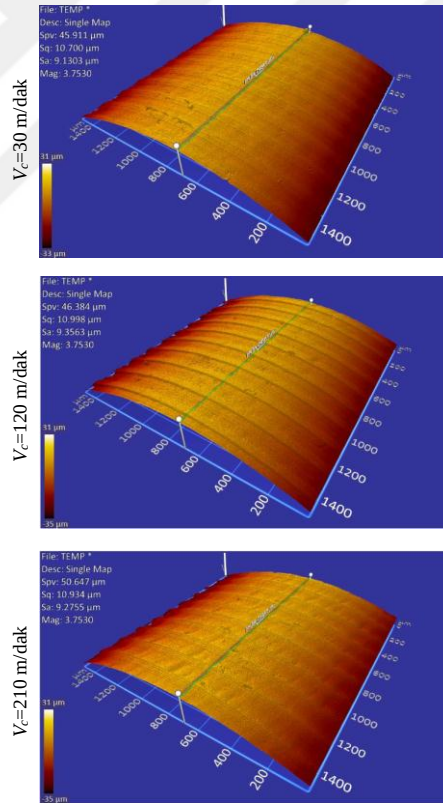
Şekil 3.8. CO₂ ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili



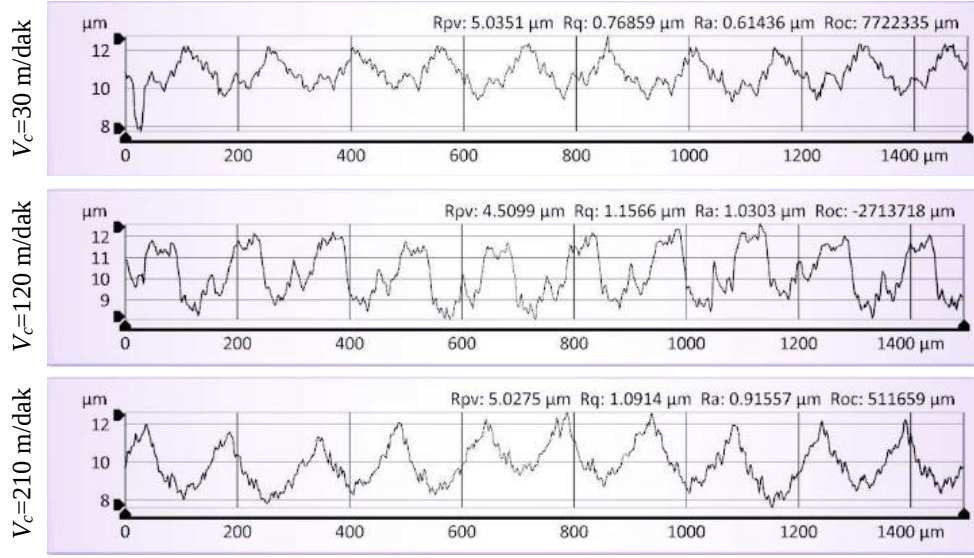
Şekil 3.9. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi



Şekil 3.10. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili



Şekil 3.11. HPC ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının 3-D yüzey topografisi



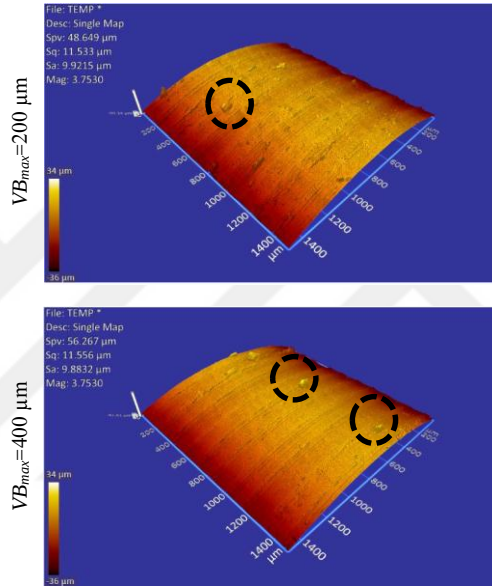
Şekil 3.12. HPC ile işleme şartlarında farklı hızlarda elde edilen iş parçasının yüzey profili

3.1.2 Kesici Takım Aşınmasının İşlenen Parçanın Yüzey Topografisine Etkisi

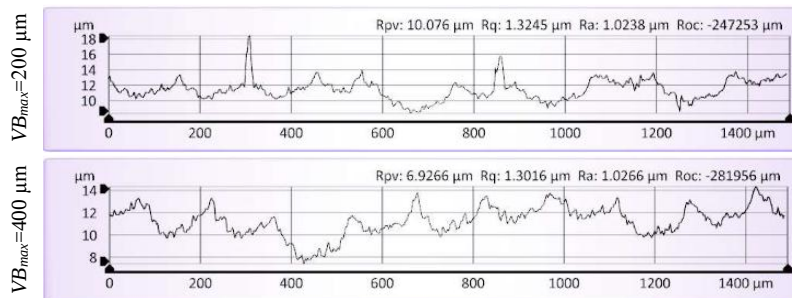
Takım aşınması testlerinde 90 ve 120 m/dak kesme hızlarında ve 1.2 mm kesme derinliğinde işlenen parçalarda işleme esnasında kesici takım serbest yüzey aşınmasına bağlı olarak yüzey topografisinde aşınma elde edilen numunelerin, serbest yüzey aşınmasının yüzey topografisine olan etkisini belirlemek için kesici takım serbest yüzey aşınması 200,400 ve 600 μm değerlerine ulaştığında işlenen parçaların yüzey topografisi çıkarılmıştır.

Şekil 3.13'te kuru kesme koşulunda işlenen parçaların topografisi ve Şekil 3.14'te ise profili görülmektedir. Serbest yüzey aşınması yaklaşık $VB_{max}=200$ ve 400 μm olduğu zaman işlenen numunelerin topografilerinin sunulduğu şekilde 600 μm aşınması yoktur çünkü kesici takım serbest yüzey aşınması 600 μm 'ye ulaşmadan kesici takım burun bölgesi tamamen kırılmıştır. Dolayısı ile burada sadece 200 ve 400 μm 'deki bulgular paylaşılmıştır. Bu topografilerde belirgin olan bir özellik ilerleme izlerinin neredeyse tamamen kaybolduğudur. Dolayısı ile kararlı girinti ve çıkıntılar (peak ve valley) görülmemektedir. Bu durumu şekil 3.14'teki iki boyutlu profilde daha net görmek mümkündür. İlâveten talaş kırıntılarının işlenen yüzeye yapıştığıda net olarak görülmektedir.

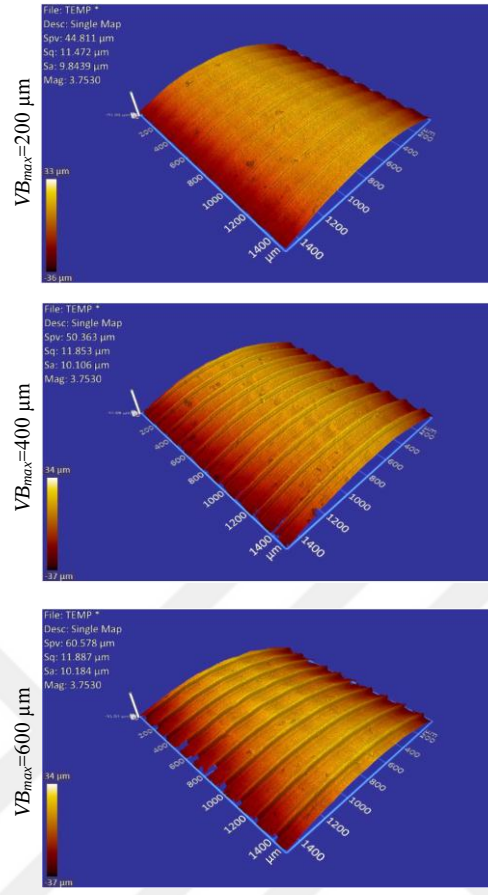
HPC kesme koşulunda $V_c=90$ m/dak'da gerçekleştirilen takım ömrü deneylerinde elde edilen numunelerin serbest yüzey aşınmasına bağlı olarak yüzey topografisindeki değişimler Şekil 3.15'te verilmiştir. Deney numunelerinden elde edilen görüntüler incelendiğinde ilerleme izlerinin kuru kesmeye nazaran oldukça belirgin olduğu görülmektedir. Artan aşınma oranı ile yüzey topografisinde özellikle ilerleme izlerinde girinti ile çıkıntı arasındaki yükseklik farkının arttığı, diğer bir ifade ile derin girintiler oluştuğu görülmektedir (Şekil 3.16). Bu durumda iş parçası yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır.



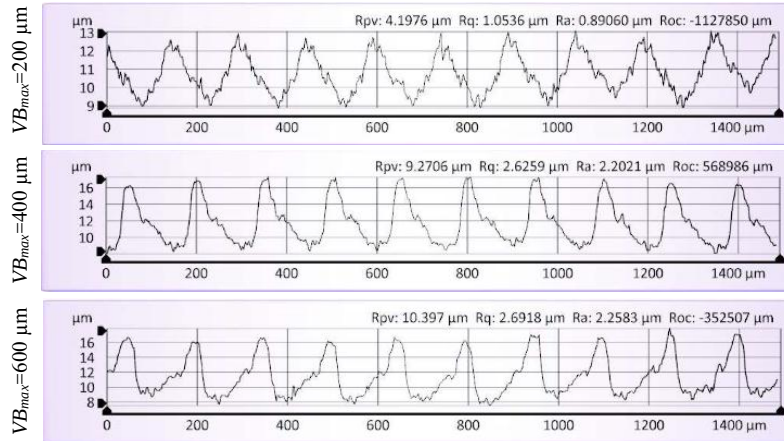
Şekil 3.13. Kuru kesme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



Şekil 3.14. Kuru kesme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



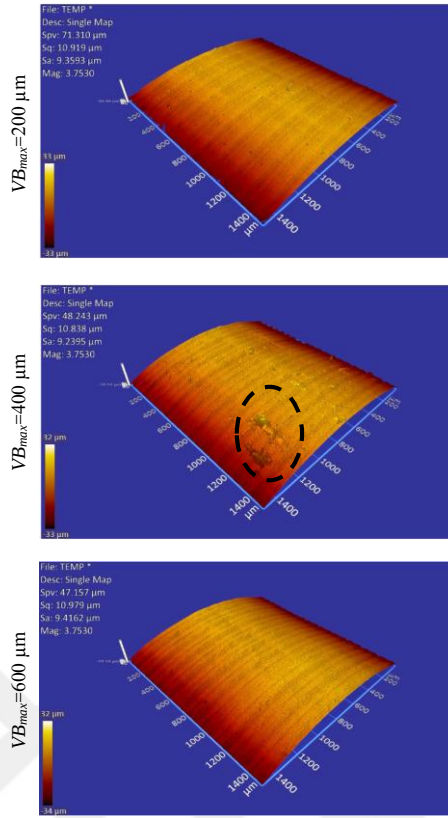
Şekil 3.15. HPC ile işleme şartlarında, farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



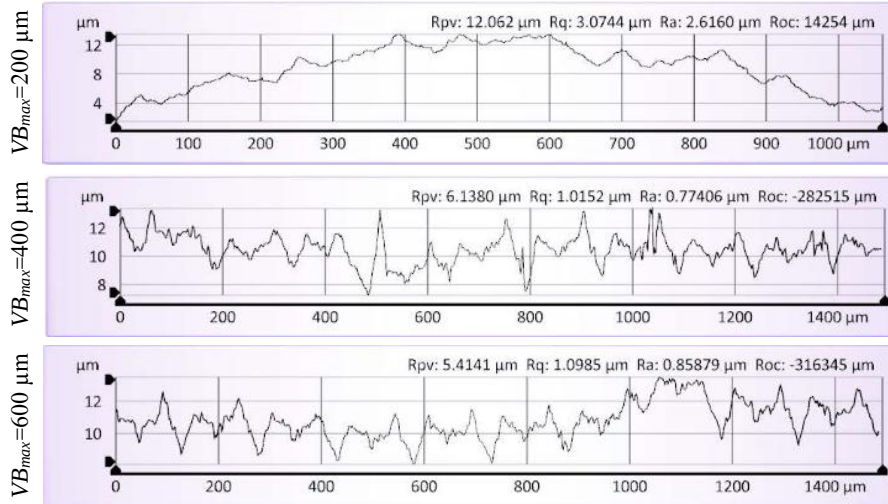
Şekil 3.16. HPC ile işleme şartlarında, farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)

Şekil 3.17 ve 3.18’de kriyojenik soğutma koşulu ile gerçekleştirilen talaş kaldırma operasyonunda farklı aşınma miktarlarında elde edilen parçaların 3 boyutlu yüzey topografisi ve bir noktadan profili sırasıyla sunulmuştur. Kriyojenik kesme koşulunda 400 µm serbest yüzey aşınmasında işlenen yüzeyde oldukça fazla miktarda ağız birikintisinden koptuğu düşünülen talaş kırıntıların işlenen parçanın yüzeyine yapıştığı görülmektedir. İlaveten aşınmanın etkisiyle özellikle de kesici takım burun bölgesinde burun aşınmasının etkisiyle ilerleme izlerinin yüzeyde belirsizleştiği görülmektedir. 2-D yüzey profili incelendiğinde ise yüzeyin profilinde bozulmalar ve süreksizlikler olduğu görülmektedir.

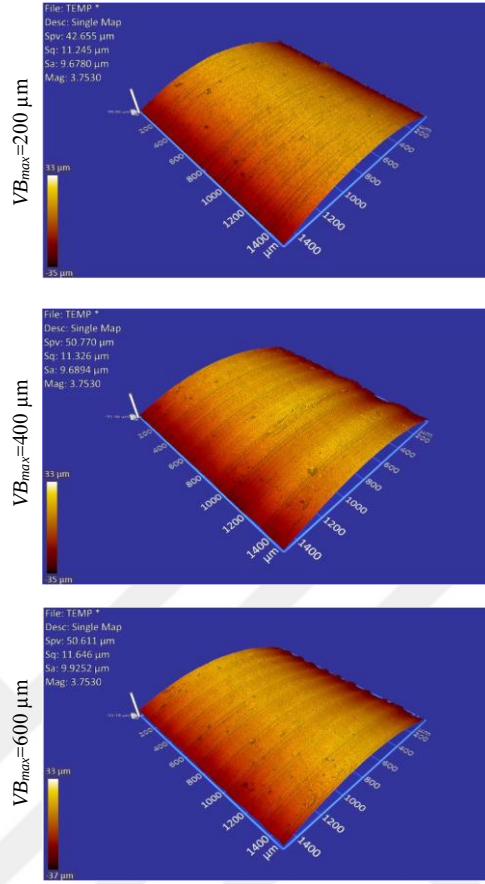
90 m/dak kesme hızında ve 1.2 mm kesme derinliğinde yapılan talaş kaldırma testlerinde aşınmaya bağlı yüzey topografi analizinde son olarak MQL kesme koşulundaki değişim Şekil 3.19’da sunulmuştur. Elde edilen topografinin 2-D profili ise Şekil 3.20’de sunulmuştur. Kuru kesmede elde edilen yüzey topografisine benzer bir yüzey MQL kesme koşulunda da elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ilerleme izlerinin belirsizleştiği ve girinti ve çıkıntıların özellikle 400 µm aşınmada iş parçası boyutsal doğruluğunu etkileyebilecek noktada olduğu görülmektedir. Şekil 3.20’de de görüleceği üzere tornalama sonucu beklenen yüzey topografisinden önemli derecede saplamaların meydana geldiği görülmektedir. Özellikle artan aşınma ile bu farklılık daha da belirgin hale gelmiştir. Sonuç olarak 90 m/dak kesme hızında yapılan talaş kaldırma sürecinde aşınmanın işlenen parçaların yüzey topografilerinde önemli değişimlere sebep olduğu görülmektedir. Bu değişimler genellikle ilerleme izlerinin belirginleşmesi ki bunun temel sebebi kesici takım burun yarıçapının aşınmayla daha da büyümesidir. İlaveten kesici takım uç geometrisinin bozulmasıyla ilerlemeden daha büyük çıkıntılar ve girintilerin oluşması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Aşınmanın etkisiyle kesici takım ağız bölgesinde yığılma ağız oluşumu ve buradan kopan talaş kırıntılarının iş parçasında işlenen yüzeye yapışması gibi sorunlarda gözlemlenen belirgin sorunlar arasındadır.



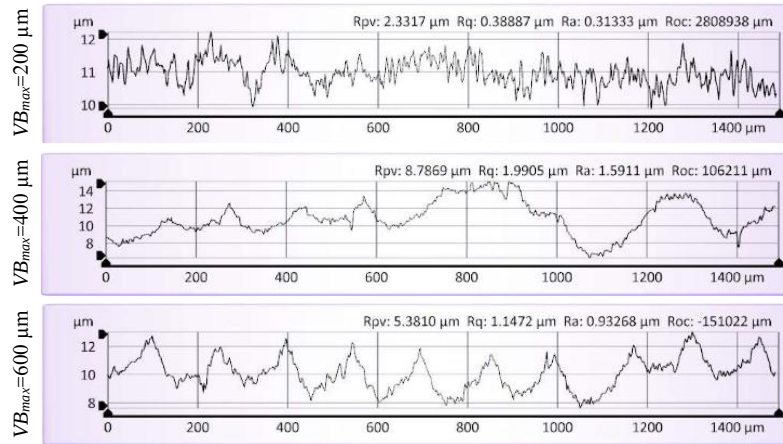
Şekil 3.16. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=90\ \text{m/dak}$, $a_p=1.2\ \text{mm}$)



Şekil 3.17. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=90\ \text{m/dak}$, $a_p=1.2\ \text{mm}$)



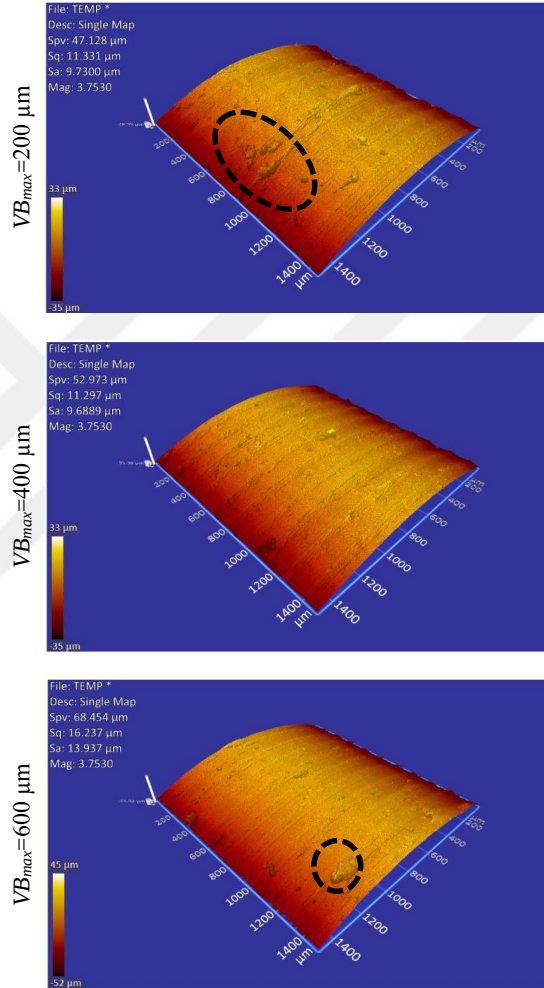
Şekil 3.18. MQL ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



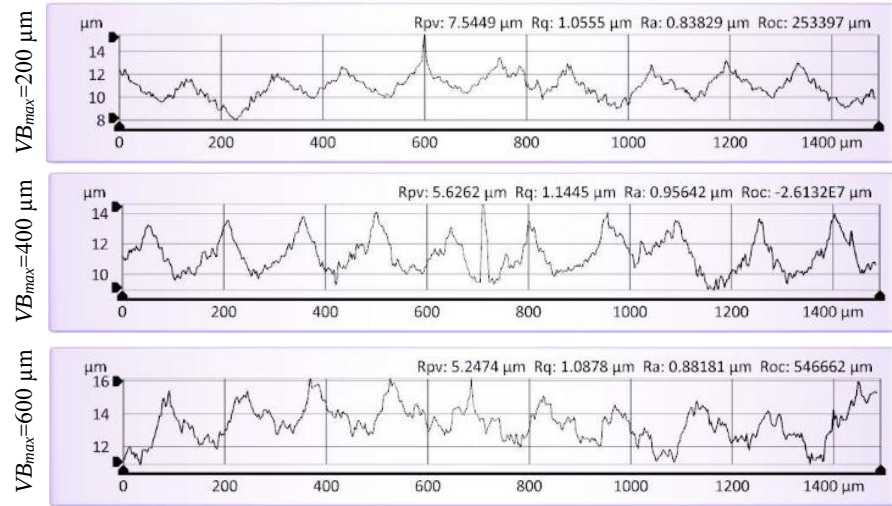
Şekil 3.19. MQL ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)

Kesme hızının 120 m/dak olarak seçildiği takım ömrü testleri esnasında aşınmaya bağlı olarak işlenen parçaların yüzey topografilerindeki değişim Şekil 3.21, 3.23, 3.25, 3.27 ve 3.29'da kuru kesme, kesme sıvısı, HPC, kriyojenik ve MQL koşulları için sunulmuştur. Aynı şekilde ilgili topografilerin iki boyutlu profilleri ise Şekil 3.22, 3.24, 3.26, 3.28 ve 3.30'da sunulmuştur. Başta kuru kesme (Şekil 3.21) ve MQL koşulu (Şekil 3.29) olmak üzere hemen hemen tüm koşullarda yığma ağızla oluşan talaş kırıntılarının işlenen parçaların yüzeylerine yapıştığı gözlemlenmiştir. Bu parçacıklar özellikle son paso operasyonu ile temizlenmesi gereken parçacıklardır dolayısı ile ilave bir pasoya ihtiyaç duyulacağı için arzu edilmeyen bir durumdur. 90 m/dak kesme hızındaki bulgulara benzer şekilde bu kesme hızındada artan aşınma oranının iş parçası yüzey topografisinde kayda değer değişimlere neden olduğu görülmektedir. Özellikle kararlı ve tekrarlı ilerleme izlerinin bölgesel olarak kaybolduğu kuru (Şekil 3.21) kesmede ve MQL uygulamalarında (Şekil 3.29) gözlemlenmiştir. Bunun temel nedeni burun yarıçapının aşınmayla birlikte büyümesi ve burun geometrisinin değişmesidir bu durum sonucunda ilerleme izlerindeki kararlılık bozulmaktadır. Kesme sıvısının uygulandığı ve aşınmanın 400 µm civarında olduğunda iş parçasından alınan topografik görüntüde de ilerleme yönüne paralel olarak ilerleme izleri üzerinde, özelliklede çıkıntılarda vuruntu vari isler görülmektedir, bunlarda burun aşınması ve yığma ağızın eş zamanlı meydana geldiği durumlarda karşılaşılan bir yüzey topografisi olduğu değerlendirilmektedir. Kriyojenik kesme esnasında artan aşınmanın, özellikle 600 µm civarında iş parçası profilinde önemli değişimlere neden olduğu görülmektedir. Örneğin aşınma 200 µm iken girinti ile çıkıntı arasındaki yükseklik 3.7 µm iken, bu değer 600 µm aşınmada 12.2 µm'ye kadar çıkmıştır. Kesme koşulları açısından değerlendirildiğinde diğer tüm koşullara nazaran yüksek basınçlı soğutma ile yapılan talaş kaldırma esnasında kesici takım serbest yüzey aşınmasında artışın iş parçası topografisine etkisinin sınırlı olduğu görülmektedir. Diğer koşullarla kıyaslandığında özellikle yüksek basınçlı soğutmada aşınmanın ilerleyişinin daha düzenli ve belli bir geometride olmasının işlenen parçanın topografisinde ani ve sık değişimlere engel olduğu düşünülmektedir.

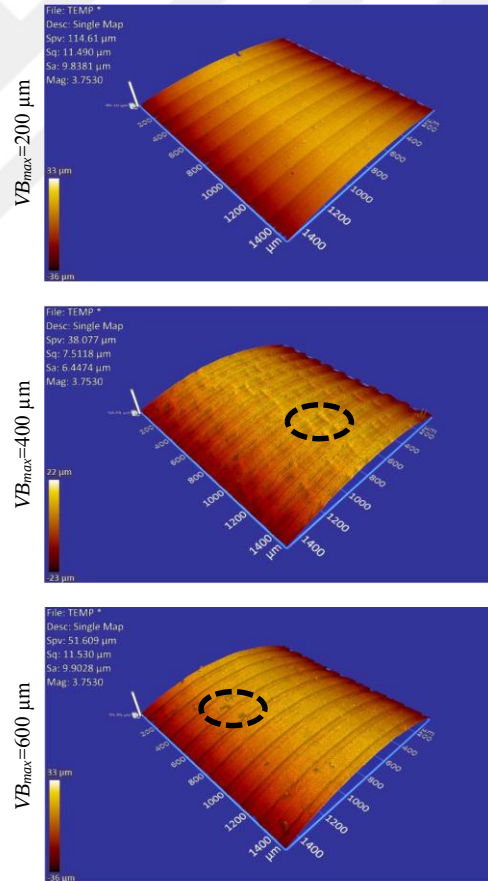
Sonuç olarak yapılan çalışma, Ti-5553 alaşım malzemesinin işlenmesinde, kesici takım aşınmasının işleme zamanı ile değişimine bağlı olarak işlenen parçaların yüzey topografilerinde değişime sebep olduğu net olarak görülmektedir. Daha kararlı ve kontrol edilebilir topografilerin yüksek basınçlı soğutma ve nispeten kriyojenik koşullarda elde edilebildiği görülmüştür. Bu durum bahsi geçen koşullardaki aşınmanın ilerleyişinin kararlı olması ve ani değişim göstermemesi ile ilgilidir.



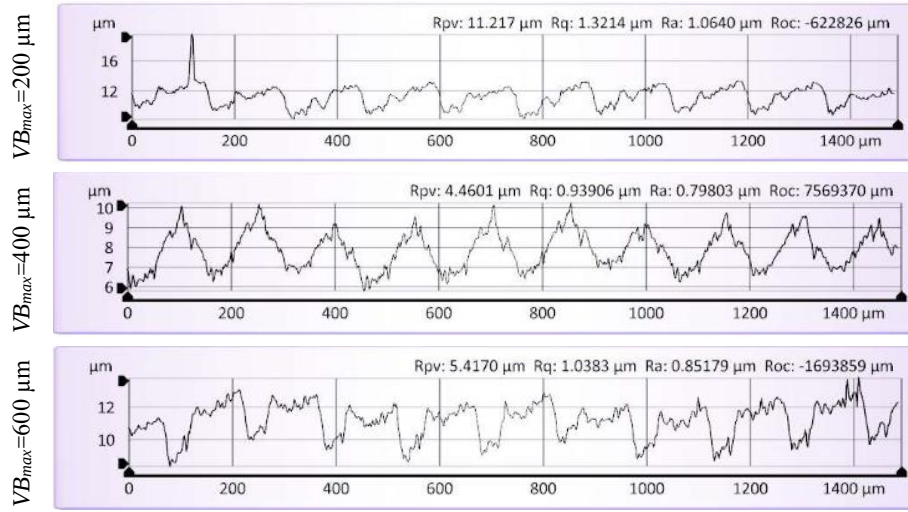
Şekil 3.20. Kuru kesme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



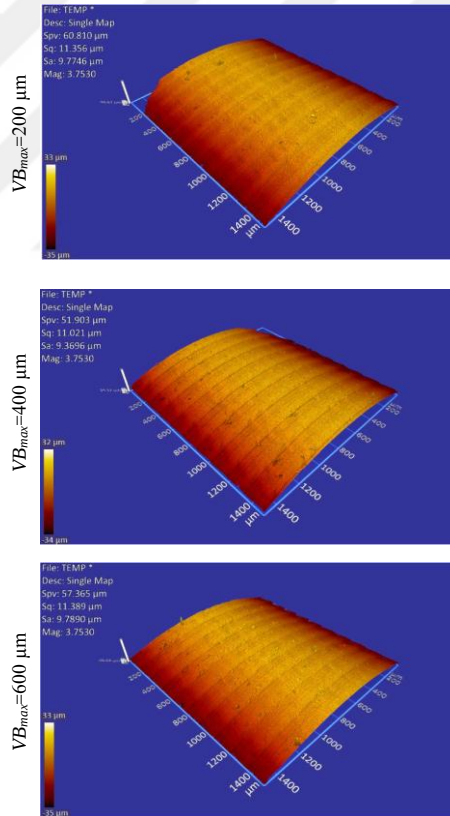
Şekil 3.21. Kuru kesme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



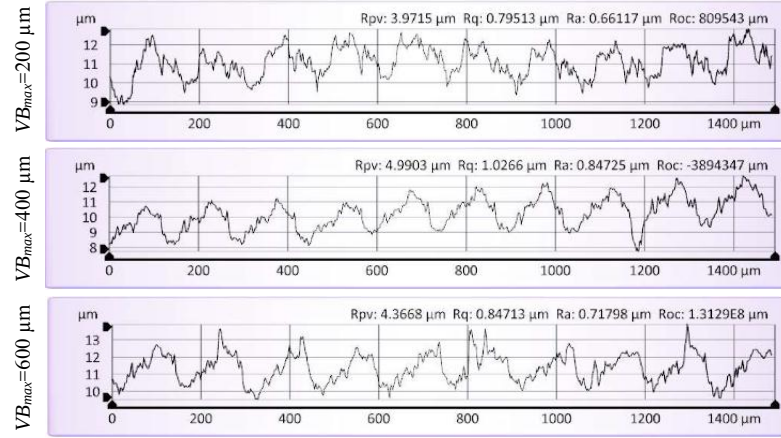
Şekil 3.22. Kesme sıvısı şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



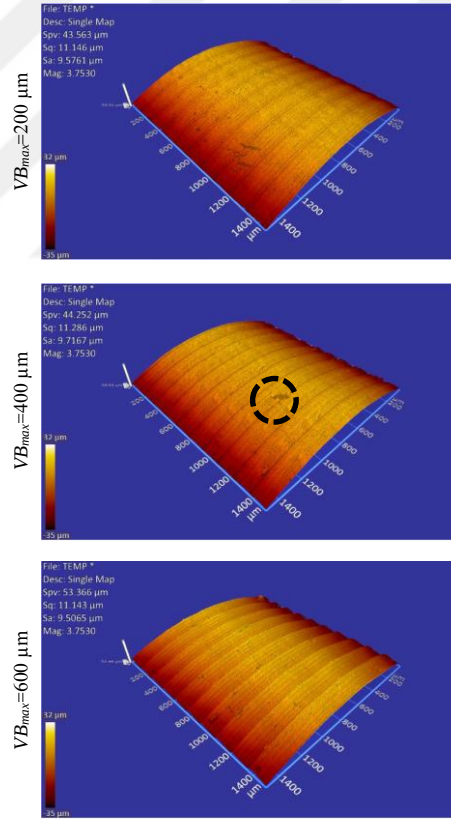
Şekil 3.23. Kesme sıvısı şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



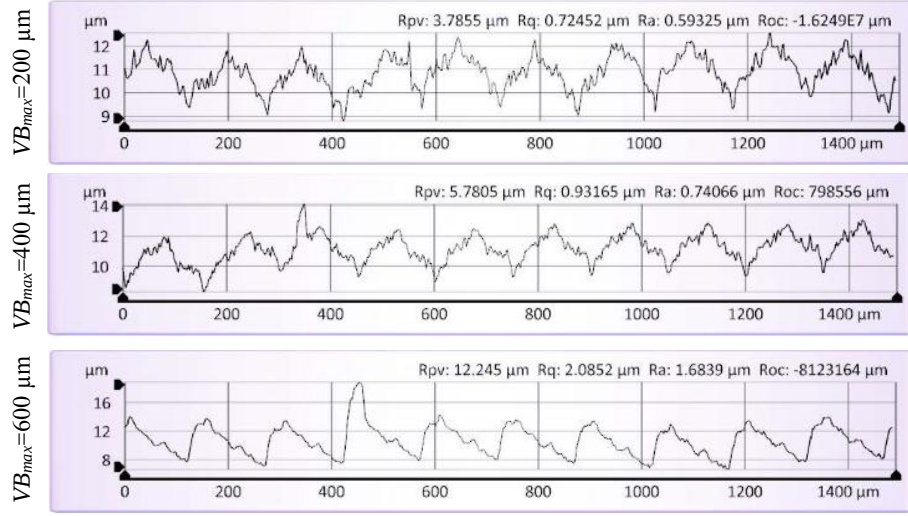
Şekil 3.24. HPC ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



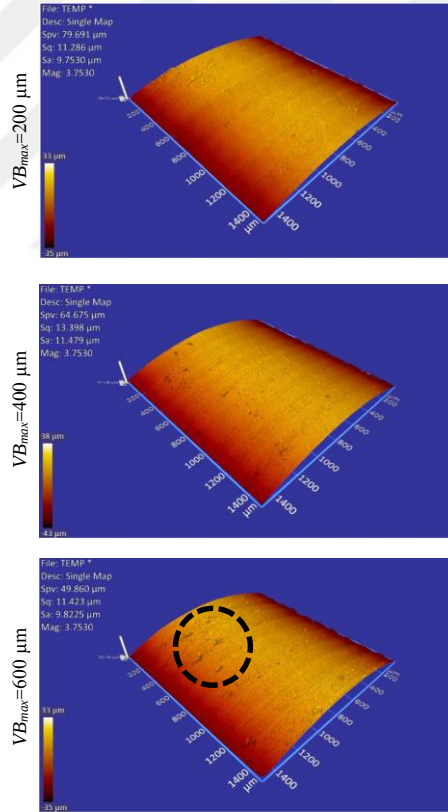
Şekil 3.25. HPC ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



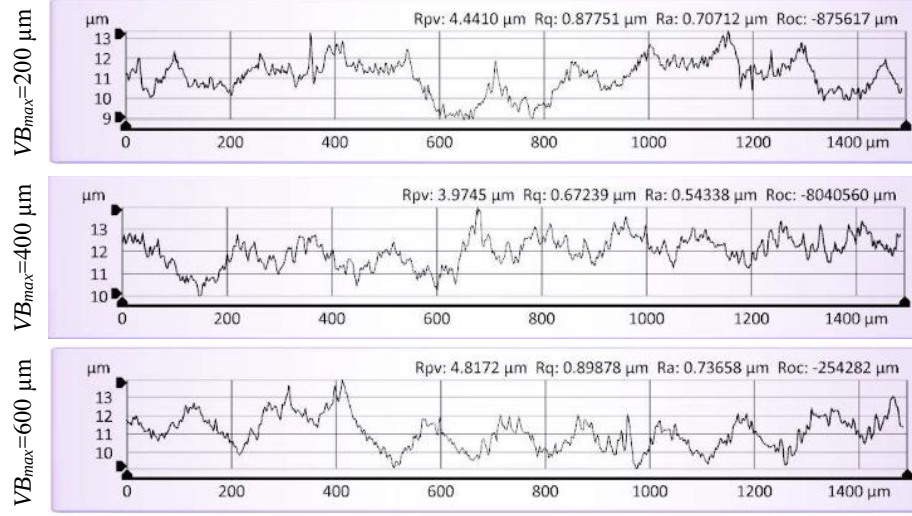
Şekil 3.26. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



Şekil 3.27. Kriyojenik ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



Şekil 3.28. MQL ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının 3D yüzey topografisi ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)



Şekil 3.29. MQL ile işleme şartlarında farklı aşınma miktarlarında elde edilen iş parçasının yüzey profili ($V_c=120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)

3.2 Yüzey Pürüzlülüğü Analizi

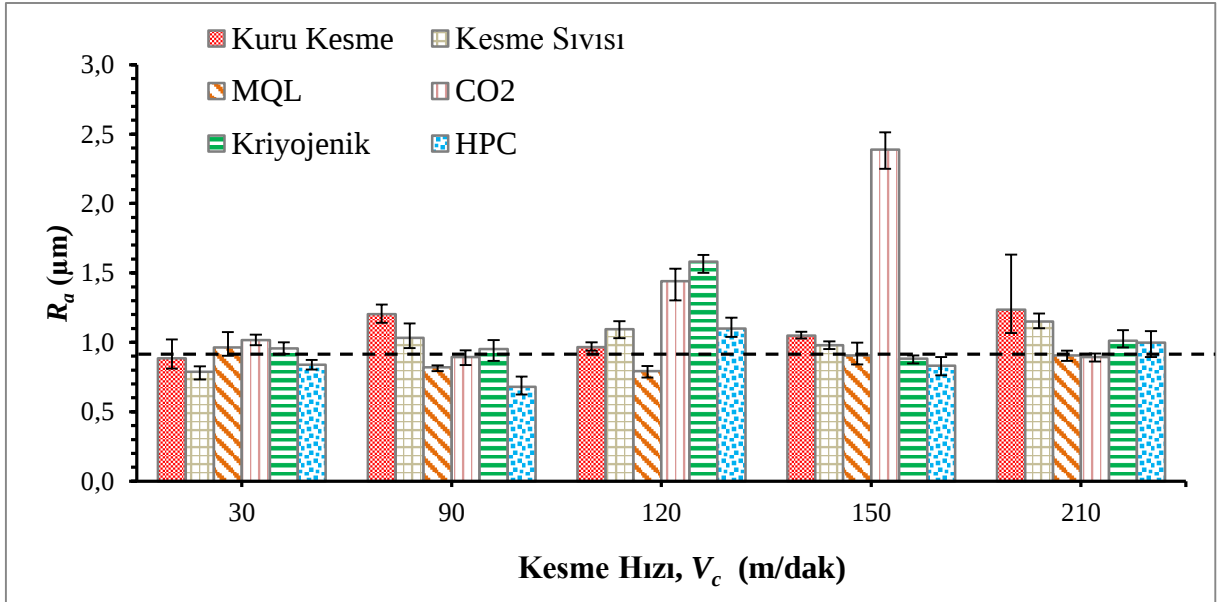
Ti-5553 alaşım malzemesinin eğik kesme operasyonunda tek pasoda farklı soğutucu ve yağlayıcıların etkisi ile çoklu pasoda aşınmaya bağlı olarak aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen değişimler bu bölümde sunulacaktır.

3.2.1 Soğutucu ve Yağlayıcıların İşlenen Parçanın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Farklı soğutucu ve yağlayıcılar kullanılarak 1.2 mm talaş derinliği, 0.15 mm/dev ilerleme miktarı ve 30-90-120-150-210 m/dak kesme hızı değerlerinde gerçekleştirilen deneyler neticesinde iş parçası yüzeyinden ölçülen aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 186'da sunulmuştur. Elde edilen bulgular kesme hızının iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde çok belirgin bir etkisinin bulunmadığını göstermektedir. Tüm kesme hızı değerleri için elde edilen sonuçlar incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yüksek basınçlı soğutma (HPC) koşulu ile elde edildiği görülmektedir. HPC koşulu ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri haricinde en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin MQL kesme koşulu kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde elde edildiği görülmektedir. Düşük (30 m/dak) ve yüksek (210 m/dak) kesme hızı değerlerinde tüm kesme koşulları için benzer aşınma mekanizmalarının görülmesi yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının bu koşullar altında birbirine yakın değerlerde olmasına neden olmuştur. Aşağıdaki ampirik formül kullanılarak tahmini Ra değeri hesaplanmıştır (Shaw 2005).

$$R_a = \frac{0.0321xf^2}{r_c} \quad (1)$$

Burada f ilerleme ve r_c ise kesici takım burun yarıçapını ifade etmektedir. Bu ampirik denklemle hesaplandığında elde edilen değer yaklaşık $0.9 \mu\text{m}$ olarak çıkmaktadır. Hesaplanan değer şekilde kesikli siyah çizgiyle gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere birçok kesme koşulunda bu değere yakın aritmetik ortalama yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. MQL kesme koşulunun yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi incelendiğinde sırasıyla 30 m/dak, 90 m/dak ve 120 m/dak kesme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızına bağlı olarak kademeli olarak azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu MQL ile işleme şartlarında aşınmanın burun bölgesinde artması ve bunun sonucunda burun yarıçapının büyümesiyle açıklanabilir. 150 m/dak ve 210 m/dak değerlerinde aşınmanın çok boyutlu artması ve ağız birikintisine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerinde artış meydana gelmiştir. Aynı şekilde kriyojenikte 120 m/dak kesme hızında diğer koşullara nazaran yüksek çıkan yüzey pürüzlülük değeri de işlenen parçanın yüzeyine yapışan talaş kırıntıları ile açıklanabilir. İlgili yüzey topografisinde de bu durum net olarak sunulmuştur.



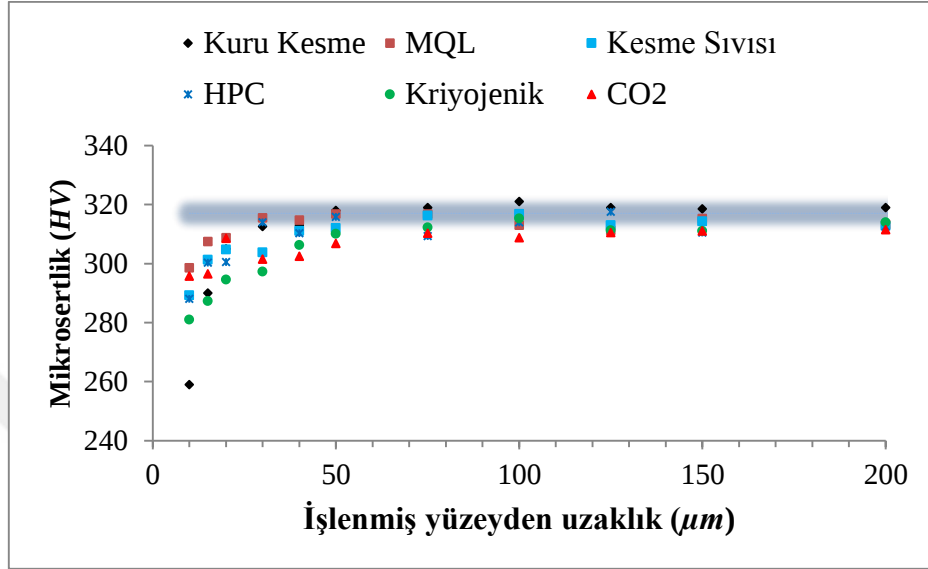
Şekil 3.30. Farklı kesme parametre ve koşullarında iş parçası yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri

150 m/dak kesme hızı değerinde karbondioksit soğutma koşulu ile 120 m/dak'da kriyojenik koşulda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri haricinde tüm kesme koşullarında yüzey pürüzlülüğü değerinin $1.5 \mu\text{m}$ nin altında olduğu görülmektedir. Benzer şekilde tüm kesme hızı ve kesme koşulları açısından değerlendirildiğinde en iyi sonuçlar ($1.0 \mu\text{m}$ ve aşağısı) HPC, MQL ve kesme sıvısı koşullarında elde edilmiştir. Kriyojenik soğutma koşulunun 120 m/dak kesme hızı değeri dışında yüzey pürüzlülüğü açısından tüm kesme hızı değerlerinde benzer bir eğilim görülmektedir. Burada dikkati çekilmesi gereken husus 120 m/dak kesme hızı değerinde hem kriyojenik hem karbondioksit soğutma koşullarında benzer bir pürüzlülük eğiliminin görülmüş olmasıdır. Farklı kesme parametrelerinde değişik soğutucu ve yağlayıcılar kullanılarak gerçekleştirilen talaşlı imalat sürecinin iş parçasının yüzey dokusunda meydana getirdiği değişimler, üretilmiş komponentin yorulma ömrü, korozyon direnci gibi performans kriterlerini etkilemesi sebebiyle daha detaylı olarak incelenmelidir.

3.2.2 Kesici Takım Aşınmasının İşlenen Parçanın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Özellikle Ti-5553 gibi işlenmesi zor malzemelerde aşınma kaçınılmazdır, bu sebeple yüzey bütünlüğü ile aşınma arasındaki ilişkinin tayini işlenen parçalardaki yüzey bütünlüğü karakteristiklerinin daha doğru şekilde tayin edilebilmesine veya öngörülebilmesine imkan sağlayacaktır. Diğer taraftan kesici takım aşınmasının tam anlamıyla beklenen noktada ve kesici ağızdan itibaren beklenen uzunlukta oluşması veya bunun kontrolü hayli zor olabilmektedir. Örneğin serbest yüzeyde aşınmanın tam olarak $100 \mu\text{m}$ olduğu anın saptanması hayli zor olabilmektedir. Dolayısı ile burada sunulan grafiksel sonuçlarda yatay eksenle serbest yüzey aşınmasında belirtilen değerlere yaklaşık değerlerdir. Yani burada $200 \mu\text{m}$ aşınmadaki aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü dendiğinde yaklaşık bir ifadeden bahsedildiğini belirtmek gerekir. Örneğin $V_c = 90 \text{ m/dak}$ ve $a_p = 1.2 \text{ mm}$ iken yapılan deneyler sırasında kuru kesme koşulu altında kesici uçta kırılma meydana gelmiştir, $VB_{max} = 400 \mu\text{m}$ den sonrasında $VB_{max} = 400 \mu\text{m}$ değerine ulaşılmadan kırılma olmuştur. Dolayısı ile $VB_{max} = 600 \mu\text{m}$ için aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılamamıştır. Bazı eksik durumlar için testler tekrarlanmış ve kesici takım istenilen aşınma miktarına kadar tornalama işlemi yapılmış ve son

Bu katman derinliğinden sonra ise sertlik değeri işlenmemiş malzemenin sertlik değerine ulaşmaktadır. Kesme hızındaki artış numunelerin yüzey ve yüzeye yakın katmanlarındaki genel yumuşama eğilimini değiştirmediği, farklı kesme hızlarında farklı koşullarda ölçülen ve Şekil 3.39-3.43 arasında sunulan bulgulara net olarak görülmektedir.

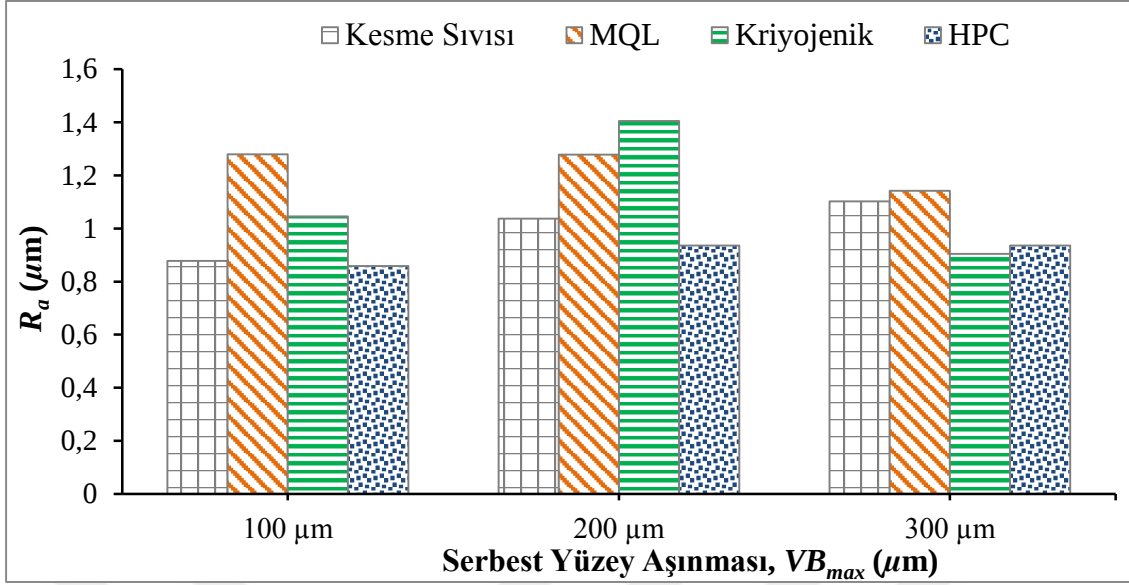


Şekil 3.39. 90 m/dak kesme hızında ve farklı kesme koşullarında derinliğe bağlı mikrosertlik değişim

Genel eğilim değişmemekle birlikte ilk 10 μm derinlikteki sertlik değeri ve yumuşamanın etkin olduğu katman derinliğinde bazı farklılıklar söz konusudur. İşlenen yüzey ve yüzeye yakın katmanlardaki bu yumuşama ısı yumuşama olarak tanımlanabilir (Ulutan ve Özel 2011;Kaynak vd. 2014a). Bu durumun temel sebebi ise özellikle ısı iletim katsayısı düşük Ti-5553 alaşım gibi malzemeler yarı mamul şeklinde üretimleri esnasında farklı imalat süreçlerinin örneğin haddeleme gibi kullanılmasıyla üretilirler. Bu süreçlerde malzemede iç gerilmeler oluşabilmektedir(Kaynak vd. 2015). Bu iç gerilmeler ise malzeme sertliğini nispeten etkileyebilmektedir. Talaş kaldırma operasyonu ile birlikte kesme bölgesindeki ısı enerjisi ve bunun sonucunda artan sıcaklık malzeme yapısındaki mevcut iç gerilmeleri yok edebilmekte ve nihayetinde malzeme sertliğinde kısmi azalmalar görülebilmektedir (Kaynak vd. 2015). Bu bulgulardaki sertlik değerlerindeki azalma ve dolayısı ile malzemenin işlenen yüzeyindeki ve yüzey altındaki yumuşama bu şekilde açıklanabilir. Özellikle Ti-5553 alaşım malzemesinin ısı iletim katsayısının çok düşük olması ise ısı yumuşamayı tetikleyen temel unsurlardan biri olmuştur. Kesme koşulları açısından

numunede oluşan yüzey pürüzlülük değerleri ölçümü gerçekleştirilmiş, grafiklerdeki eksiklikler giderilmiştir. Şekil 3.32’de düşük talaş derinliğinde takım ömrü deneylerinden elde edilen aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sunulmuştur. Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri yaklaşık $VB_{max}=100$, 200 ve 300 μm olduğu durumlarda elde edilen değerlerdir. Şekil 3.33 ve 3.34’te yüksek talaş derinliğinde takım ömrü deneylerinden elde edilen aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sunulmuştur. Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri yaklaşık $VB_{max}=200$, 400 ve 600 μm olduğu durumlarda elde edilen değerlerdir.

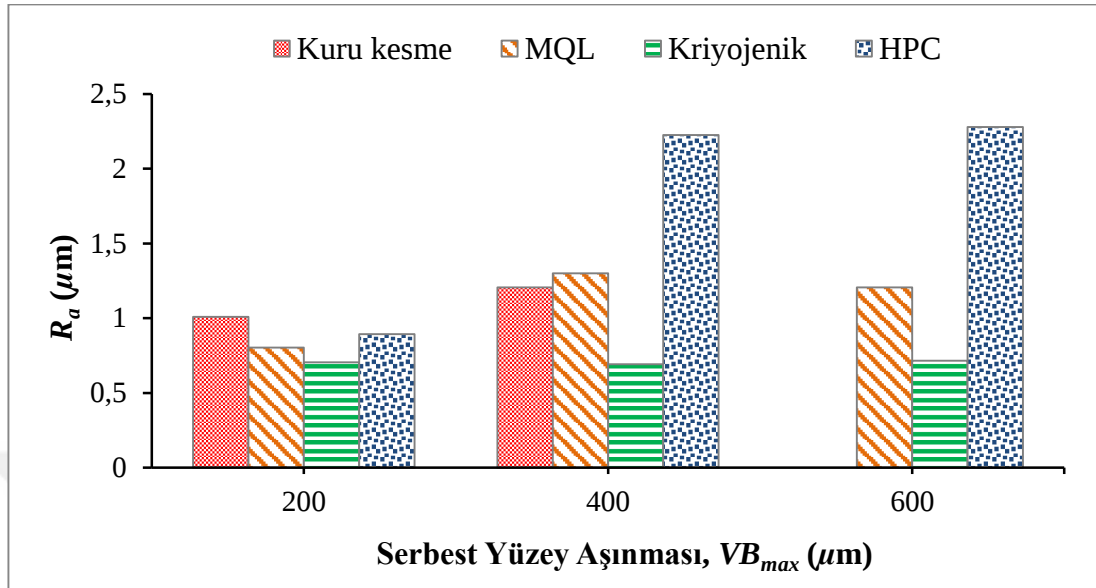
Şekil 3.32’de $V_c=120$ m/dak kesme hızında $a_p=0.6$ mm kesme derinliğinde farklı kesme koşullarında yapılan takım ömrü testlerinde, kesici takım serbest yüzey aşınmasının 100, 200, ve 300 mikrometreye ulaştığı zamanlarda iş parçası aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim görülmektedir. MQL ile yapılan takım ömrü testinde 100 ve 200 μm serbest yüzey aşınmasında iş parçasından ölçülen aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde önemli değişim görülmemiştir, ancak 300 μm aşınmada kısmi azalma görülmektedir. Bunun sebebi kesici takım burun yarıçapının büyümesi ve dolayısı ile ilerleme iz geometrisinin değişimidir diye yorumlanabilir. Kesme sıvısında ise serbest yüzey aşınmasındaki artışa bağlı olarak aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğünde artış gözlemlenmiştir. $VB_{max}=100$ μm aşınmada iş parçasında ölçülen aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 0.87 μm iken 300 μm serbest yüzey aşınmasında iş parçasındaki aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü 1.1 μm olarak ölçülmüştür. Kriyojenik koşulda ise $VB_{max}=100$ μm serbest yüzey aşınmasından $VB_{max}=200$ μm serbest yüzey aşınmasına artışta aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri de önemli ölçüde artmış ancak $VB_{max}=300$ μm aşınmada ise tekrar bir azalma görülmektedir. Yüksek basınçlı soğutmada ise 200 μm ’den 300 μm ’ye aşınmanın artması iş parçası aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğünde değişime neden olmamıştır. $V_c=120$ m/dak kesme hızında, kesme koşulları ve farklı serbest yüzey aşınma miktarları açısından değerlendirildiğinde, aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğünde en iyi sonuçlar (1.0 μm ve aşağısı) HPC koşullarında elde edilmiştir.



Şekil 3.31.Farklı kesme koşullarında yüzey pürüzlülüğünün serbest yüzey aşınmasına bağlı değişimi ($V_c= 120$ m/dak, $a_p=0.6$ mm)

Kesme derinliğinin 1.2 mm olduğu ve kesme hızının $V_c= 90$ m/dak olduğu takım ömrü testlerinde aşınma miktarına bağlı olarak işlenen parçanın aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim Şekil 3.33’de sunulmuştur. Burada elde edilen data lar incelendiğinde, aşınma miktarındaki artışın genellikle aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğünde artışa sebep olduğunu göstermektedir. Örneğin kuru kesmede kesici takım serbest yüzeyinde $VB_{max}=200$ μm aşınmada iş parçasından ölçülen aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü 1.009 μm iken $VB_{max}=400$ μm aşınmada ölçülen yüzey pürüzlülüğü 1.2 μm ’dir. MQL şartlarında benzer durum söz konusudur. $VB_{max}=200$ μm aşınmada 0.8 μm yüzey pürüzlülüğü ölçülmüşken, $VB_{max}=400$ μm ’de 1.3 μm , ve $VB_{max}=600$ μm aşınmada ise aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde azalma görülmüş ve 1.2 μm olarak ölçülmüştür. Diğer bir örnek ise yüksek basınçlı soğutmadır. Yüksek basınçlı soğutmanın kullanıldığı koşullarda $VB_{max}=200$ μm ’de aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü yaklaşık olarak 0.89 μm iken, $VB_{max}=400$ μm ’de bu değer 2.22 μm ’ye çıkmış ve sonraki aşınma olan $VB_{max}=600$ μm ’de 2.79 μm olarak ölçülmüş ve kısmı artış devam ettiği görülmüştür. Verilen bu örneklerden farklı bir davranış sergileyen Kriyojenik soğutma tüm aşınma boyunca aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde en istikrarlı davranışı göstermiş ve aşınmadan ciddi şekilde etkilenmemiştir. $V_c= 90$ m/dak kesme hızında, kesme koşulları ve farklı serbest yüzey aşınma miktarları açısından değerlendirildiğinde, aritmetik

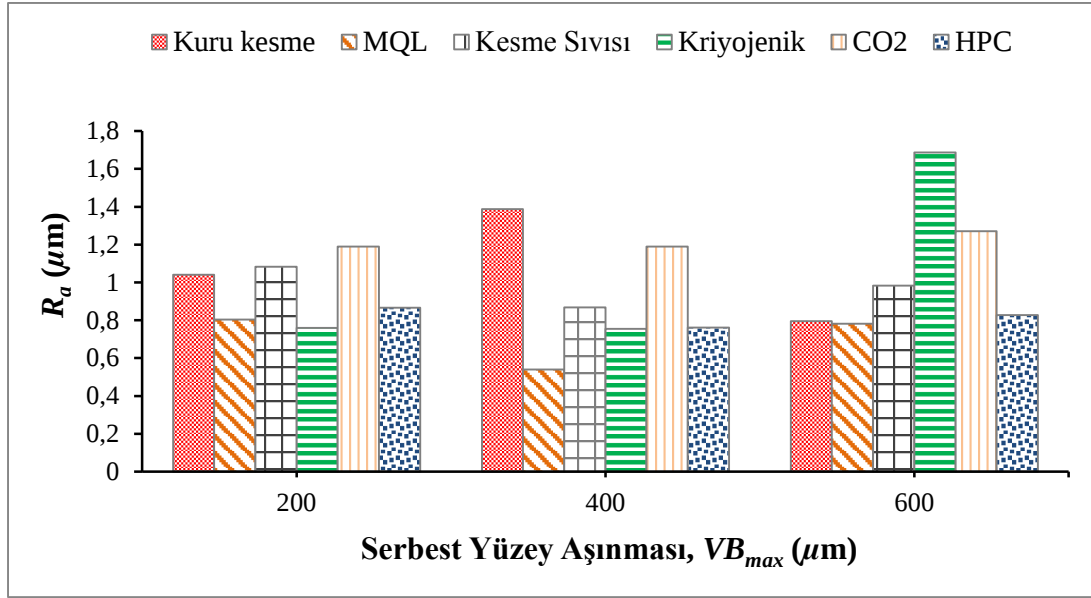
ortalama yüzey pürüzlülüğünde en iyi sonuçlar ($1.0 \mu\text{m}$ ve aşağısı) kriyojenik koşullarında elde edilmiştir.



Şekil 3.32. Farklı kesme koşullarında yüzey pürüzlülüğünün serbest yüzey aşınmasına bağlı değişimi ($V_c=90$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)

Şekil 3.34’te farklı koşullarda 120 m/dak kesme hızında ve 1.2 mm talaş derinliğinde yapılan takım ömrü testlerinde $VB_{max}=200 \mu\text{m}$ ile $VB_{max}=600 \mu\text{m}$ aşınma aralığında iş parçalarından ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri görülmektedir. Takım aşınması ile iş parçası yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi iyi şekilde yansıttığı düşünülen bu bulgulara aşınmadaki artışın birçok koşulda doğrudan yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı düşüncesini destekler niteliktedir. Bazı koşullarda artış sınırlı olurken bazı koşullarda ise oldukça önemli artışlar gözlemlenmiştir. Örneğin burada kriyojenik koşullarda $VB_{max}=200 \mu\text{m}$ aşınmada ölçülen yüzey pürüzlülüğü $0.76 \mu\text{m}$ iken $VB_{max}=600 \mu\text{m}$ aşınmada bu değer $1.68 \mu\text{m}$ olduğu görülmektedir.

Genel olarak bakıldığında yüksek talaş derinliği, $a_p=1.2$ mm iken en iyi aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değerleri kriyojenik soğutma koşulu altında elde edildiği görülmektedir. Sonuç olarak aşınmaya bağlı olarak işlenen Ti-5553 alaşımının yüzey pürüzlülüğünde belirgin değişimin olduğu ve bu değişimin genellikle artan aşınmayla artan yüzey pürüzlülük değeri şeklinde olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir.



Şekil 3.33. Kesici takım aşınmasına miktarına bağlı olarak işlenmiş yüzeyde ölçülen Yüzey pürüzlülüğü değerleri ($V_c= 120$ m/dak, $a_p=1.2$ mm)

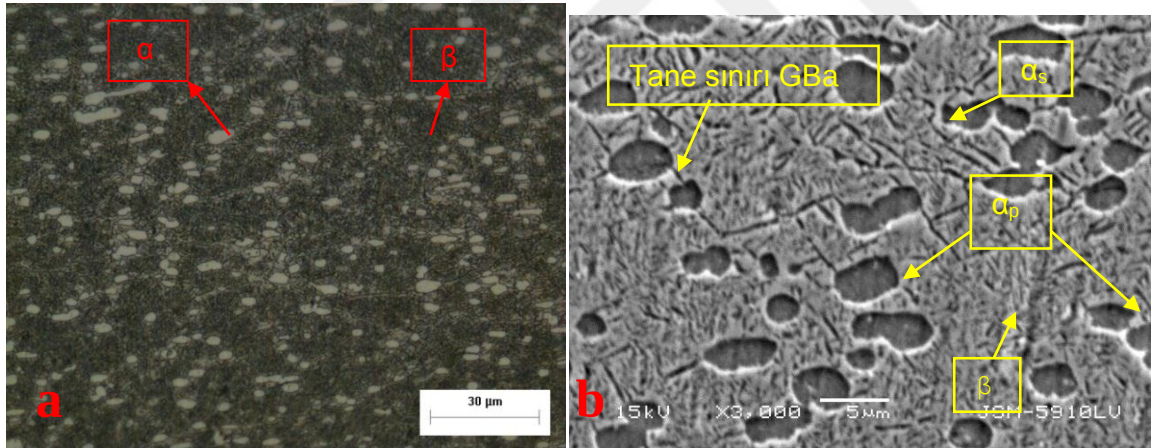
Ancak burada not edilmesi gereken husus aşınmanın doğrudan kendisinden ziyade aşınmayla artan ağız birikintisi ve bu ağız birikintisinin işlenen parça yüzeyine sıvanması aşınmayı etkileyen temel belirleyici olmaktadır. Özellikle artan aşınmayla birlikte aniden ve önemli derecede artış gösteren yüzey pürüzlülük değerlerinde ağız birikintisinin neden olduğu görülmektedir.

Dolayısı ile ağız birikintisinin kontrolünü sağlayan uygun koşullar ve kesme parametreleri bu tür problemlerin minimize edilmesine katkı sağlayabilir ve aşınmadaki artışla birlikte daha öngörülebilir ve istikrarlı bir yüzey pürüzlülüğü elde edilebilir.

3.3 Mikroyapı Analizi

Titanyum alaşımlarında taneler arasında yönelim(incline), tane boyut ve şekillerindeki değişim işlenmiş komponentlerin mekanik özelliklerini anlamlı ölçüde etkilediği bilinmektedir (Rotella vd. 2014). Dolayısıyla talaşlı imalat süreçleri neticesinde iş parçası mikroyapısında meydana gelen değişimler alaşımın davranışını değiştirebilecek ve üretilen komponentlerin performans özelliklerini doğrudan etkileyebilecektir (Rotella vd. 2014). Bu durumu örneklendirmek gerekirse titanyum alaşımlarında tane küçülmesi akma gerilmesinde artışa yol açarken tane boyutu aynı zamanda üretilmiş komponentlerin yorulma ömrünü etkilemektedir (Rotella vd. 2014). Bu nedenlerdir ki uçakların iniş

takımlarında kullanılmaya başlanan ve tezimiz kapsamında çalıştığımız Ti-5553 alaşım malzemesinin farklı soğutucu ve yağlayıcı koşullar ile talaşlı imalat süreçleri neticesinde işlenmiş parçaların tane boyutu değişimi, tane deformasyonu ve bu deformasyonun derinliği tezimizde belirtildiği gibi optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) teknikleri kullanılarak gözlemlenmeye çalışılmıştır. Şekil 3.34'te tez kapsamında kullanmış olduğumuz Ti-5553 alaşım malzemesinin optik mikroskop ve SEM ile edilen işlem görmemiş (as receive) mikroyapı görüntüsü yer almaktadır. Burada daha yumuşak olan optik mikroskop altında beyaz gözüken bölgeler yapıda hacimce yaklaşık olarak ~%20 oranında bulunan α (alfa) fazı(Arrazola vd. 2009a) ve daha sert olan siyah bölgeler ise β (beta) fazlarını göstermektedir (Braham-Bouchnak vd. 2015). α , β , $\alpha+\beta$ fazlarından oluşan titanyum alaşımlarında görülen bu yapıda α taneler ve sert β fazın kombinasyonu alaşımın mukavemet ve yorulma ömrü açısından performansını arttırması sebebiyle tercih edilmektedir (Donachie 2000). Yapı içerisindeki α taneler çatlak oluşumunu ve ilerlemesini engelleyerek yapının yüksek tokuluğa sahip olmasını sağlar ve kırılma tokluğu değerini doğrudan etkiler (Greenfield ve Margolin 1971).



Şekil 3.34. Ti-5553 alaşım malzemesinin işlem görmemiş mikroyapı görüntüsü a) Optik Mikroskop görüntüsü b) SEM görüntüsü

Metastabil β alaşım grubunda yer alan Ti-5553 alaşımın mikroyapı-özellik ilişkisi açısından bimodal (BM) ve lamelli mikroyapı (LM) yapıları sahip olduğu bilinmektedir (Huang vd. 2011;Srinivasu vd. 2013;Li vd. 2015). Tezimiz kapsamında kullanmış olduğumuz Ti-5553 alaşım malzemesinin işlem görmemiş hali (as receive) için elde edilen XRD faz pikleri ve Ti-5553 alaşım malzemesinin işlem görmemiş yüzeyinin taramalı

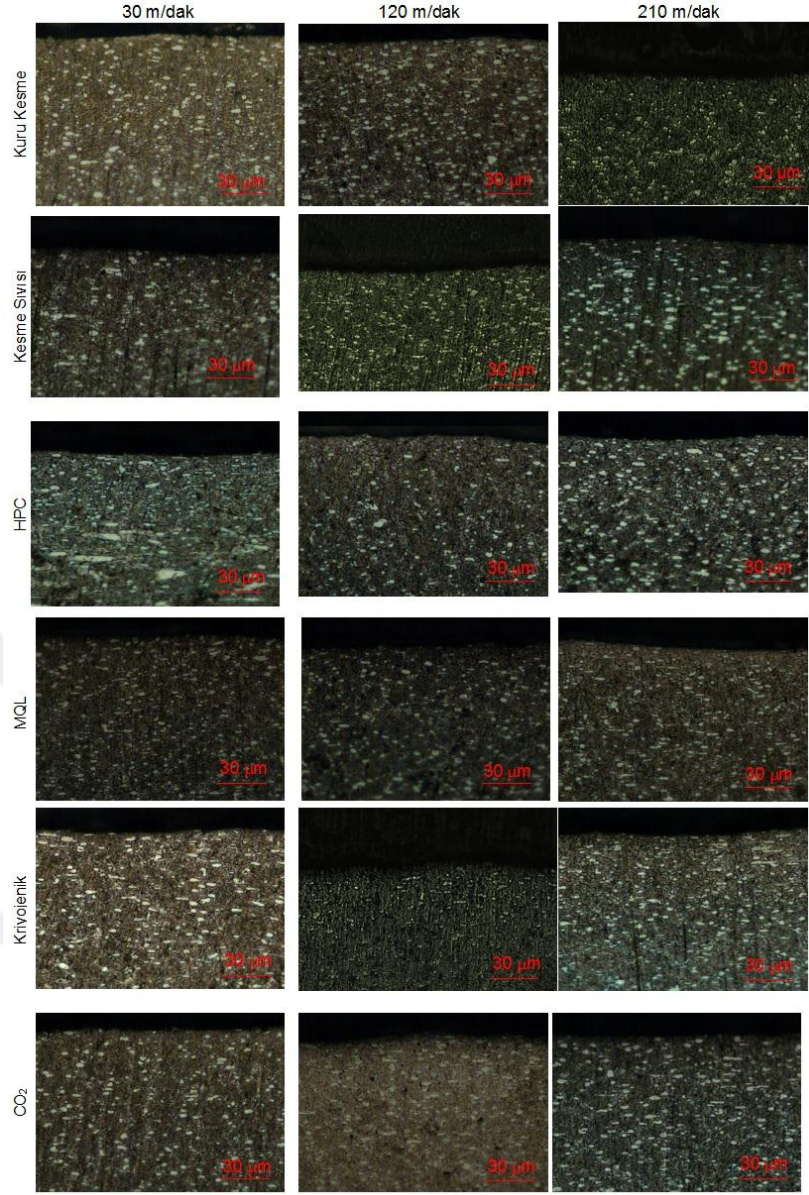
elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen mikroyapı görüntüsü yapının bimodal mikroyapıya sahip olduğunu göstermektedir. Burda değinilmesi gereken husus bimodal (BM) yapının lamelli (LM) yapıya göre daha yüksek mekanik özelliklere sahip olmasıdır (Huang vd. 2017).

Şekil 3.4'teki SEM görüntüsünde görüldüğü gibi siyah renkli ana yapı β fazları temsil ederken küresel olarak görünen noktalar α fazları temsil etmektedir. Görüldüğü gibi yapıda çok sayıda küresel birincil α_p (primary α) faz bulunmaktadır. Aynı zamanda β matris içerisinde tane sınırları alfa ($GB\alpha$) boyunca iğnemsî ikincil α_s (secondary alfa) faz bölgeleri bulunmaktadır (Huang vd. 2017). Yapıda bulunan ve β faza göre göreceli olarak daha yumuşak olan (Xin ve Zhao 2006), eş eksenli α_p fazlar yapı ile iyi bir uyum sergileyebilir ve deformasyon süresince alaşım malzemesinde plastik uzamanın (strain) meydana geldiği noktalarda önemli bir rol oynar (Huang vd. 2011). Bimodal (BM) mikroyapı içerisinde hacimsel olarak 1-3 μm çaplarında $\%15\pm1$ oranında birincil α_p (primary alfa) fazı bulunmaktadır. Taneler sınırlarında bulunan iğnemsî yapıları α_s 1-3 μm boyunda ve 100-150nm genişliğindedir. Yapıda yüzdesel olarak 3.5 ± 0.5 oranlarında bulunan taneler sınırları α fazı ($GB\alpha$) 150-200 nm genişliğinde bulunmaktadır (Huang vd. 2017). Literatürde yer verilen Ti-5553 alaşım malzemesi üzerine gerçekleştirilmiş geçirimli elektron mikroskobu (TEM) analizleri bu malzemede bulunan dislokasyonların β faz içerisinde yer alan birincil tane sınırları α fazda ve tane sınırları α ile α_p (primary alfa) fazları arayüzeyinde bulunduğunu göstermektedir (Huang vd. 2017).

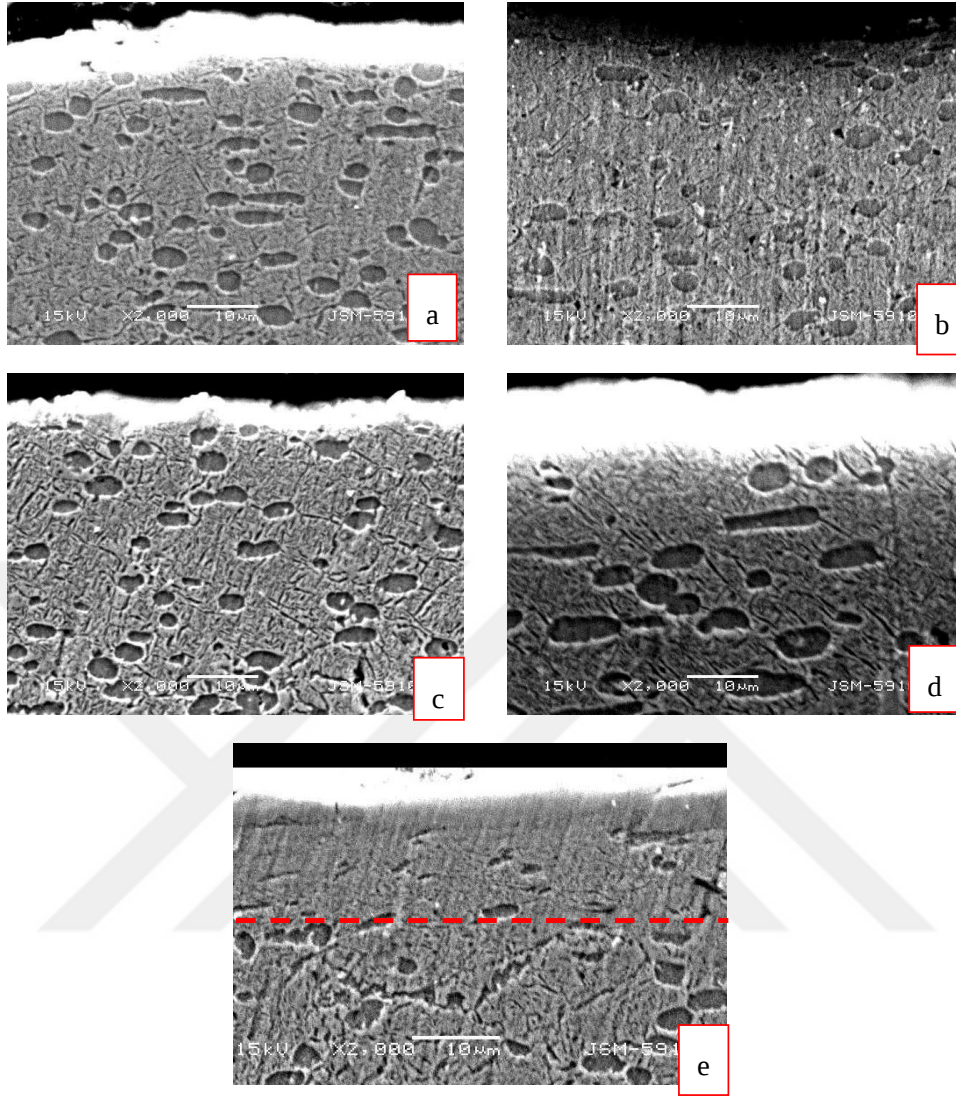
Metastabil β titanyum alaşımlarının mekanik özellikleri alaşımın kimyasal bileşimi ve bu elementlerin yüzde miktarı ile (Grosdidier vd. 1997) büyük ölçüde malzemenin tane boyutu, morfolojisi, α ve β fazların hacimsel miktarına, tanelerin mikroyapı içinde dağılımı ve oryantasyonu gibi mikroyapı karakteristiklerine bağlıdır (Lütjering ve Williams 2003; Jones vd. 2009; Wu vd. 2013; Osovski vd. 2015). Bu duruma örnek olarak Ti-10V-2Fe-3Al alaşımın mikroyapısındaki küresel α_p fazın azalması veya iğnemsî α_s (secondary α_s) oranının artması alaşımın basma mukavemet değerinde artışa neden olduğu gösterilebilir (Li vd. 2015).

3.3.1 Eğik kesme operasyonunda kullanılan Soğutucu ve yağlayıcıların işlenen parçanın mikroyapısına etkisi

Yukarıda Ti-5553 alaşım malzemesinin kendine has bimodal (BM) yapılı mikroyapısı ve mikroyapısal özelliklerindeki değişimin malzeme davranışına olan etkisine değinilmiştir. Bu bilgiler ışığında tez kapsamında Ti-5553 alaşım malzemesi farklı kesme koşul ve parametreleri kullanarak talaşlı imalat testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.36’da 30-120-210 m/dak kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme ve 1.2 mm kesme derinliği kullanılarak farklı kesme koşullarında işlenmiş iş parçalarının optik mikroskop tekniği kullanılarak mikroyapılarında meydana gelen deformasyon ve derinliği gösterilmektedir. Optik mikroskop altında yapılan incelemede belli kesme koşullarında etkilenmiş yüzey altı katmanı gözlemlenmiş (Örneğin 30 m/dak kesme hızında HPC kesme koşulunda) olmakla beraber katman derinliği net olarak görülememektedir. Dolayısıyla SEM tekniği kullanılarak deforme olan tabaka gözlemlenmeye çalışılmıştır. 90 m/dak kesme hızının üzerinde endüstriyel uygulamada seçilebilecek kesme hızı olan 120 m/dak kesme hızı SEM görüntüleri Şekil 3.37’de sunulmuştur. Şekil 3.36’da 0.15 mm/dev ilerleme ve 1.2 mm kesme derinliğindeki kesme parametreleri değerleri kullanılarak kuru, kriyojenik, MQL, kesme sıvısı ve HPC yöntemleriyle işlenmiş numunelerin SEM görüntüleri sunulmuştur. Bu kesme hızında elde edilen numuneler incelendiğinde yüksek basınçlı soğutma ile işlenen parçanın yüzey ve yüzey altındaki katmanda diğer kesme koşullarına nazaran oldukça belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Talaş kaldırmanın etkilediği katman kalınlığı 20 μm ’den azdır. Şekilde görüldüğü gibi yüzeye yakın bölgelerde α tanelerde büyüme görülmektedir. İlaveten beta tane sınırları kaybolmuştur. Diğer koşullarda ise alfa fazlarında nispeten büyüme görülmüştür. Alfa fazlarının sertliği beta fazlarına nazaran düşüktür dolayısı ile literatürde de ifade edildiği gibi bu durumda yüzey altı sertliğinin etkilenmesi beklenmektedir.



Şekil 3.35. Farklı kesme parametre ve koşullarında gerçekleştirilen kesme performans deneyleri sonucunda optik mikroskop altında iş parçasının yüzey ve yüzeye yakın bölgelerinde elde edilen mikroyapı görüntüleri

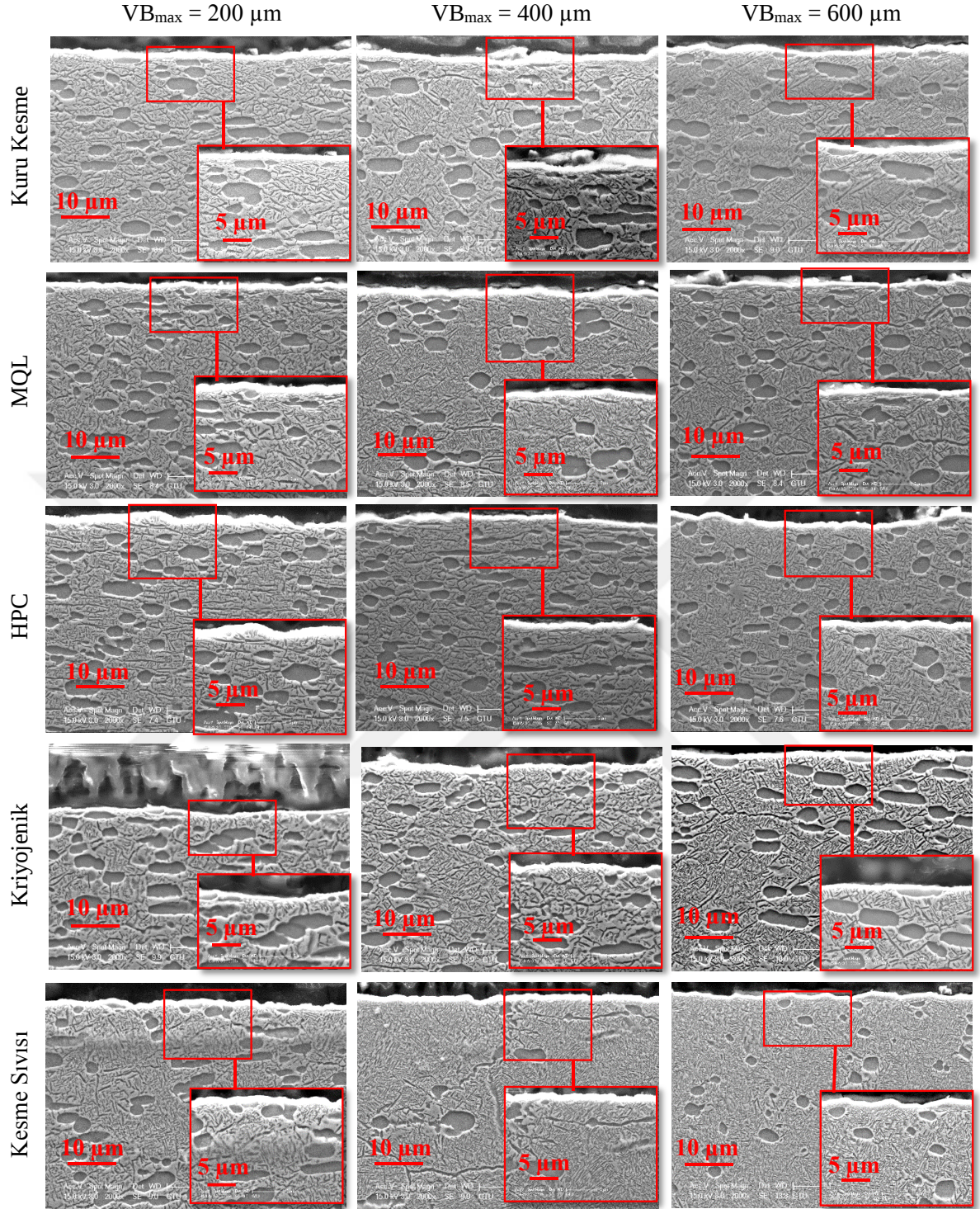


Şekil 3.36. 120 m/dak Kesme hızı ve kuru(a), kriyojenik (b), MQL(c) ve kesme sıvısı(d) ve HPC(e) kesme koşulları altında işlenmiş yüzeyin SEM mikroyapı görüntüsü ve tanelerde meydana gelen deformasyon

3.3.2 Eğik Kesme Operasyonunda Kesici Takım Aşınmasının İşlenen Parçanın Mikroyapısına Etkisi

Aşınmaya bağlı analizlerde iki farklı hız (90 ve 120 m/dak) seçilmiş olup bunlardan 120 m/dak kesme hızında ise iki farklı kesme derinliği (0.6 ve 1.2 mm). Bu koşullar dikkate alındığında mikroyapısal açıdan yüzey ve yüzey altı özelliklerinde en fazla etkilenmenin olması beklenen durum 120 m/dak kesme hızı ve 1.2 mm kesme derinliğidir. Bunun

sebebi ise bu parametrelerin kullanıldığı talaş kaldırma operasyonlarında kesme kuvvetleri, sıcaklıklar ve takım aşınmasının diğer kesme parametrelerine nazaran daha yüksek olmasıdır. Dolayısı ile öncelikli olarak bu parametrelerle işlenen parçaların mikroyapıları analiz edilmiştir. Serbest yüzey aşınması yaklaşık $VB_{max} = 200, 400$ ve $600 \mu m$ olduğu anlarda elde edilen numuneler için SEM analizleri yapılmıştır. Bu sayede serbest yüzey aşınmasındaki artışın, kesme bölgesinde meydana gelen deformasyona ne tür bir etkisinin olduğu araştırılması hedeflenmiştir. Şekil 3.38’de aşınma miktarına bağlı olarak, SEM tekniği ile elde edilen mikro yapı görüntüleri sunulmuştur. Şekilde görüldüğü üzere aşınmadaki artışın işlenen parça mikroyapısına etkisi genel olarak sınırlı kalmıştır. Gözlemlenen değişim alfa fazlarındaki tanelerde belirgindir. Tanelerde plastik deformasyon ve aşınmanın artmasıyla yüzeye yakın bölgelerde artan basma gerilmesi ve bunun sonucunda tanelerde uzamalar görülmektedir. Ve bu tane uzamaları aşınmadaki artışa paralellik göstermemektedir. Sonuç olarak kesici takımlardaki aşınmalar önemli miktarda artış göstermesine rağmen Ti-5553 alaşımın mikroyapısında çok önemli değişimler gözlemlenmemiştir. Esasında bu durum talaş kaldırma operasyonunda kesici takım ömrü tamamlanana kadar bu malzemenin rahat şekilde işlenmesine olanak sağlayacaktır. Elde edilen bu bulgular ışığında diğer kesme hızı (90 m/dak) ve kesme derinliklerinde benzer eğilimin elde edileceği öngörülmüş olup, onlar ayrıca incelemeye alınmamıştır.



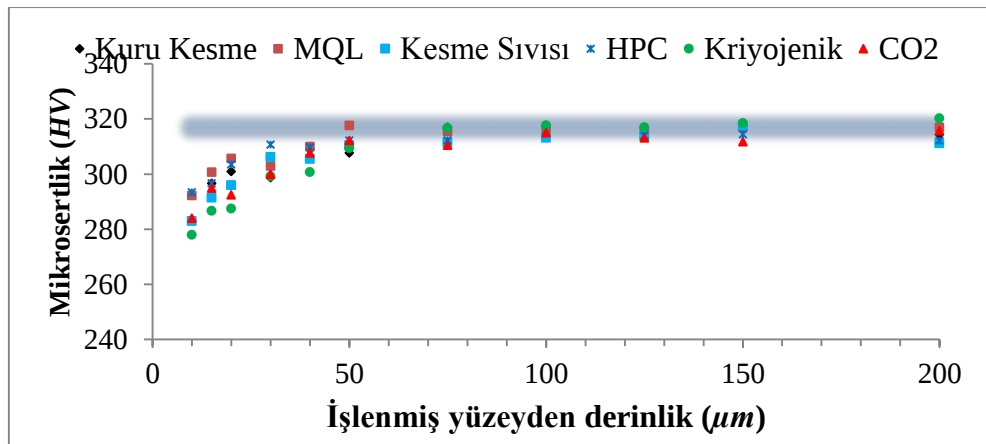
Şekil 3.37. $V_c=120$ m/dak kesme hızında farklı koşullarda ve farklı aşınma miktarlarında elde edilen SEM görüntüleri ($a_p= 1.2$ mm)

3.4 Mikrosertlik Analizi

Bu bölümde işlenen yüzey ve yüzey altında malzemenin sertliğindeki değişim incelenmiştir. Özellikle eğik kesmede çalışma kapsamındaki girdilerden soğutucu ve yağlayıcıların, kesme hızının ve kesici takım aşınmasının işlenen parçanın yüzey ve yüzeye yakın katmanlarda sertliğindeki değişime etkisi incelenmiştir. Dik kesme operasyonlarında ise kesme hızı, kesme derinliği ve ısı işlem sonrası kesme hızının ve kesme esnasında kullanılan soğutucu ve yağlayıcıların işlenen parçada sertlik değişimine etkisi incelenmiştir. Bu grafiklerde sunulan sertlik değerlerinin her bir datası için 4 farklı ölçüm yapılmış ve bunların ortalaması alınarak sertlik değeri belirlenmiştir.

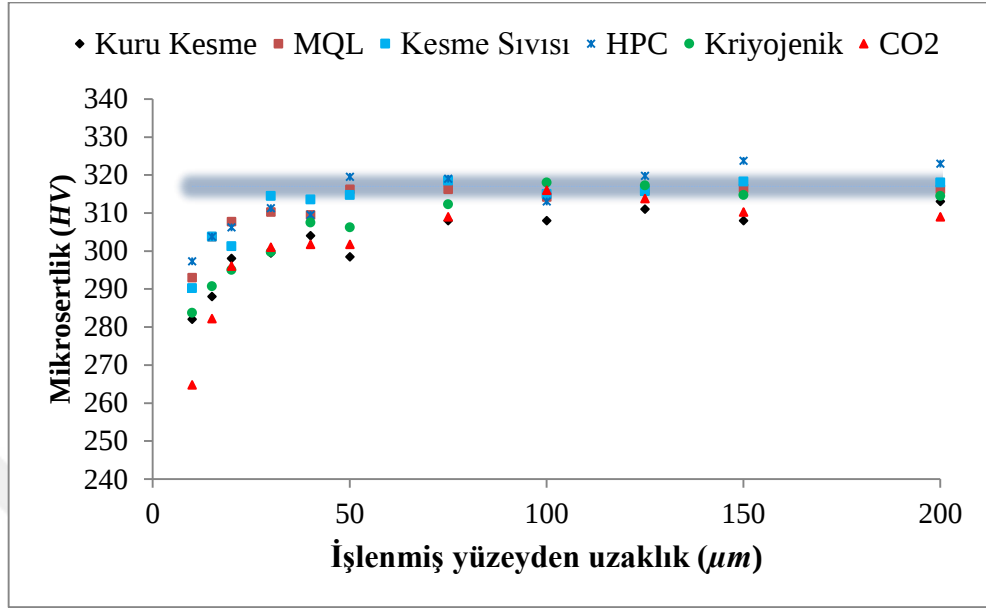
3.4.1 Eğik Kesme Operasyonunda Kullanılan Soğutucu ve Yağlayıcıların İşlenen Parçanın Yüzeyaltı Sertliğine Etkisi

Şekil 3.38’de farklı kesme koşullarında 30 m/dak kesme hızında Ti-5553 alaşım malzemesinin eğik kesilmesi sonucunda işlenen yüzey ve yüzey altında ölçülen sertlik değerleri Vickers (HV) olarak sunulmuştur. İşlenmemiş malzemenin sertliği yaklaşık olarak 317 HV olarak ölçülmüştür. Talaş kaldırıldıktan sonra ise işlenen yüzey ve yüzeye yakın katmanlarda sertliklerde düşüş olduğu görülmektedir. Sertliklerdeki azalma tüm kesme koşullarında istisnasız olarak görülmektedir. Yüzeye yakın katmanlarda özellikle yüzeyden 10 μm derinliklerde sertliğin tüm kesme koşullarında minimum olduğu görülmekte olup bu değerler 280 HV ile 293 HV aralığında kesme koşuluna bağlı olarak değişim göstermektedir. Sertliklerde işlenmemiş malzemeye göre azalmanın etkin olduğu katman derinliği yüzeyden itibaren yaklaşık olarak 75 μm ’dir.

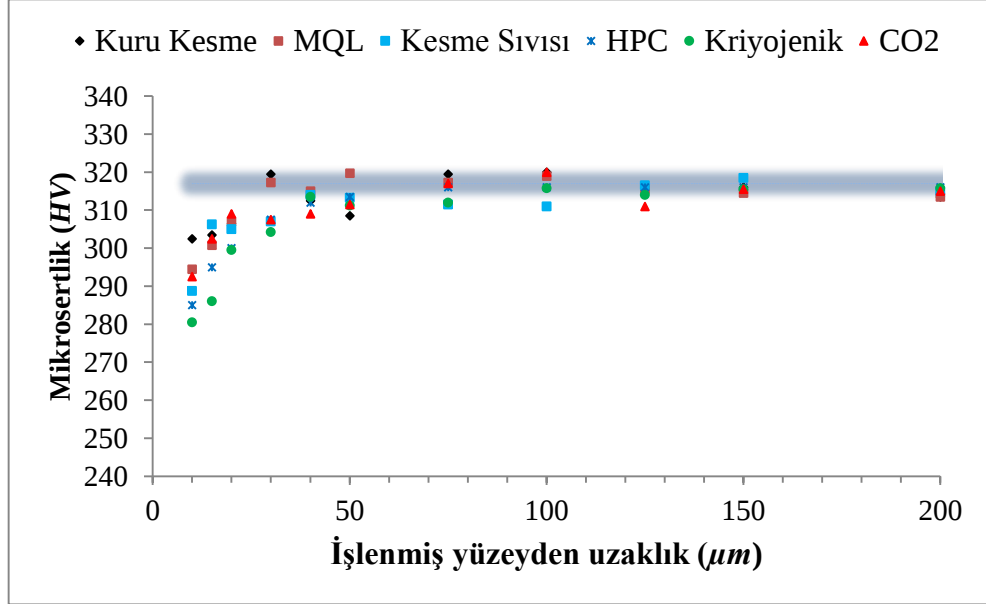


Şekil 3.38. 30 m/dak kesme hızında ve farklı kesme koşullarında derinliğe bağlı mikrosertlik değişim

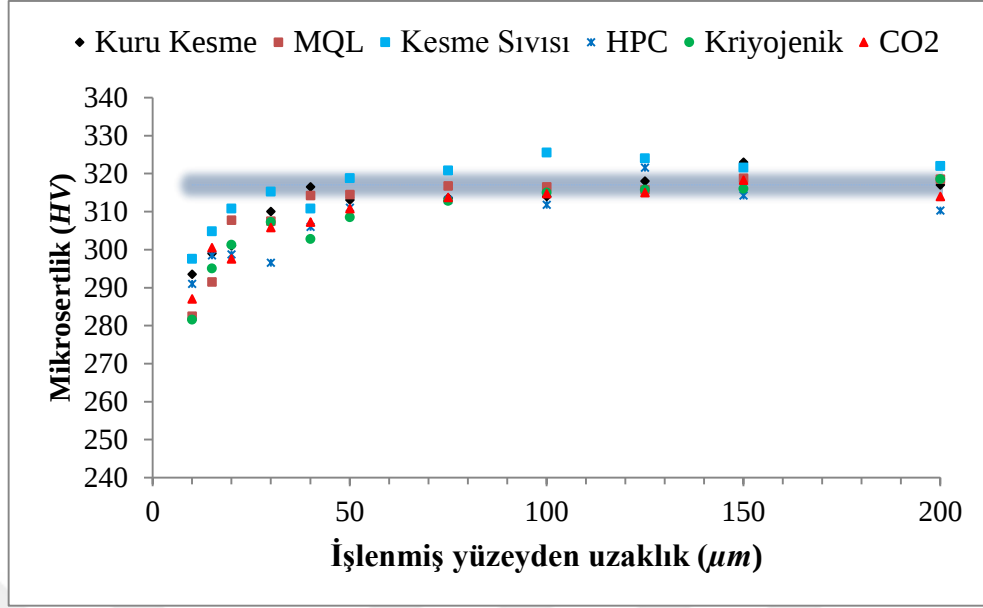
değerlendirildiğinde ise kesme koşullarının sertlik değişimine çok belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.40. 120 m/dak kesme hızında ve farklı kesme koşullarında derinliğe bağlı mikrosertlik değişim



Şekil 3.41. 150 m/dak kesme hızında ve farklı kesme koşullarında derinliğe bağlı mikrosertlik değişim

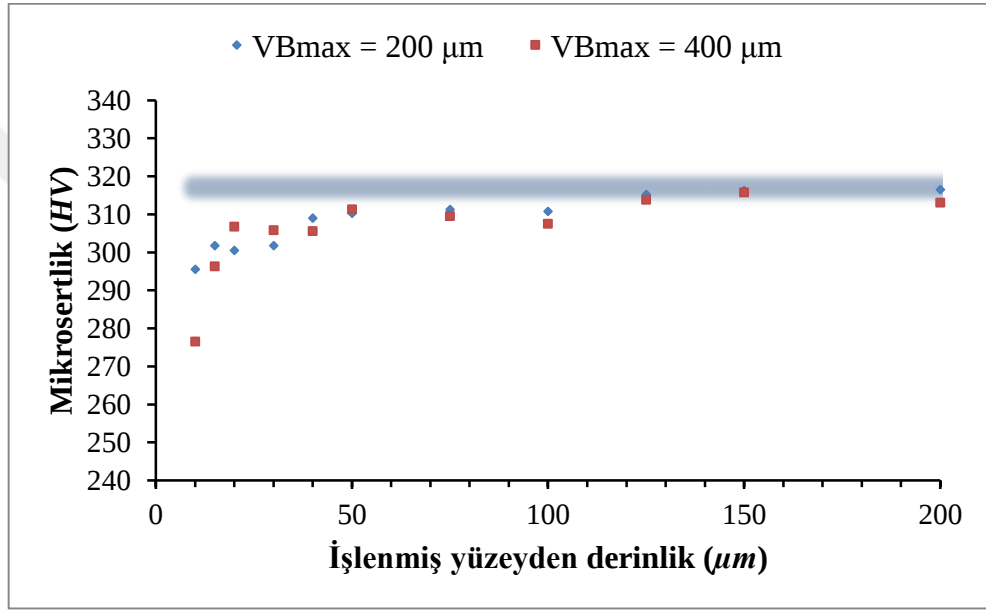


Şekil 3.42. 210 m/dak kesme hızında ve farklı kesme koşullarında derinliğe bağlı mikrosertlik değişim

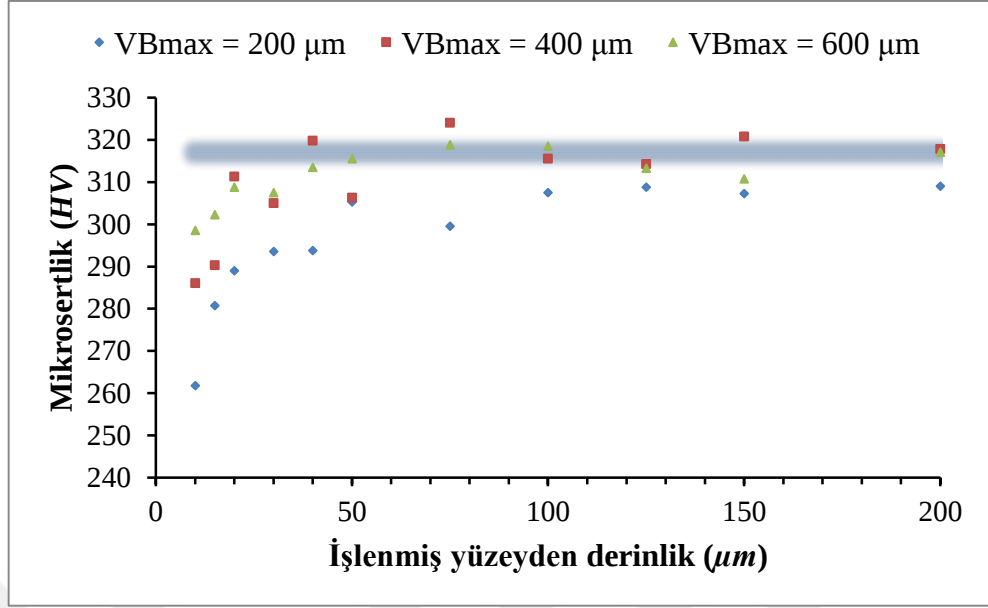
3.4.2 Eğik Kesme Kesici Takım Aşınmasının İşlenen Parçanın Mikrosertliğine Etkisi

Eğik kesme operasyonlarında takım aşınması ve takım ömrü testlerinde serbest yüzey aşınması ile işlenen parçaların yüzey bütünlüğü karakteristikleri arasındaki ilişkinin araştırılması amacı kapsamında serbest yüzey aşınması belli değerlere ulaştığında işlenen parçanın yüzey ve yüzeyaltı sertlik değerlerindeki değişim bu bölümde sunulmuştur. Şekil 3.44-3.47 arasında 90 m/dak kesme hızı ve 1.2 mm kesme derinliğinde kuru, MQL, HPC ve kriyojenik koşullarda işlemede takım aşınmasının işlenen parçalardaki yüzeyaltı sertlik değişimine etkileri sırasıyla sunulmuştur. Şekil 3.44’de aşınmanın 200 ve 400 μm’ye ulaştığı kuru kesmede iş parçasında ölçülen sertlik değerleri görülmektedir. Aşınmanın artışına bağlı olarak sertlik değerinde belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir. İşlenen parçanın yüzeyinden itibaren ilk 50 μm derinlikte sertliklerde belirgin bir azalma ve dolayısı ile yumuşama gözlemlenmiştir. Ölçülen en küçük sertlik değerleri yaklaşık olarak 275 HV ve üzeri olmuştur ki bu değerler tek paso eğik kesmede ölçülen değerlere oldukça yakındır. Şekil 3.45’te MQL koşulunda yapılan eğik kesme operasyonu ve farklı serbest yüzey aşınma miktarlarında iş parçasından ölçülen sertlik değerleri sunulmuştur. Buradada benzer eğilim olmakla birlikte artan aşınma ile ısı yumuşamanın kısmen azaldığı görülmektedir. Artan aşınma beraberinde iş parçasının maruz kaldığı ısı enerjisini

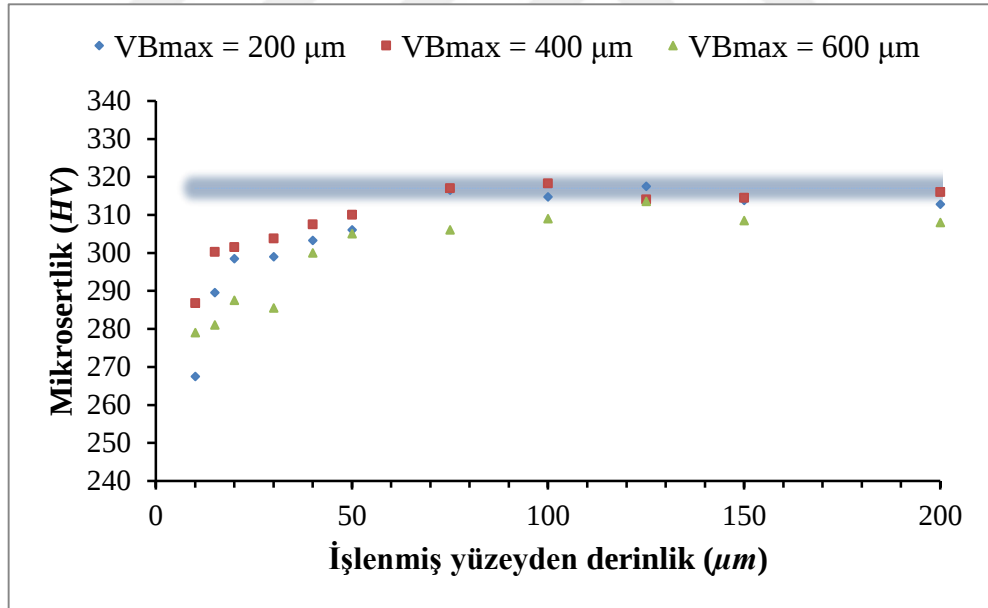
arttırmakla birlikte mekanik enerjiyi de önemli ölçüde arttırmaktadır. Özellikle artan aşınma iş parçası kesici takım temas alanını arttırmakta bu durum iş parçası ile kesici takım arasındaki sürtünmeyi arttırmaktadır. Dolayısı ile iş parçası daha fazla gerilmeye maruz kalmakta olup bunun sonucu iş parçası kristal yapısında daha fazla düzensizliğin olmasına sebebiyet vermesi beklenmektedir. Bunun mekanik etkiye yansıması ise sertlikteki nispi artış olarak görülmektedir. Şekil 3.47’de kriyojenik koşuldaki işlemede aşınmanın artışı ile sertlik arasındaki ilişki MQL ve HPC ‘da görülenden nispeten farklı olmakla birlikte yumuşama davranışı net olarak kriyojenik soğutma koşulunda da görülmektedir.



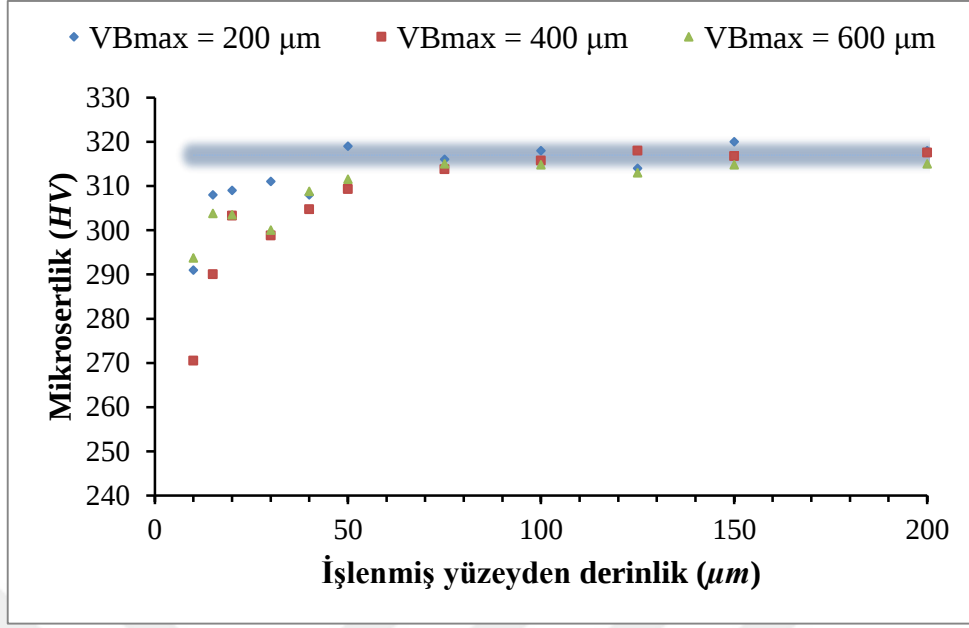
Şekil 3.43. Kuru kesme şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=90$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)



Şekil 3.44. MQL şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=90$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)



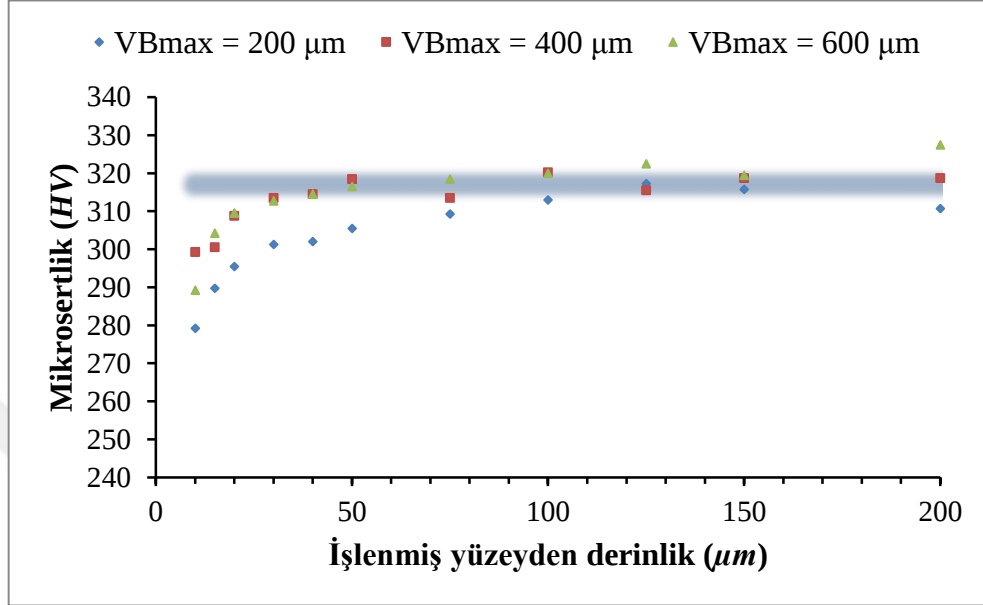
Şekil 3.45. HPC şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=90$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)



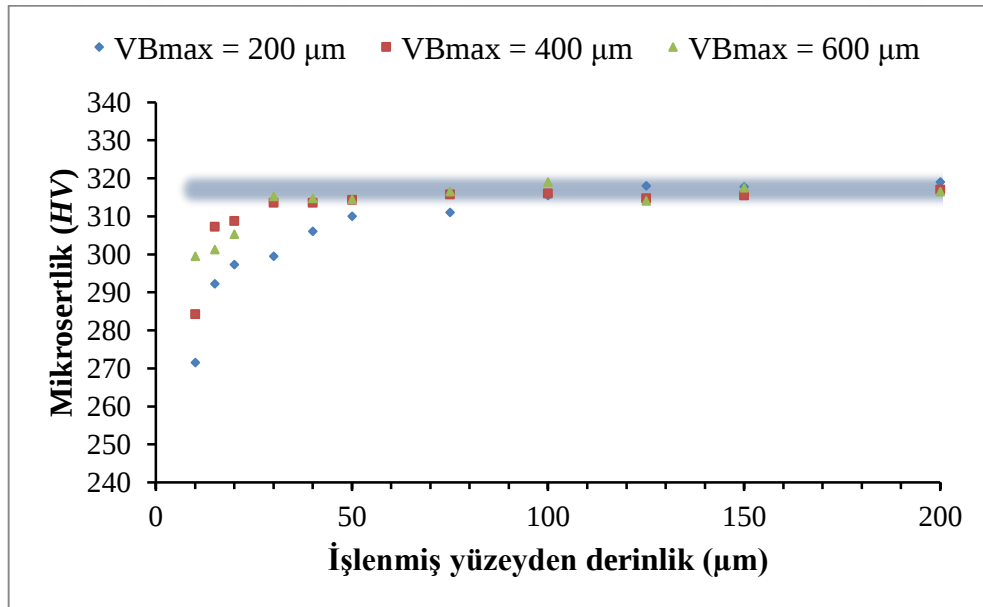
Şekil 3.46. Kriyojenik şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=90$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)

Şekil 3.47-3.51’de 120 m/dak kesme hızında ve 1.2 mm kesme derinliğinde, eğik kesmede kesici takım aşınmasının işlenen parçanın yüzey ve yüzey altı mikrosertlik degelerindeki değişimlerin grafikleri verilmiştir. Artan kesme hızındada düşük kesme hızlarında olduğu gibi yüzeyaltında ölçülen sertlik değerinin işlenmemiş malzemenin sertlik değerlerine oranla düşük olduğu ve dolayısı ile ısıl yumuşamanın meydana geldiği görülmektedir. Şekil 3.48-3.52 arasında sunulan tüm sonuçlarda eğilim ısıl yumuşama şeklinde olmuştur. 90 m/dak kesme hızı sonuçlarındaki bulgularla ilgili yapılan yorumları destekler nitelikte bulgular 120 m/dak kesme hızındada görülmektedir. Genel eğilim, düşük aşınma miktarlarında (200 μm) yumuşamanın yüksek aşınma miktarlarına nazaran daha fazla olduğunu göstermektedir. Yumuşamanın etkin olduğu katman derinliği daha önceki bulgularla benzerlik göstermekte olup, yaklaşık olarak yüzeyden itibaren 75 μm’dur. Ancak işlenmemiş malzeme sertliğinden belirgin farklılık ilk 50 μm katman derinliğinde görülmektedir. Yüzeyden itibaren örneğin ilk 10 μm derinlikte ölçülen sertlik değerleri 200 μm aşınmada yaklaşık 280 HV, 400 μm aşınmada yaklaşık 300 HV ve 600 μm aşınmada ise yaklaşık 290 HV sertlik olarak ölçülmüştür. Bu farklılıklar yaklaşık olarak %3 civarında olup, işlenen malzemenin yüzey altı mekanik özelliklerinde önemli değişime sebep olacağı öngörülmemektedir. Kuru kesmede ve MQL koşulunda bu oran kısmen

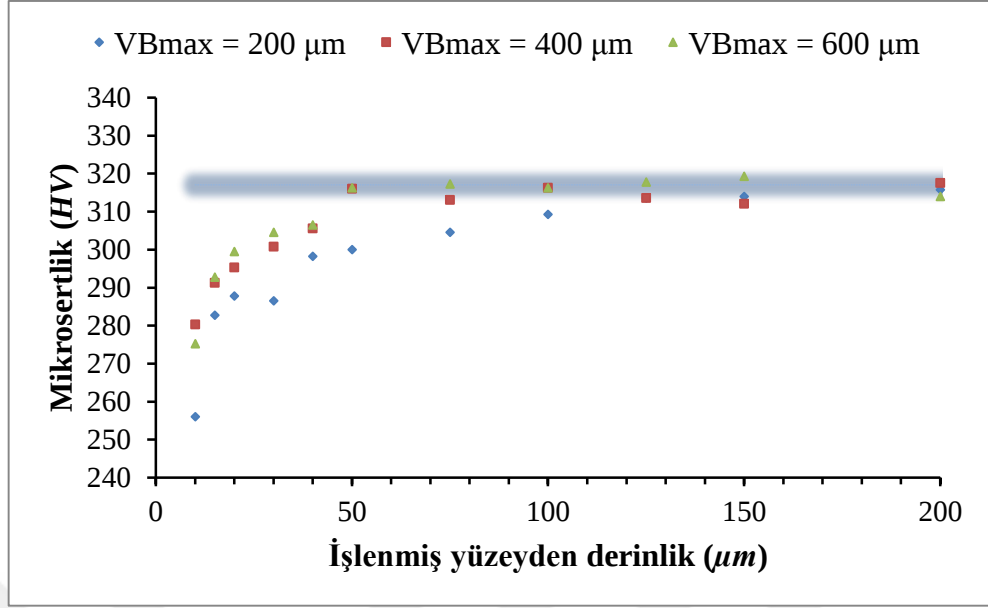
farklılık göstermekle birlikte genel eğilime yakındır. Bu perspektiften bakıldığında Ti-5553 alaşım malzemesinin sertlik dikkate alındığında mikroyapısal özelliği işlenmesi esnasında kesici takım aşınmasından önemli ölçüde etkilenmediği sonucuna varılabilir.



Şekil 3.47. Kesme sıvısı şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=120$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)

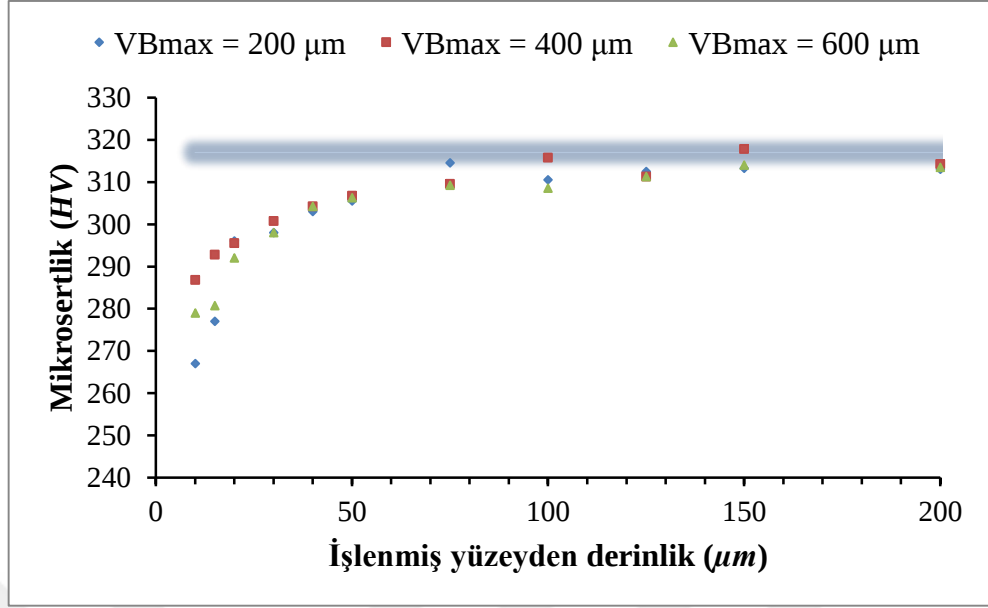


Şekil 3.48. Kuru Kesme şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=120$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)

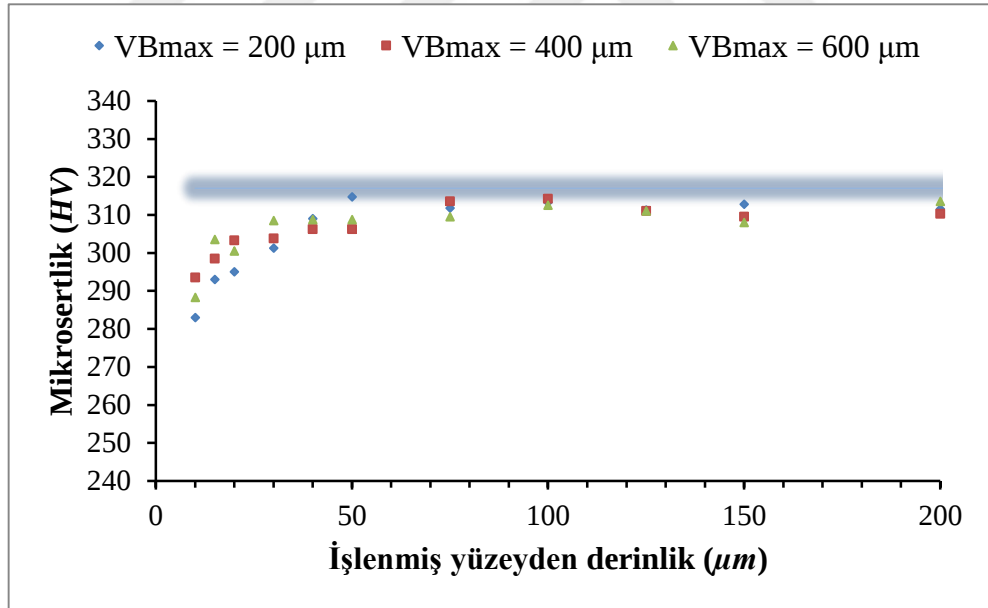


Şekil 3.49. MQL şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=120$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)

Şekil 3.50 ve 3.51’de farklı aşınma miktarlarında kriyojenik ve yüksek basınçlı soğutma yöntemlerinin kullanıldığı eğik kesme operasyonlarında kesici takım aşınmasının değişimine bağlı olarak işlenen parçaların yüzey altı sertlik değişimleri sunulmuştur. Diğer koşullarda elde edilen bulgularla benzer sonuçlar bu testlerde ölçülen sertlik değerlerindedir. Aşınmanın artmasıyla işlenen yüzeye yakın katmanlarda yumuşamanın azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak yüzdesel kıyaslama yapıldığında farklılıkların %5’in altında olduğu net olarak görülmektedir. Dolayısı ile soğutmanın uygulanması da yüzey altındaki yumuşamayı önleyememiştir.



Şekil 3.50. Kriyojenik şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=120$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)



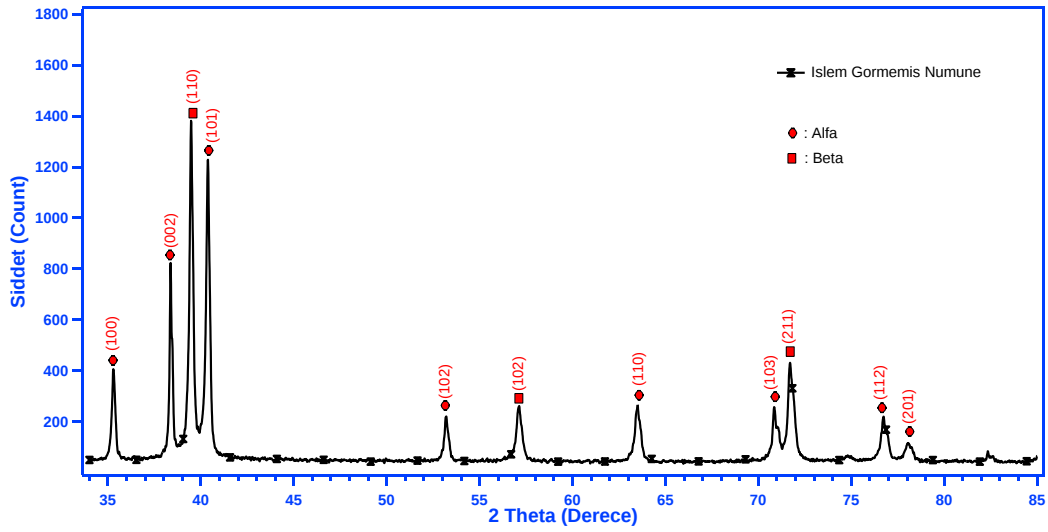
Şekil 3.51. HPC şartında ve kesici takım farklı aşınma miktarında iş parçası yüzeyaltında meydana gelen mikrosertlik değişimleri ($V_c=120$ m/dak ve $a_p=1.2$ mm)

3.5 XRD Faz Analizi Sonuçları

Deformasyon, mekanik ve termal etkilerin neden olduğu faz dönüşümü titanyum alaşımlarında çekme dayanımı, süneklik, tokluk gibi özellikleri etkileyebilmektedir (Donachie 2000). Literatürde Ti-5553 alaşım malzemesinin talaşlı imalat sürecinden kaynaklı faz dönüşümü üzerine kapsamlı bir çalışma yer almamaktadır. Yan ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarda Ti-5553 alaşım malzemesini kuru ve kesme sıvısı koşullarında delik delme işlemi uygulayarak kesme kuvvetleri, sıcaklık ve sertlik değerlerindeki değişimi incelemişlerdir (Yan vd. 2011). Kuru kesme koşullarında iş parçasında ölçülen sertlik artışını ω faz dönüşümünün yol açmış olabileceğini belirtmişlerdir (Yan vd. 2011). Burada belirtilmesi gereken husus bahsi geçen çalışmada faz dönüşümü ile ilgili herhangi bir ölçüm yapılmamış olup, sertlik değerinde meydana gelen değişimin ω faz dönüşümünden kaynaklanmış olabileceğinin belirtilmiş olmasıdır. α ve α arasında geçiş fazı olarak belirtilen isothermal ω fazı 350-400 °C sıcaklıkları arasında oluşup mikroyapı içerisinde küçük (10nm) boyutlarda bulunup oldukça gevrek (500Hv) ve işlenmesi zordur (Yan vd. 2013). Wagner ve arkadaşları Ti-5553 alaşım malzemesinin Ti-64'e göre sahip olduğu daha yüksek mekanik ve termal özellikler sebebiyle bu malzemenin talaşlı imalatı sırasında β dönüşüm sıcaklığı üzerinde daha yüksek ısı oluşumu gözlemlenmekte olduğu ve bu durumun talaşlı imalat sırasında malzemenin faz dönüşümüne sebep olabileceğini belirtmişlerdir (Wagner vd. 2009).

Görüldüğü gibi literatürde talaşlı imalat prosesi sonucunda bu malzemenin faz değişimi ve davranışı ile ilgili kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Herbert ve arkadaşlarına göre şiddette(intensity) meydana gelen farklılık tane boyutlarında değişim meydana geldiğini işaret etmektedir (Herbert vd. 2012). Dolayısıyla talaşlı imalat sürecinin yol açtığı faz dönüşümü üretilen komponentlerin yüzey ve yüzey altında mekanik ve termal özellikleri etkileyebilmektedir.

Çalışma kapsamında kullanmış olduğumuz bimodal(BM) mikroyapıya sahip ve mikroyapı özellikleri bir önceki bölümde tartışılan metastabil β Ti-5553 alaşım malzemesinin işlem görmemiş hali (as-receive) için X-Ray kırınım (XRD) tekniği kullanılarak elde edilmiş faz pikleri, bölgeleri ve düzlemleri (miller indisleri) Şekil 3.52'de gösterilmektedir.



Şekil 3.52. İşlenmemiş Ti-5553 alaşım malzemesinin faz pikleri

α ve β faz pikleri sırasıyla $35,4^\circ$ ve $38,5^\circ$ kırınım açılarında hekzagonal sıkı paket (HCP) $\alpha(100)$ ve $\alpha(002)$ pikler görülmektedir. $39,45^\circ$ 'de $(110)_\beta$ hacim merkezli kübik(HMK), $40,45^\circ$ 'de $\alpha(101)$ ve $53,30^\circ$ de $\alpha(102)$ indislerinde piklerin oluştuğu görülmektedir. Devamındaki pikler ve fazları Şekil 3.52'de sunulmuştur. Bahsi geçen bu pikler mikro yapının bimodal mikroyapı (BM) olduğunu göstermektedir (Huang vd. 2017). Bimodal mikroyapılı alaşımın deformasyon davranışı yapıda yer alan küresel formulu birincil α_p (primary alfa) fazların dışsal etkiler (termal-mekanik prosesler) ile kaymaları tarafından etkilenmektedir (Huang vd. 2017). Bu pikler haricinde, Şekil 3.52'de sunulan ve $53,30^\circ$ ile 80° derece arasında gösterilen diğer pikler ise Campo ve arkadaşlarının (Campo vd. 2016) çalışmaları referans alınarak belirlenmiştir.

Alaşımın bileşimi ve soğutma oranına bağlı olarak kübik beta / hekzagonal alfa faz dönüşümü martenzitik şekilde veya difüzyon yoluyla meydana gelir (Clément 2010). Ti-5553 alaşım malzemesi için martenzit dönüşüm kristal yapıdaki atomların düzenli kayma hareketini neticesinde oluşmaktadır ve bu dönüşüm $[111]_\beta (11-2)_\beta$ ve $[111]_\beta (-101)_\beta$ kayma sistemlerinin aktivasyonu neticesinde elde edilmektedir. Bu şekilde oluşan hekzagonal martenzit α' iğnemi (mikroyapıda) morfolojisi ile fazla doymuş dengede olmayan-düzensi (non-equilibrium) hcp α yapı olarak görülür (Clément 2010).

Titanyum malzemelerde alaşım elementlerinin sayısı arttıkça hekzagonal simetri kaybolur ve yeni yapı bununla uyumlu olan martenzit α'' ortorombik sistem olarak tanımlanır (Clément 2010). Saf titanyumun M_s sıcaklığı 850°C iken β stabillerin artması ile bu

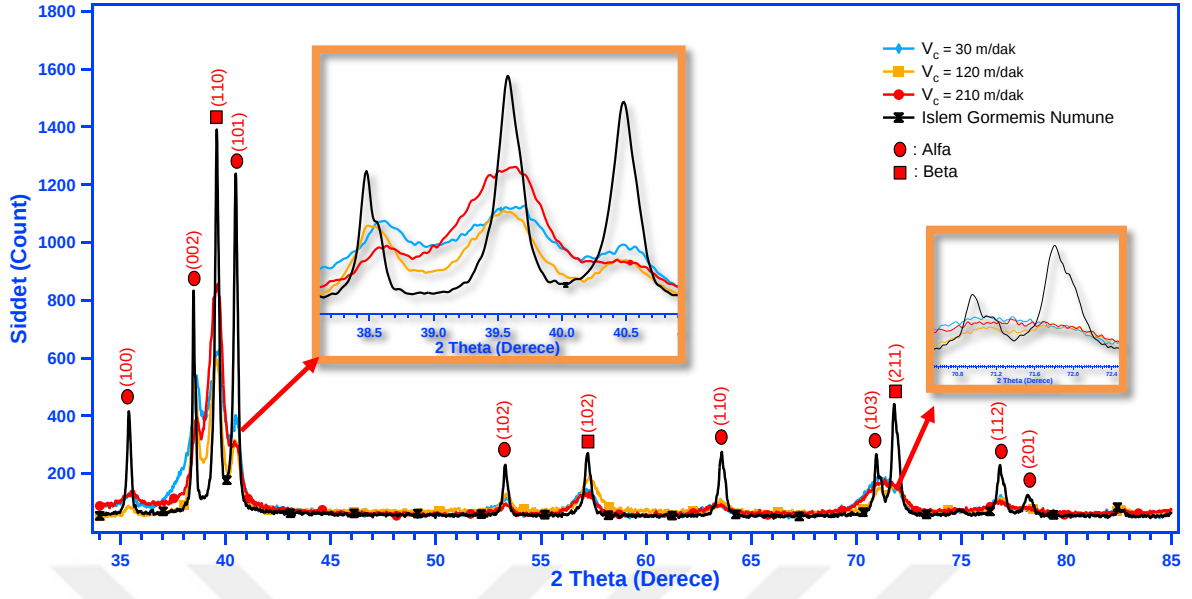
sıcaklık düşer. β faz, sıcaklığa bağlı (athermal) ω faz olarak tanımlanan yapıda çözünebilir (ayrışır-yok olur) (Clément 2010).

Bu genel değerlendirmeler kapsamında Ti-5553 alaşımın işlenmesinde yüzey kristal yapısındaki değişim ve XRD analizi aşağıda sunulmuştur. Daha önceki bölümlerde olduğu gibi farklı soğutma ve yağlayıcıların, kesme hızının, kesme derinliği ve ısıtma işlem sonrası talaş kaldırmanın malzemenin yüzey katmanındaki faz yapısına etkisi sunulmuştur.

3.5.1 Eğik Kesme Operasyonunda Kullanılan Soğutucu ve Yağlayıcıların İşlenen Parçalarda Yüzey Faz Karakteristiklerine Etkisi

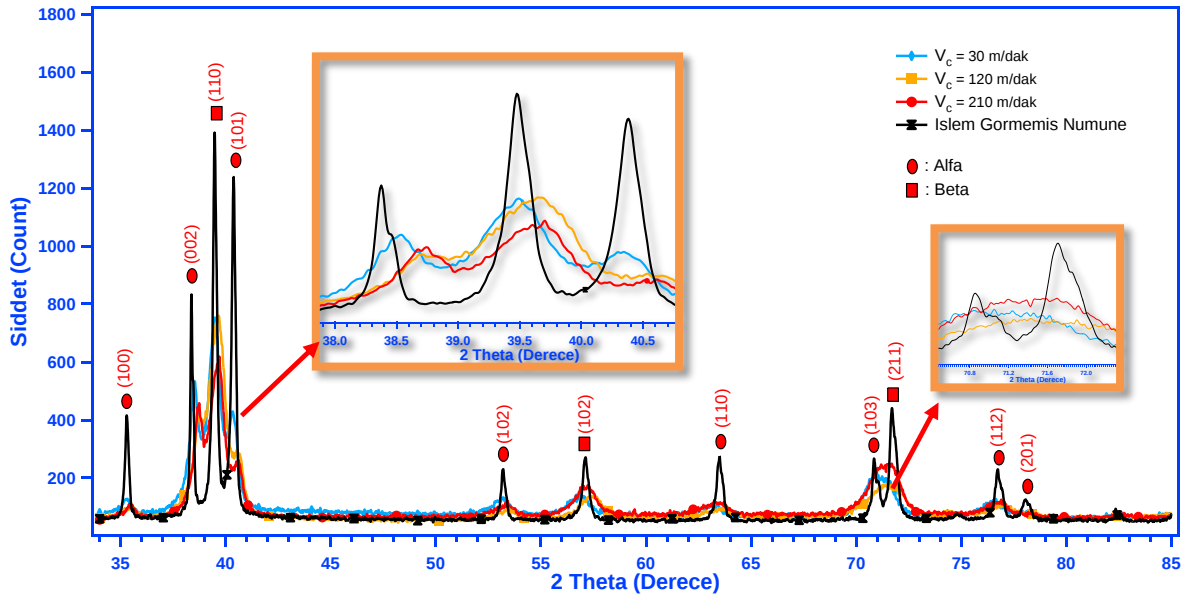
Faz analizi ile ilgili bir önceki bölümde belirtildiği gibi farklı kesme parametre koşullarında gerçekleştirilen talaşlı imalat deneyleri sırasında kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklık ve/veya mekanik etkiler kendine has çok fazlı yapıya sahip olan Ti-5553 alaşım malzemesinde faz dönüşümüne neden olabilecek ve bu dönüşüm nihai ürünün fonksiyonel performansını olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilecektir. Bu bağlamda yüzey bütünlüğü analizi çalışmaları kapsamında bu bölümde 0.15 mm/dev ilerleme, 1.2 mm kesme derinliği ve 20-120-210 m/dak kesme hızı değerleri kullanılarak kuru, kriyojenik, MQL, HPC, kesme sıvısı ve CO₂ koşullarında kesme işlemi ile üretilen numunelerin XRD faz analizi sunulmuştur.

Şekil 3.53'te kuru kesme koşulunda 30, 120 ve 210 m/dak kesme hızı değerlerinde elde edilen faz piklerindeki değişim gösterilmektedir. Görüldüğü gibi düşük kesme hızı değerlerinde (30 m/dak) deformasyon oranına bağlı olarak piklerde azalma ve yanlara doğru genişleme (peak broadening) meydana gelirken, yüksek kesme hızlarında termal etkilere bağlı olarak piklerde artış gözlemlenmiştir. Buna ilaveten farklı kesme hızı değerlerinde kuru kesme koşulu için 2 theta 38,5° (002) α düzleminde piklerde kayma (shifting) meydana gelmiştir. Ayrıca 50 derece ve sonrasındaki 2 theta'da özellikle α piklerinde önemli genişleme ve şiddetlerinde azalma görülmektedir.



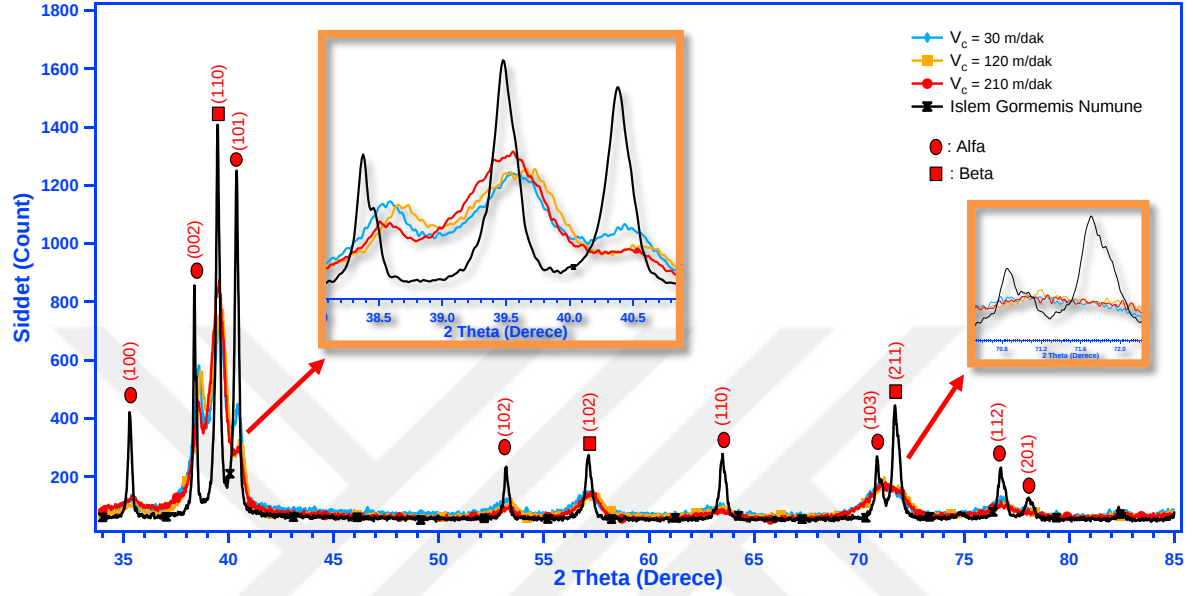
Şekil 3.53. Kuru kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi

Şekil 3.54'te kriyojenik kesme koşulunda 30,120 ve 210 m/dak kesme hızı değerlerinde elde edilen faz piklerindeki değişim gösterilmektedir. Kuru kesme koşullarında elde edilen faz piklerinin farklı olarak kriyojenik koşullarda yüksek kesme hızında β faz pikinin şiddetinin azaldığı α faz piklerinin ise arttığı görülmektedir. 120 ve 210 m/dak kesme hızı değerlerinde piklerde 2 theta 90° yönüne doğru kayma görülmektedir.



Şekil 3.54. Kriyojenik kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi

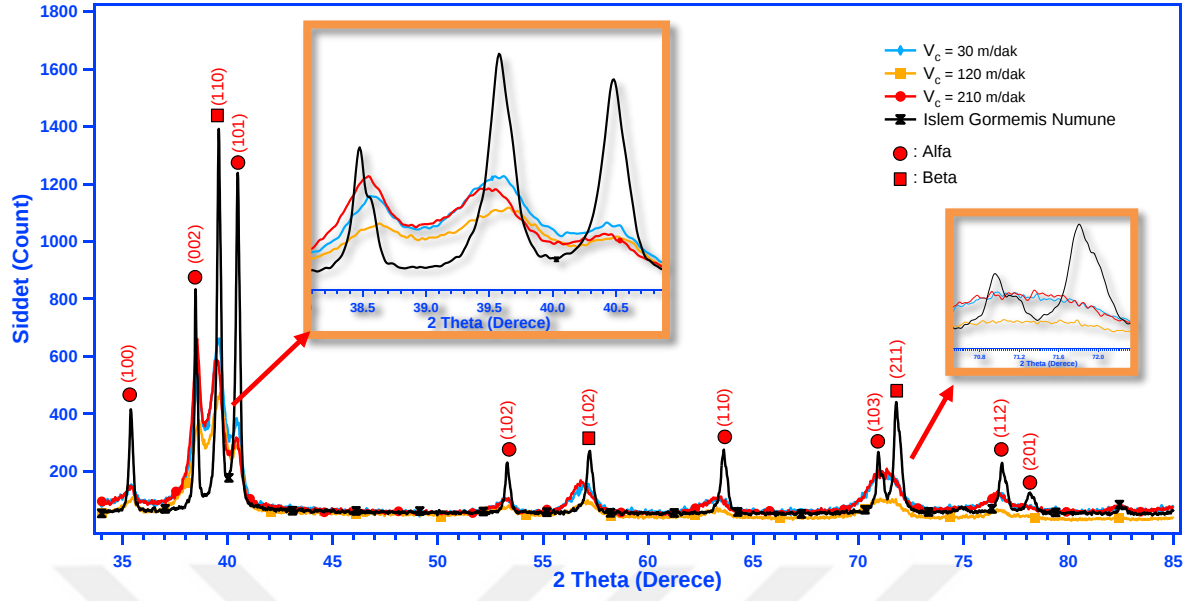
Şekil 3.55'te MQL kesme koşulları altında faz piklerinde meydana gelen değişim gösterilmektedir. MQL koşulda işlenen numunelerin kuru ve kriyojenikte olduğu gibi genişledikleri ve şiddetlerinin işlenmemiş malzemeye göre düşük olduğu görülmektedir. Kesme hızı açısından değerlendirildiğinde önemli bir farklılık gözlemlenmemiştir.



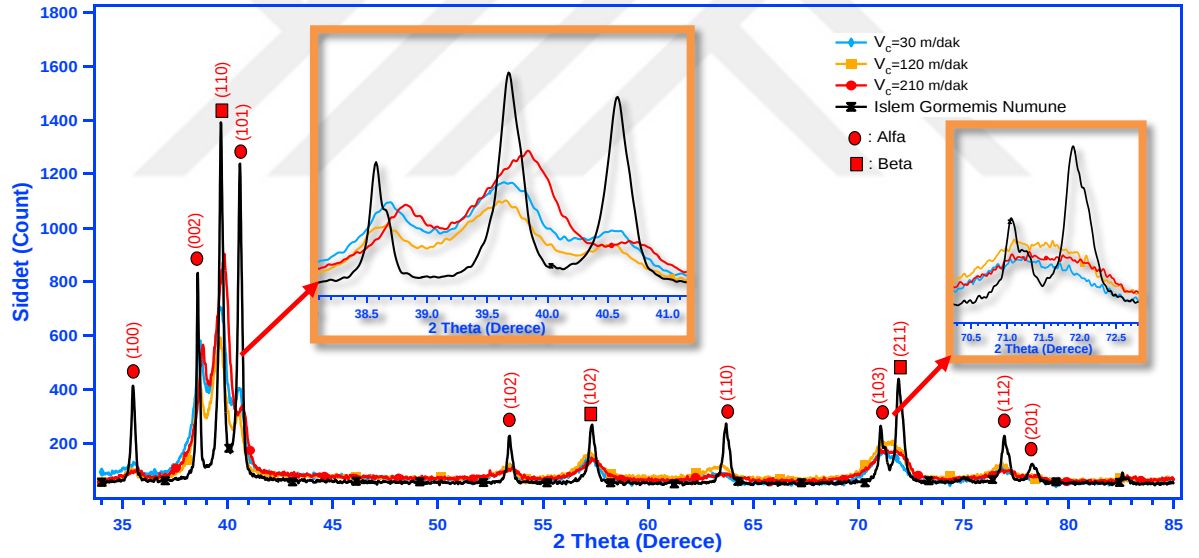
Şekil 3.55. MQL kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi

Şekil 3.56'da HPC kesme koşulunda 30,120 ve 210 m/dak kesme hızı değerlerinde elde edilen faz piklerindeki değişim gösterilmektedir. Bu sonuçlarda en belirgin farklılık 120 m/dak kesme hızında görülmektedir. Bu hızdaki tüm pik değerlerin şiddetinde azalma görülmektedir. Bunun haricinde işlenmemiş malzemenin XRD datasına göre işlenmiş malzemelerde pik genişlemesi ve şiddetlerinde azalma görülmektedir.

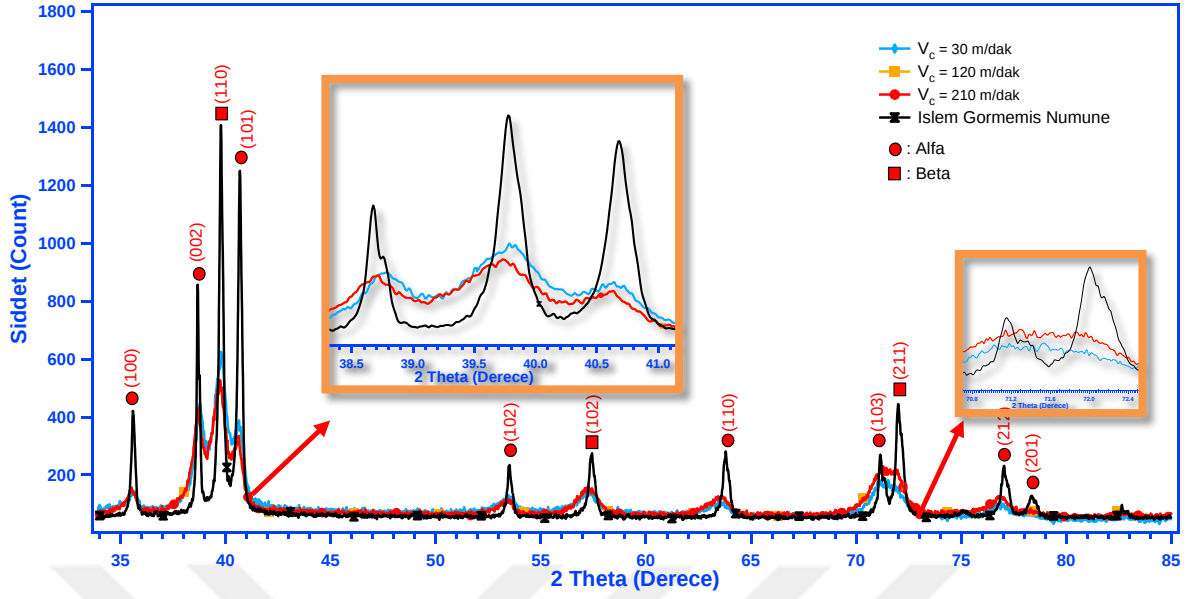
Şekil 3.57'de karbondioksit koşulunda 30,120 ve 210 m/dak kesme hızı değerlerinde elde edilen faz piklerindeki değişim gösterilmektedir. Diğer kesme koşullarına benzer şekilde karbondioksit ile soğutmanın kullanıldığı kesme operasyonu ile elde edilen numunenin yüzey bölgesinde işlenmemiş numunenin piklerine nazaran genişlemeler ve şiddette azalmalar görülmektedir. Bu durum Şekil 3.58'de sunulan kesme sıvısı koşulları içinde geçerlidir.



Şekil 3.56. HPC kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi



Şekil 3.57. CO₂ ile kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi



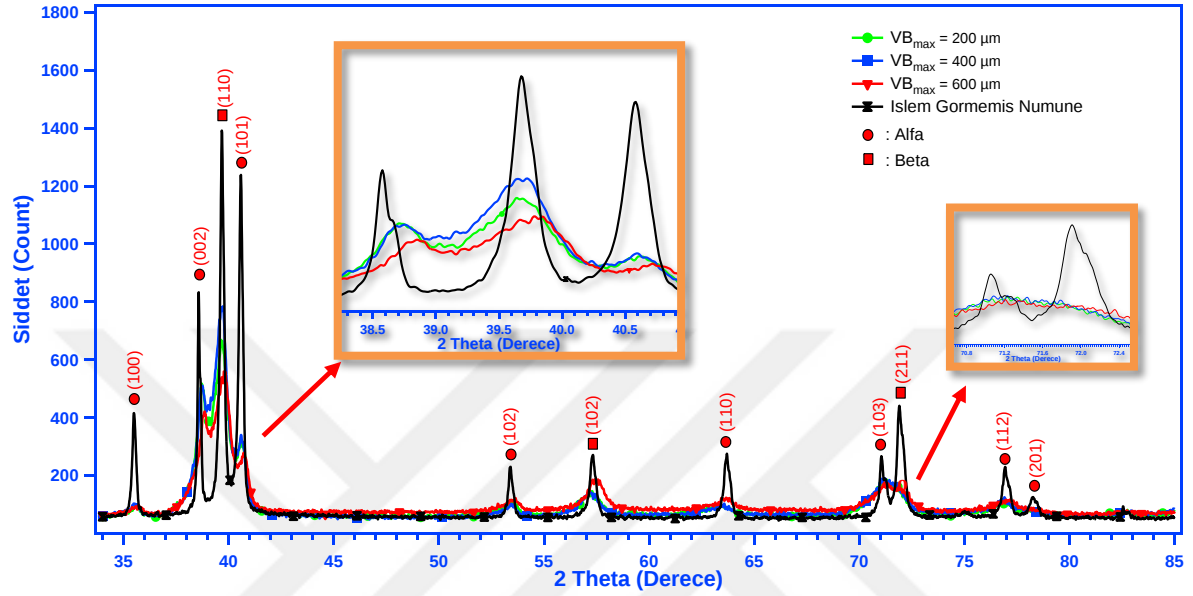
Şekil 3.58. Kesme sıvısı ile kesme koşullarında eğik kesmede farklı kesme hızlarında işlenen parçaların XRD analizi

3.5.2 Takım Ömrü Deneyleri Sonucu İşlenmiş Numunelerin Faz Analizi ve Deneysel Bulgular

Faz analizi ile ilgili bir önceki bölümde belirtildiği gibi farklı kesme parametre koşullarında gerçekleştirilen talaşlı imalat deneyleri sırasında kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklık ve/veya mekanik etkiler kendine has çok fazlı yapıya sahip olan Ti-5553 alaşım malzemesinde faz dönüşümüne neden olabilecek ve bu dönüşüm nihai ürünün fonksiyonel performansını olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilecektir. Talaş kaldırma esnasında kesici takım aşınmasının artması kesici takımın burun bölgesi ile iş parçası arasındaki temas alanını doğal olarak arttırmaktadır. Temas artışı sürtünmeyi ve dolayısıyla işlenen yüzeyin maruz kaldığı gerilme dağılımını etkilemektedir. İlave, işlenen yüzey ve yüzeyaltındaki kesme esnasındaki sıcaklıkta aşınmanın artmasına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu fiziksel değişimler işlenen yüzeydeki kristal yapı üzerinde etkili olabileceği öngörülerek kesici takım aşınması ile işlenen parçaların XRD dataları arasındaki ilişki bu bölümde araştırılmış ve incelenmiştir. 120 m/dak kesme hızında ve 1.2 mm kesme derinliğinde yapılan takım ömrü testlerindeki numuneler üzerinde XRD analizleri yapılmış ve aşağıda Şekil 3.59-3.63 aralığında sunulmuştur.

Şekil 3.59’da kuru kesme koşulu altında ve farklı serbest yüzey aşınması $VB_{max} = 200, 400$ ve $600 \mu m$ değerlerinde elde numunelerin faz piklerindeki değişimler gösterilmektedir.

XRD analizi ile elde edilen grafik incelendiğinde, alfa(100) fazının oldukça azaldığı gözlemlenmektedir. İlave olarak beta(110) fazında da önemli azalmalar her üç aşınma miktarı içinde gözlemlenmiştir ve faz piklerinde genişleme olmuştur. Yine aynı bölgedeki en büyük pik şiddetine serbest yüzey aşınma değeri 400 μm olan testte ölçülmüştür.

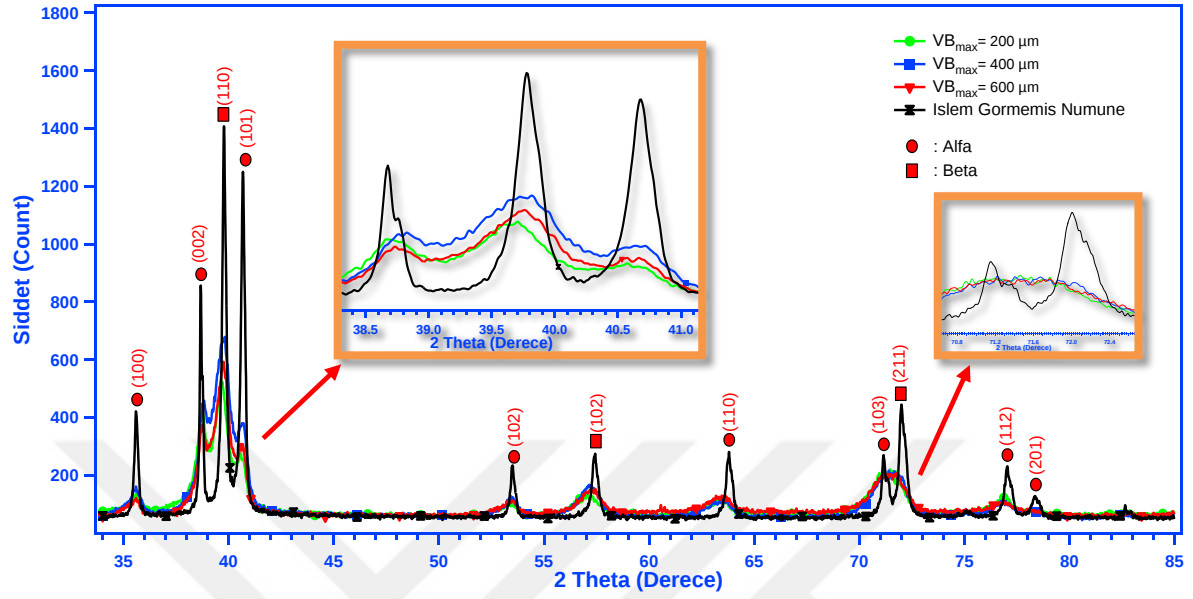


Şekil 3.59. Kuru kesme koşulunda kesici takım serbest yüzey aşınmasındaki değişimin işlenen parçanın yüzeyinde kristal yapıya ve faza etkisi ($V_c = 120 \text{ m/dak}$)

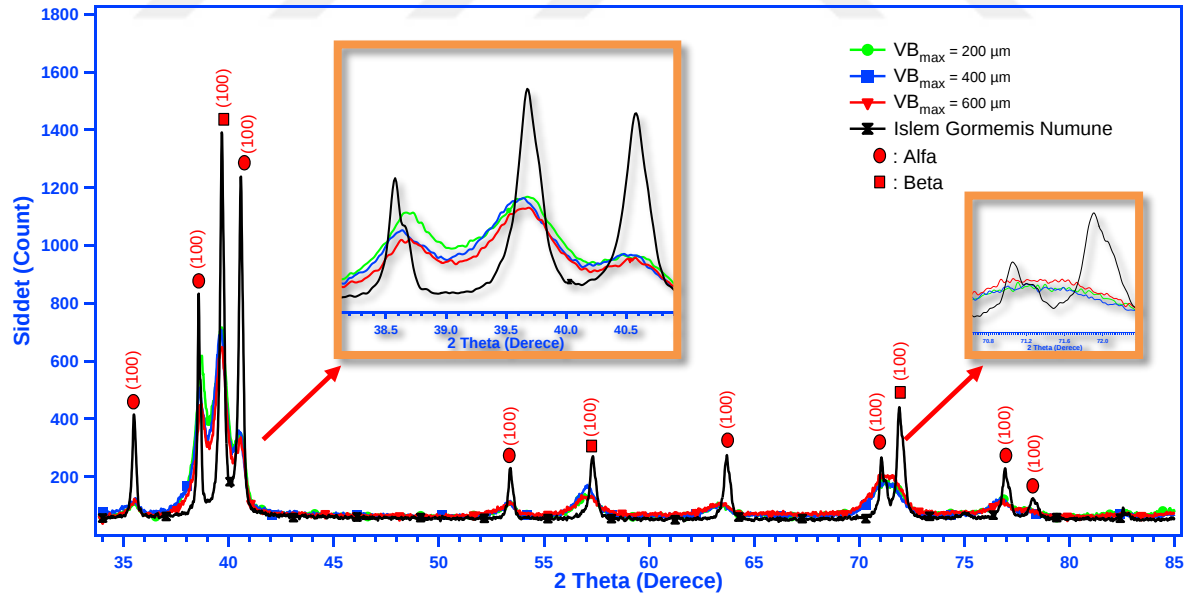
Şekil 3.60'ta kesme sıvısı koşulu altında ve farklı serbest yüzey aşınması $VB_{max} = 200, 400$ ve $600 \mu\text{m}$ değerlerinde elde edilen numunelerin faz piklerindeki değişimler gösterilmektedir. Kuru kesme koşulundan farklı olarak farklı aşınmalar sonucu elde edilen numunelerin (110) beta fazlarının şiddetinin daha da azaldığı görülmektedir. Kuru kesmeye benzer olarak (110) beta fazının en yüksek şiddete sahip olduğu serbest yüzey aşınması $400 \mu\text{m}$ olmuştur. Şiddetlerdeki azalmayla birlikte piklerde genişleme de görülmektedir.

Şekil 3.61'de HPC koşulu altında ve farklı serbest yüzey aşınmasının, Şekil 3.62'de kriyojenik koşullar altında farklı serbest yüzey aşınmalarının ve Şekil 3.63'te ise MQL koşullarında farklı serbest yüzey aşınmalarının $35-85$ derece aralığındaki 2θ açılarında alfa ve beta faz piklerinin davranışları sunulmuştur. Hepsinde ortak nokta, tek paso sonuçlarında olduğu gibi hem alfa hem beta piklerinde piklerin işlenmemiş Ti-5553 alaşımın piklerine nazaran şiddetlerinde önemli oranda azalma olduğu ve aynı zamanda piklerde genişleme olduğu görülmektedir. Ancak not edilmesi gereken husus, farklı

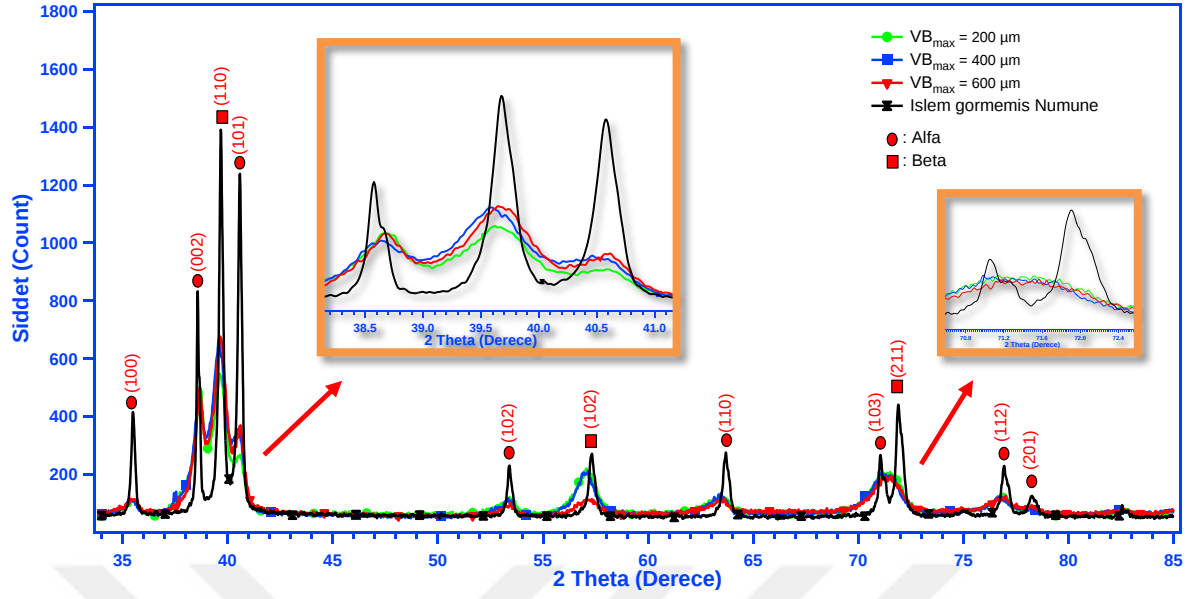
miktarlardaki aşınmanın pik davranışlarına ve fazlara önemli ölçüde etkisi gözlemlenmemiştir.



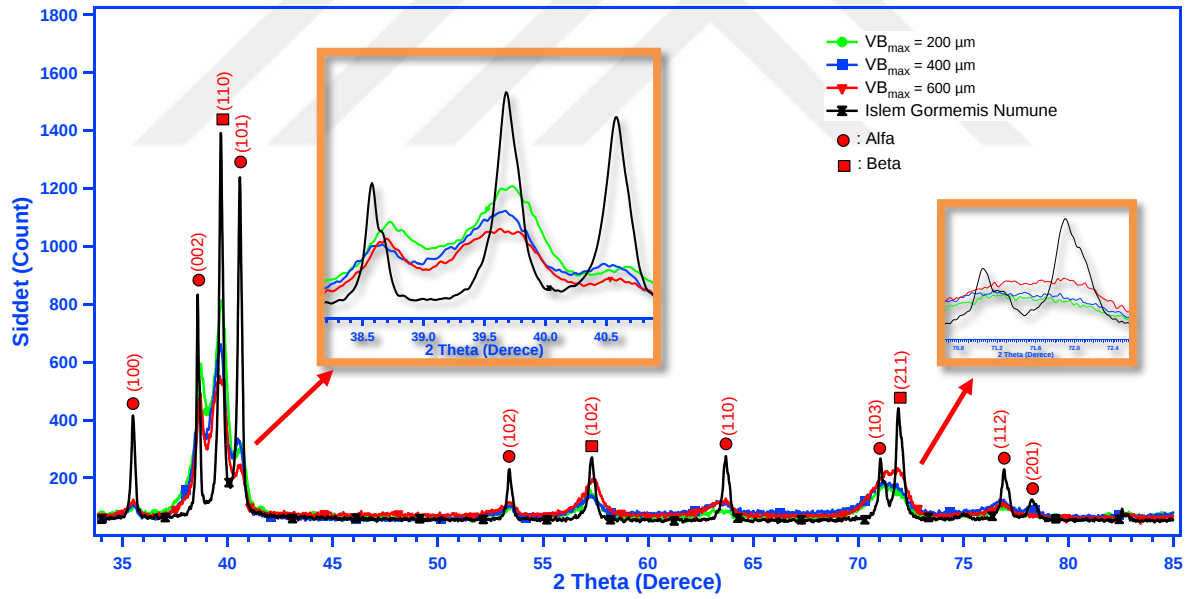
Şekil 3.60. Kesme sıvısı koşulunda kesici takım serbest yüzey aşınmasındaki değişimin işlenen parçanın yüzeyinde kristal yapıya ve faza etkisi ($V_c=120$ m/dak)



Şekil 3.61. HPC kesme koşulunda kesici takım serbest yüzey aşınmasındaki değişimin işlenen parçanın yüzeyinde kristal yapıya ve faza etkisi ($V_c=120$ m/dak)



Şekil 3.62. Kriyojenik kesme koşulunda kesici takım serbest yüzey aşınmasındaki değişimin işlenen parçanın yüzeyinde kristal yapıya ve faza etkisi ($V_c = 120$ m/dak)



Şekil 3.63. MQL kesme koşulunda kesici takım serbest yüzey aşınmasındaki değişimin işlenen parçanın yüzeyinde kristal yapıya ve faza etkisi ($V_c = 120$ m/dak)

4. SONUÇLAR

Ti-5553 alaşımların talaşlı imalat süreçlerinde eğik kesme için farklı kesme koşulları, kesme hızları ve kesici takım aşınma miktarları dikkate alınarak işlenen parçaların yüzey bütünlüğü analizi yapılmıştır. Eğik kesmede ölçülen yüzey bütünlüğü karakteristikleri aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü, yüzey topografisi, mikroyapı, mikrosertlik ve faz dönüşümü olmuştur.

Seçilen kesme parametrelerinde işlenen parçaların aritmetik ortalama yüzey pürüzlülükleri genellikle 1 μm 'nin altında kalmıştır. Bu değerden sapmalar ise genellikle işlenen yüzeydeki topografik kusurlar sonucudur. Özellikle yığma ağız ve bunun sonucunda talaş kırıntılarının işlenen yüzeye yapışmasıyla artan ortalama yüzey pürüzlülükleri olmuştur. Dolayısı ile Ti-5553 alaşımları yüksek kesme hızlarında işlenildiğinde yüzey pürüzlülüğünde önemli bir artış söz konusu olmadığı bu çalışma ile görülmüştür. İlaveten aşınmanın 600 μm 'ye kadar ulaşmasında yüzey pürüzlülüğünde önemli artışa sebep olmamaktadır. Ancak artan aşınma miktarının işlenen parçanın topografisinde önemli bozulmalara neden olduğu da görülmektedir ki bu durum artan aşınma sonucunda beklenen bir durumdur. Diğer birçok mühendislik malzemesinde olduğu gibi Ti-5553 alaşımının işlenmesinde de benzer durum söz konusu olmuştur. Yüzey kalitesi ve topografik açıdan değerlendirildiğinde diğer tüm koşullara nazaran yüksek basınçlı soğutma sıvısının kullanımının Ti-5553 alaşımının işlenmesinde önemli katkı sağladığı söylenebilir. Özellikle kesme sıvısı ve kuru kesmede düşük aşınma miktarlarında bozulan topografi, yüksek basınçlı soğutmada aşınmanın artmış olduğu durumda dahi topografi halen kararlılığını korumaktadır. Dolayısı ile yüksek basınçlı soğutma ile bu malzemenin yüksek kesme hızlarında yüksek performans ile işlenmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Esasında Ti esaslı ve Ni esaslı işlenmesi zor malzemelerin işlenebilme performansını arttırdığı literatürde rapor edilen yüksek basınçlı soğutma (Ezugwu ve Bonney 2004;Birmingham vd. 2012) ve Ti-5553 alaşımının işlenmesinde de nispeten düşük kesme hızlarında da yüzey kalitesinin iyileştirilmesi konusunda iyi performans gösteren yüksek basınçlı soğutma (Braham-Bouchnak vd. 2015), yüksek kesme hızlarında da aynı performansı gösterdiği bu çalışma ile ortaya konmuştur. Bunun temel sebebi ise yüksek basınçlı soğutmanın doğası gereği kesme bölgesindeki ısıyı düşürerek aşınmayı

geciktirmesi ve aynı zamanda talaşın kontrol edilmesine önemli katkı sunması ile hem aşınmanın hem de talaşın işlenen yüzeye olabilecek olumsuz etkisini minimize etmektedir.

Ti-5553 alaşımının işlenmesi sonucunda işlenen yüzey ve yüzeyaltını mikroyapısal açıdan değerlendirdiğimizde literatür açısından önemli bulgular elde edilmiştir. Bilindiği kadarı ile dünya literatüründe Ti-5553 alaşımının işlenmesi sonucu daha önce gözlemlenmeyen sonuçlara bu çalışma ile ulaşılmıştır. Bunları şu şekilde ifade edebiliriz. Kesici takım aşınmasının artması yüzey altı karakteristiğini kayda değer oranda etkilememektedir. Dolayısı ile işlenen parçada talaş kaldırmanın etkisi kesici takım aşınmasını ile orantılı değildir. Diğer taraftan eğik kesmede en yüksek kesme hızlarında dahi yüzeyaltı etkilenmiş katman derinliği parçanın fonksiyonelliğini etkileyecek noktada değildir. Özellikle bu sonuca ulaşılırken yüzey bütünlüğü kapsamında yapılan diğer XRD ve sertlik analizleri de dikkate alınmıştır. İşlenen parçanın yüzey altı özellikleri kesme hızından ziyade talaş derinliğinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu durumda yüksek kesme hızlarında bu malzemenin işlenmesinde mikroyapısallık açısından sorun görülmemektedir. Ancak kesme derinliğinde yüksek seçildiği durumlarda mikroyapının talaş kaldırmadan etkilendiği görülmektedir. Talaşlı imalat sürecinde malzemenin mikroyapısal değişiminde işlenecek malzemenin ısıtılma işlemi görüp görmediği (tavlanıp tavlanmadığı) önem arz etmektedir. Özellikle bu çalışmada elde edilen bulgular ısıtılma işlemi öncesi ve sonrası talaş kaldırmanın malzeme mikroyapısına önemli etkisinin olduğunu göstermiştir. Özellikle bimodal yapıda alfa ve beta fazlarının var olduğu koşullarda işlemlerde tane küçülmesinin olduğu ve yeni oluşan tanelerin boyutlarının genellikle 1 μm 'nin altında olduğu görülmüştür. Mikroyapının mekanik karakteristikiği açısından değerlendirildiğinde mikrosertliğinde genel eğilimin azalma şeklinde olduğu görülmüştür. Kesici takım aşınmasının olduğu çoklu pasolarda ve aşınmanın oldukça limitli olduğu tekli pasolarda da genel eğilim ısıtılma yumuşama şeklinde olmuştur. Ancak burada not edilmesi gereken husus ısıtılma yumuşamanın etkin olduğu derinlik genelde 75 μm 'nin altındadır. Diğer taraftan ısıtılma yumuşama olarak değerlendirilebilen sertlikteki azalmanın literatürde yeniden kristalleşme (DRX) olarak ifade edilen tane boyutlarındaki değişim sonucunda oluştuğu ifade edilmektedir (Tan vd. 2015). Benzer bulgular özellikle malzemenin farklı deformasyon hızlarında ve sıcaklıklarda elde edilen gerilme birim şekil değiştirme davranışında da gözlemlenmiştir (Hua vd. 2014). Farklı bir kaynakta ise α tanelerin kaybolduğundan dolayı tane küçülmesi olmasına rağmen sertlikte azalma olduğu ifade

edilmektedir (Dalgaard vd. 2012). Oysa bu tezde elde edilen sonuçlar α fazı olmasına rağmen yumuşamanın olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan özellikle 210 m/dak kesme hızında faz dönüşümü XRD analizi ile net olarak ölçülmüştür ve yüksek deformasyon hızlarında tane küçülmesiyle birlikte α fazının yok olduğu görülmektedir ki sadece β fazı görülmüştür. Bu durumda da sertlikte düşüş devam etmiştir. Isıl işlem sonrası β fazına dönüşen malzemenin talaşlı imalat sürecinde yeni bir faz dönüşümü gözlemlenmemiş olup, sadece mikroyapıda artan dislokasyon yoğunluğu nedeniyle (sertlik artışı buna kanıttır) piklerin şiddetlerinde azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak yüzey bütünlüğü bulguları mevcut durumda henüz literatürde yer almayan bazı önemli sonuçları içermektedir.



KAYNAKLAR

Aeby-Gautier, E., Appolaire, B. Ecole de Mines de Nancy, France.

Arrazola, P.-J., Garay, A., Iriarte, L.-M., Armendia, M., Marya, S., Le Maitre, F. (2009) Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555. 3). Journal of materials processing technology, 209(5), 2223-2230.

Baili, M., Wagner, V., Dessein, G., Sallaberry, J., Lallement, D. (2011) An experimental investigation of hot machining with induction to improve Ti-5553 machinability. Applied mechanics and Materials, Trans Tech Publ.

Banerjee, N., Sharma, A. (2014) Identification of a friction model for minimum quantity lubrication machining. Journal of cleaner production, 83, 437-443.

Banerjee, N., Sharma, A. (2016) Development of a friction model and its application in finite element analysis of minimum quantity lubrication machining of Ti-6Al-4V. Journal of Materials Processing Technology, 238, 181-194.

Boyer, R. (1996) An overview on the use of titanium in the aerospace industry. Materials Science and Engineering: A, 213(1), 103-114.

Boyer, R. (2010) Attributes, characteristics, and applications of titanium and its alloys. JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, 62(5), 21-24.

Braham-Bouchnak, T., Germain, G., Morel, A., Furet, B. (2015) Influence of high-pressure coolant assistance on the machinability of the titanium alloy Ti555-3. Machining Science and Technology, 19(1), 134-151.

Braham-Bouchnak, T., Germain, G., Morel, A., Lebrun, J.-L. (2013) The influence of laser assistance on the machinability of the titanium alloy Ti555-3. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 68(9-12), 2471-2481.

Braham-Bouchnak, T., Germain, G., Morel, A., Lebrun, J. L. (2013) The influence of laser assistance on the machinability of the titanium alloy Ti555-3. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 68(9-12), 2471-2481.

Bruhis, Y., Sebring, W., Noland, D. (2008) High performance milling in aerospace materials. Meeting the Continuous Challenges of Machining New Innovative Material. Amherst.

Campo, K., Andrade, D., Opini, V., Mello, M., Lopes, E., Caram, R. (2016) On the hardenability of Nb-modified metastable beta Ti-5553 alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 667, 211-218.

Caruso, S., Di Renzo, S., Umbrello, D., Jayal, A. D., Dillon, O., Jawahir, I. (2011) Finite element modeling of microstructural changes in hard turning. *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publ.

Ceretti, E., Lucchi, M., Altan, T. (1999) FEM simulation of orthogonal cutting: serrated chip formation. *Journal of Materials Processing Technology*, 95(1-3), 17-26.

Clément, N. (2010) Phase transformations and mechanical properties of the Ti-5553 beta-metastable titanium alloy. Institut de Mécanique, Matériaux et génie civil, vol. PhD: Ecole polytechnique de Louvain, 324.

Cockcroft, M., Latham, D. (1968) Ductility and the workability of metals. *J Inst Metals*, 96(1), 33-39.

Ding, H., Shin, Y. C. (2014) Dislocation density-based grain refinement modeling of orthogonal cutting of titanium. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 136(4), 041003.

Donachie, M. J. (2000) *Titanium: a technical guide*, ASM international.

Ezugwu, E. (2005) Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(12), 1353-1367.

Ezugwu, E., Bonney, J., Yamane, Y. (2003) An overview of the machinability of aeroengine alloys. *Journal of materials processing technology*, 134(2), 233-253.

Ezugwu, E., Wang, Z. (1997) Titanium alloys and their machinability—a review. *Journal of materials processing technology*, 68(3), 262-274.

Fan, X., Zhang, Y., Gao, P., Lei, Z., Zhan, M. (2017) Deformation behavior and microstructure evolution during hot working of a coarse-grained Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr-1Zr titanium alloy in beta phase field. *Materials Science and Engineering: A*, 694, 24-32.

Field, M., Kahles, J. F., Cammett, J. (1972) Review of measuring methods for surface integrity. *CIRP*, 21(2), 219-238.

Gerday, A.-F. (2009) Mechanical behavior of Ti-5553 alloy. Modeling of representative cells.

Germain, G., Morel, A., Braham-Bouchnak, T. (2013) Identification of material constitutive laws representative of machining conditions for two titanium alloys: Ti6Al4V and Ti555-3. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 135(3), 031002.

Ginting, A., Nouari, M. (2009) Surface integrity of dry machined titanium alloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(3), 325-332.

Greenfield, M. A., Margolin, H. (1971) The interrelationship of fracture toughness and microstructure in a Ti-5.25 Al-5.5 V-0.9 Fe-0.5 Cu alloy. *Metallurgical Transactions*, 2(3), 841-847.

Grosdidier, T., Roubaud, C., Philippe, M.-J., Combres, Y. (1997) The deformation mechanisms in the β -metastable β -Cez titanium alloy. *Scripta materialia*, 36(1), 21-28.

Hajari, A., Morakabati, M., Abbasi, S. M., Badri, H. (2017) Constitutive modeling for high-temperature flow behavior of Ti-6242S alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 681, 103-113.

Herbert, C., Axinte, D., Hardy, M., Brown, P. D. (2012) Investigation into the Characteristics of White Layers Produced in a Nickel-Based Superalloy From Drilling Operations. *Machining Science and Technology*, 16(1), 40-52.

Huang, C., Zhao, Y., Xin, S., Zhou, W., Li, Q., Zeng, W. (2017) Effect of microstructure on tensile properties of Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr-1Zr alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 693, 582-591.

Huang, J., Wang, Z., Xue, K. (2011) Cyclic deformation response and micromechanisms of Ti alloy Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr-0.5 Fe. *Materials Science and Engineering: A*, 528(29), 8723-8732.

Jafarian, F., Ciaran, M. I., Umbrello, D., Arrazola, P., Filice, L., Amirabadi, H. (2014) Finite element simulation of machining Inconel 718 alloy including microstructure changes. *International Journal of Mechanical Sciences*, 88, 110-121.

Jawahir, I., Brinksmeier, E., M'saoubi, R., Aspinwall, D., Outeiro, J., Meyer, D., Umbrello, D., Jayal, A. (2011) Surface integrity in material removal processes: Recent advances. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 60(2), 603-626.

Johnson, G. R., Cook, W. H. (1983) A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures. *Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics*, The Hague, The Netherlands.

Johnson, G. R., Cook, W. H. (1983) A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures. *Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics*, The Netherlands.

Jones, N., Dashwood, R., Jackson, M., Dye, D. (2009) Development of chevron-shaped α precipitates in Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr. *Scripta Materialia*, 60(7), 571-573.

Kaynak, Y., Gharibi, A., Ozkutuk, M. (2018) Experimental and numerical study of chip formation in orthogonal cutting of Ti-5553 alloy: the influence of cryogenic, MQL, and high pressure coolant supply. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1-4), 1411-1428.

Kaynak, Y., Lu, T., Jawahir, I. (2014) Cryogenic machining-induced surface integrity: a review and comparison with dry, MQL, and flood-cooled machining. *Machining science and technology*, 18(2), 149-198.

Kaynak, Y., Tobe, H., Noebe, R., Karaca, H., Jawahir, I. (2014) The effects of machining on the microstructure and transformation behavior of NiTi Alloy. *Scripta Materialia*, 74, 60-63.

Khan, A. S., Suh, Y. S., Kazmi, R. (2004) Quasi-static and dynamic loading responses and constitutive modeling of titanium alloys. *International Journal of Plasticity*, 20(12), 2233-2248.

Khanna, N., Sangwan, K. S. (2013) Interrupted machining analysis for Ti6Al4V and Ti5553 titanium alloys using physical vapor deposition (PVD)-coated carbide inserts. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture, 227(B3), 465-470.

Lenain, A. (2007) Relationships between thermomechanical processing, microstructure and mechanical properties of the beta metastable Ti-LCB alloy, UCL.

Li, C., Chen, J., Li, W., He, J., Qiu, W., Ren, Y., Chen, J., Chen, J. (2015) Study on the relationship between microstructure and mechanical property in a metastable β titanium alloy. Journal of Alloys and Compounds, 627, 222-230.

Lo, S.-P. (2000) An analysis of cutting under different rake angles using the finite element method. Journal of Materials Processing Technology, 105(1), 143-151.

Lütjering, G., Williams, J. C. (2003) Titanium, Springer.

M'Saoubi, R., Outeiro, J., Chandrasekaran, H., Dillon Jr, O., Jawahir, I. (2008) A review of surface integrity in machining and its impact on functional performance and life of machined products. International Journal of Sustainable Manufacturing, 1(1-2), 203-236.

Manual, D. (2015) User Manual SFTC- Deform V11. Scientific Forming Technologies Corporation Ed, Columbus, OH, USA.

Nag, S. (2008) Influence of beta instabilities on the early stages of nucleation and growth of alpha in beta titanium alloys, The Ohio State University.

Nag, S., Banerjee, R., Srinivasan, R., Hwang, J., Harper, M., Fraser, H. (2009) ω -Assisted nucleation and growth of α precipitates in the Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr-0.5 Fe β titanium alloy. Acta Materialia, 57(7), 2136-2147.

Nair, S. B. (2016) Effect of Thermomechanical Processing on Microstructure and Microtexture Evolution in Titanium Alloys, Indian Institute of Science Bangalore.

Nemat-Nasser, S., Guo, W.-G., Nesterenko, V. F., Indrakanti, S., Gu, Y.-B. (2001) Dynamic response of conventional and hot isostatically pressed Ti-6Al-4V alloys: experiments and modeling. Mechanics of Materials, 33(8), 425-439.

Nicolaou, P., Miller, J., Semiatin, S. (2005) Cavitation during hot-torsion testing of Ti-6Al-4V. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 36(12), 3461.

Nouari, M., Makich, H. (2013) Experimental investigation on the effect of the material microstructure on tool wear when machining hard titanium alloys: Ti-6Al-4V and Ti-555. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 41, 259-269.

Osovski, S., Srivastava, A., Williams, J., Needleman, A. (2015) Grain boundary crack growth in metastable titanium β alloys. *Acta Materialia*, 82, 167-178.

Ozkutuk, M., Kaynak, Y. (2017) The effect of material parameters on chip formation in orthogonal cutting simulation of Ti-5553 Alloy. *Procedia CIRP*, 58, 305-310.

Özel, T., Zeren, E. (2006) A methodology to determine work material flow stress and tool-chip interfacial friction properties by using analysis of machining. *Journal of manufacturing science and Engineering*, 128(1), 119-129.

Özel, T., Zeren, E. (2007) Finite element modeling the influence of edge roundness on the stress and temperature fields induced by high-speed machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35(3-4), 255-267.

Peters, M., Kumpfert, J., Ward, C. H., Leyens, C. (2003) Titanium alloys for aerospace applications. *Advanced Engineering Materials*, 5(6), 419-427.

Pu, Z., Umbrello, D., Dillon, O., Lu, T., Puleo, D., Jawahir, I. (2014) Finite element modeling of microstructural changes in dry and cryogenic machining of AZ31B magnesium alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 16(2), 335-343.

Rana, K., Rinaldi, S., Imbrogno, S., Rotella, G., Umbrello, D., Saoubi, R. M., Ayvar-Soberanis, S. (2016) 2D FE prediction of surface alteration of Inconel 718 under machining condition. *Procedia CIRP*, 45, 227-230.

Rotella, G., Umbrello, D. (2014) Finite element modeling of microstructural changes in dry and cryogenic cutting of Ti6Al4V alloy. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 63(1), 69-72.

Sartkulvanich, P., Altan, T., Göcmen, A. (2005) Effects of flow stress and friction models in finite element simulation of orthogonal cutting—a sensitivity analysis. *Machine Science and Technology*, 9(1), 1-26.

Shih, A. J. (1995) Finite element analysis of the rake angle effects in orthogonal metal cutting. *International Journal of Mechanical Sciences*, 38(1), 1-17.

Sima, M., Özel, T. (2010) Modified material constitutive models for serrated chip formation simulations and experimental validation in machining of titanium alloy Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(11), 943-960.

Srinivasu, G., Natraj, Y., Bhattacharjee, A., Nandy, T., Rao, G. N. (2013) Tensile and fracture toughness of high strength β titanium alloy, Ti-10V-2Fe-3Al, as a function of rolling and solution treatment temperatures. *Materials & Design*, 47, 323-330.

Strenkowski, J. S., Moon, K.-J. (1990) Finite element prediction of chip geometry and tool/workpiece temperature distributions in orthogonal metal cutting. *Journal of Engineering for Industry*, 112(4), 313-318.

Sun, Y., Huang, B., Puleo, D., Jawahir, I. (2015) Enhanced Machinability of Ti-5553 Alloy from Cryogenic Machining: Comparison with MQL and Flood-cooled Machining and Modeling. *Procedia CIRP*, 31, 477-482.

Tomchik, G., Dunder, T. G. (2006) Overview of Titanium Applications on Advanced Commercial Transports. *AeroMat Conference*, unpublished research.

Trent, E. M., Wright, P. K. (2000) *Metal cutting*, Butterworth-Heinemann.

Ugarte, A., M'Saoubi, R., Garay, A., Arrazola, P. (2012) Machining Behaviour of Ti-6Al-4V and Ti-5553 Alloys in Interrupted Cutting with PVD Coated Cemented carbide. *Procedia CIRP*, 1, 202-207.

Ulutun, D., Özel, T. (2011) Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: a review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(3), 250-280.

Umbrello, D. (2008) Finite element simulation of conventional and high speed machining of Ti6Al4V alloy. *Journal of materials processing technology*, 196(1), 79-87.

Umbrello, D., Caruso, S., Imbrogno, S. (2016) Finite element modelling of microstructural changes in dry and cryogenic machining AISI 52100 steel. *Materials Science and Technology*, 32(11), 1062-1070.

Wagner, V., Baili, M., Dessein, G. (2015) The relationship between the cutting speed, tool wear, and chip formation during Ti-5553 dry cutting. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 893-912.

Wagner, V., Baili, M., Dessein, G. (2015) The relationship between the cutting speed, tool wear, and chip formation during Ti-5553 dry cutting. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 893-912.

Wagner, V., Baili, M., Dessein, G., Lallement, D. (2009) Behaviour laws comparison for titanium alloys machining: Application to Ti5553. *International conference on structural analysis of advanced materials*.

Wagner, V., Baili, M., Dessein, G., Lallement, D. (2010) Experimental characterization of behavior laws for titanium alloys: application to Ti5553. *Key Engineering Materials, Trans Tech Publ.*

Wang, Q., Liu, Z., Wang, B., Song, Q., Wan, Y. (2016) Evolutions of grain size and micro-hardness during chip formation and machined surface generation for Ti-6Al-4V in high-speed machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82(9-12), 1725-1736.

Wang, S., Nates, R., Pasang, T., Ramezani, M. (2015) Modelling of Gas Tungsten Arc Welding Pool under Marangoni Convection.

Wu, G., Shi, C., Sha, W., Sha, A., Jiang, H. (2013) Microstructure and high cycle fatigue fracture surface of a Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe titanium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 575, 111-118.

Xin, S.-W., Zhao, Y.-Q. (2006) Discussion about the heat treatment and precipitated phases of titanium alloy. *Heat Treatment of Metals(China)*, 31(9), 39-42.

Yan, D., Hilditch, T., Kishawy, H., Littlefair, G. (2013) On quantifying the strain rate during chip formation when machining aerospace alloy Ti-5553. *Procedia CIRP*, 8, 123-128.

Yan, D. P., Littlefair, G., Pasang, T. (2011) Study of phase transformation and work hardening phenomenon during drilling of Ti-5553 and Ti-64. *International journal of machining and machinability of materials*, 10(4), 264-279.

Yen, Y.-C., Jain, A., Chigurupati, P., Wu, W.-T., Altan, T. (2004) Computer simulation of orthogonal cutting using a tool with multiple coatings. *Machining science and technology*, 8(2), 305-326.

Zener, C., Hollomon, J. H. (1944) Effect of strain rate upon plastic flow of steel. *Journal of Applied physics*, 15(1), 22-32.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

- Adı Soyadı : Ümit YILMAZ
- Doğum Tarihi ve Yeri : 06.08.1992, Taşköprü/KASTAMONU
- E-Posta Adresi : yilmazumit92@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

- Lise : Taşköprü Lisesi (2006-2010)
- Lisans : Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü (2010-2015)
- Yüksek Lisans : Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı (2016-)

GÖREV ALINAN PROJELER

- Ti-5553 Alaşımının Yüksek Kesme Hızlarında Kriyojenik,MQL ve Yüksek Basıncılı Soğutma ile Talaşlı İşlenmesi:İşleme Performansı ve Yüzey Bütünlüğü Karakterizasyonu TÜBİTAK 214M068 1001 Projesi 01/11/2016-30/06/2017 Görev: Bursiyer

YAYINLAR

- A comparison of flood cooling, minimum quantity lubrication and high pressure coolant on machining and surface integrity of titanium Ti-5553 alloy. Journal of Manufacturing Processes Ağustos 2018.Yusuf Kaynak, Armin Gharibi, **Umit Yılmaz**, Uğur Köklü, Kubilay Aslantaş