



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**a-C:N/TiAlN KAPLAMALARIN KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA**  
**DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**HAZIRLAYAN**  
**MERİÇ KÜÇÜKKÖSE**

**DANIŞMAN**  
**YRD. DOÇ. DR. SERKAN ATEŞ**

**BARTIN-2017**



**T.C.**  
**BARTIN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**a-C:N/TiAIN KAPLAMALARIN KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA**  
**DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZIRLAYAN**  
**Meriç KÜÇÜKKÖSE**

**JÜRİ ÜYELERİ**

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Serkan Ateş - Bartın Üniversitesi  
Üye : Prof. Dr. İbrahim UZUN - Kırıkkale Üniversitesi  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Volkan Kırmacı - Bartın Üniversitesi

**BARTIN-2017**

## KABUL VE ONAY

Meriç KÜÇÜKKÖSE tarafından hazırlanan “a-C:N/TiAIN KAPLAMALARIN KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 14.07.2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İbrahim UZUN .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Volkan KIRMACI .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ (Danışman) .....

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç.Dr. H. Selma ÇELİKİYAY  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum “a-C:N/TiAlN KAPLAMALARIN KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

İmza

14.07.2017

Meriç KÜÇÜKKÖSE

## ÖNSÖZ

Günümüzün önemli malzemelerinden olan Ti6Al4V alaşımının istenilen kalitede ve düşük maliyetler ile şekillendirilmesi ülkemiz ve dünyadaki üreticiler için büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada Ti6Al4V alaşımının talaşlı imalatında kullanılan karbür kesici takımların ömrünü ve kesme performansını artırmak amacıyla, bu takımlar üzerine fiziksel buhar biriktirme yöntemi ile a-C:N/TiAlN kaplanmıştır. Bu çalışma ile, DLC (Diamond-Like-Carbon) kaplamaların titanyum alaşımlarının frezelemesinde kesici takım kaplaması olarak kullanılabilirliği deneysel olarak ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmanın “BAP-2013-1-79” nolu proje ile maddi olarak desteklenmesi nedeniyle Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine, makine mühendisi Seyettin Haspolat’a ve danışman hocam Yrd. Doç.Dr. Serkan ATEŞ hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Meriç KÜÇÜKKÖSE

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## a-C:N/TiAlN KAPLAMALARIN KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Meriç KÜÇÜKKÖSE

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ

Bartın-2017, pp: XVI + 69

Ti6Al4V titanyum alaşımları, havacılık ve medikal endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, kesme işlemi sırasında iş parçası üzerinde ortaya çıkan deformasyonlar ve yüksek kesme sıcaklıkları, Ti6Al4V, işlenmesi zor malzemeler arasına sokmaktadır. Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımının işlenebilirliğini artırmak amacıyla, karbür kesici takımlar üzerine a-C:N/TiAlN kaplama biriktirilmiştir. Ti6Al4V alaşımının yüzey frezelenmesi esnasında, a-C:N/TiAlN kaplamalı karbür takımların aşınma davranışları ve kesme performansları kuru kesme şartları altında incelenmiştir. Kaplamanın yüzey bütünlüğüne; kesme kuvvetleri, talaş oluşumu ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünün etkisi incelenmiştir. Kaplamanın mekanik ve tribolojik özellikleri, nanoindentasyon, çizik testi, 3D-profilometre, eş odaklı mikroskop ve pin-disk kullanılarak belirlenmiştir. Aşınmış takımların yapısal ve bileşimsel karakterizasyonu için SEM ve EDS kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, a-C:N/TiAlN kaplamalı takımlardaki baskın aşınma mekanizması abrazyon ve adezyon aşınmasıdır. Daha yüksek aşınma direnci ve ~%15 daha uzun takım ömrü a-C:N/TiAlN kaplamalı takımlar ile elde edilmiştir. Kaplamanın, talaş oluşumu ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu görülmüştür. Adezyon, aşınma direnci, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu açısından üstün özelliklerinden dolayı, a-C:N/TiAlN kaplamanın, Ti6Al4V alaşımının yüzey frezelenmesinde kullanılması tavsiye edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** a-C:N/TiAlN Kaplama; takım aşınması ; Ti6Al4V; sürtünme; talaş şekli

**Bilim Kodu:** 625.02.05

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **CHARACTERIZATION OF a-C:N/TiAlN COATING AND INVESTIGATION OF THEIR WEAR BEHAVIOR**

**Meriç KÜÇÜKKÖSE**

**Bartın University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Serkan ATEŞ**

**Bartın-2017, pp: XVI + 69**

As a widely used material in aerospace and medical industry, Ti6Al4V titanium alloy is regarded as difficult-to-machine. In this study, a-C:N/TiAlN coating was deposited on carbide cutting tools as an attempt to increase the machinability of this alloy. Wear behavior and cutting performance of the a-C:N/TiAlN coated carbide tools in face milling of Ti6Al4V were investigated under dry conditions. The effect of coating on cutting forces, chip formation and surface integrity of the workpiece with regard to surface finish was investigated. Mechanical and tribological properties of coated samples were characterized by nanoindentation, scratch test, 3D-profilometer, confocal microscope and pin-on-disk test. SEM was employed in combination with EDS for structural and compositional characterization of worn samples. According to the results, abrasive and adhesive wear are dominant tool failures on the coated tools. Higher wear resistance and ~15% longer life time were obtained with a-C:N/TiAlN coated carbide tools in milling of Ti6Al4V. The coating proved to be effective on chip formation and workpiece surface finish. Due to its superior properties in terms of adhesion, wear resistance, surface finish and chip formation, a-C:N/TiAlN coating is a good candidate for use in face milling of Ti6Al4V alloy.

**Keywords:** a-C:N/TiAlN coating; tool wear; Ti6Al4V; tribology; chip morphology

**Science Code:** 625.02.05



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY.....	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
EKLER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 KURAMSAL BİLGİLER.....	3
2.1 PVD Kaplama Yöntemleri.....	3
2.1.1 PVD nin Tanımı.....	3
2.1.2 PVD Kaplama Yöntemlerinin Çeşitleri.....	3
2.1.3 Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemi.....	5
2.2 PVD Kaplama Yöntemi İle Yapılan Bazı Kaplama Çeşitleri.....	8
2.2.1 Titanyum Alüminyum Nitrür (TiAlN).....	9
2.3 Titanyum ve Alaşımları.....	10
2.3.1 Titanyum Alaşımlarının Bileşimi ve Çeşitleri.....	11
2.3.2 Ti6Al4V.....	15
2.4. Frezeleme .....	20
2.4.1 Frezeleme Çeşitleri.....	20
2.4.1.1 Alın Frezeleme Yöntemi İle Talaş Kaldırma.....	21
2.4.1.2 Çevresel Frezeleme Yöntemi İle Talaş Kaldırma.....	22
2.4.2 Frezelemede Temel Parametreler.....	23
2.5 Kesici Takımlarda Aşınma.....	24

2.5.1 Aşınma Mekanizmaları.....	24
2.5.2 Kesici Takımlarda Görülen Aşınma Tipleri.....	25
2.6 Ölçüm Yöntemleri.....	27
2.6.1 Taramalı Elektron Mikroskopu.....	27
2.6.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Yöntemleri.....	28
2.6.3 Kuvvetlerin Ölçülmesi.....	31
<b>BÖLÜM 3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>32</b>
<b>BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>39</b>
4.1 Ti6Al4V Alaşımının Özellikleri.....	39
4.2 a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN Kaplamaların Özellikleri.....	39
4.2.1 a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN Kaplamaların Yüzey Pürüzlülük ve Kalınlık Değerleri.....	40
4.2.2 a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN Kaplamaların Sertliklerinin ve Elastik Modülleri.....	40
4.2.3 a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN Kaplamaların Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Değerleri.....	41
4.3 Kullanılan Ekipmanlar.....	43
4.3.1 CNC Tezgahı.....	43
4.3.2 Dinamometre.....	44
4.3.3 Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi.....	44
4.3.4 Sertlik Ölçüm Cihazı.....	45
4.3.5 SEM.....	46
4.4 Kesme Parametreleri.....	47
<b>BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesme Testleri Sonrasında Ti6Al4V Alaşımı Üzerinde Elde Edilen Yüzey Pürüzlülükleri.....	48
5.2 Elde Edilen Kuvvet Değerlerinin Karşılaştırılması.....	52
5.3 Takımlarda Oluşan Aşınma Değerlerinin Karşılaştırılması.....	57
5.4 Oluşan Talaşların Karşılaştırılması.....	59

BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER.....61

KAYNAKLAR.....62

ÖZGEÇMİŞ.....69

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. PVD kaplama çeşitleri .....	5
2. Magnetron kaynağının şematik görüntüsü.....	6
3. Dengesiz manyetik alan sıçratma yöntemi.....	7
4. Kapalı alan dengersiz magnetron sıçratma sisteminin şematik gösterimi .....	8
5. Titanyum alaşımlarının üç boyutlu sınıflandırılması. ....	12
6. Alın frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma a) Simetrik Frezeleme b) Simetrik frezeleme.....	22
7. Çevresel frezeleme yöntemi ile talaş kaldırmanın gösterilişi a) Aynı yönlü frezelemede a) Aynı yönlü frezelemede b) Zıt yönlü frezelemede .....	23
8. Kesici takımlardaki aşınma mekanizmaları.....	25
9. Takımlarda görülen aşınma tipleri ve takım üzerindeki yerleri a) Yandan Görünüş b) Perspektif Görünüş.....	27
10. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	28
11. Yüzey birim profili .....	29
12. İğne uçlu endüktif pikap .....	30
13. Dinamometre .....	31
14. Karbonun bazı allotropları: a) Elmas; b) Grafit; c) Altıgen elmas; d-f)Fullerenler (C60,C540, C70); g) Amorf karbon; h) Karbon nanotüp.....	33
15. Karbon esaslı kaplamaların sertlik ve hidrojen oranına göre sınıflandırılması. ....	34
16. Japon araştırmacıların DLC kaplama çeşitlerini sınıflandırması .....	34
17. a-C:N/TiAlN kaplama (a) Ticari kaplama TiN/TiAlN(b) ve sadece TiAlN kaplama.....	40
18. a-C:N/TiAlN ve TiAlN kaplamaların sürtünme katsayısı ve kaplama aşınma oranlarının kıyaslanması.....	42
19. Kaplamalarda oluşan aşınmaların görünüşü.....	42
20. AISI D2 çelik üzerine yapılan kaplamaların çizik testi sonuçları. ....	43
21. Falco VMC 855 marka CNC tezgah. ....	44
22. Mitutoyo surfest SJ-310 marka sürtünme ölçüm cihazı.....	45
23. Fisherscope H100C nanoindenter sertlik ölçüm cihazı. ....	45

24. FEI quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu.....	46
25. a-C:N /TiAlN kaplamalı takımlar kullanılarak farklı parametrelerde elde edilen Ra değerleri.....	48
26. a-C:N/TiAlN kaplı takımda meydana gelen aşınmaların SEM mikroskobundaki görünümü.....	50
27. Kaplamaların yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin karşılaştırması.....	51
28. Ti6Al4v'nin kesme uzunluğuna göre yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	52
29. $V_c=60$ mm/dak için ilerleme oranına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi.....	53
30. $V_c=90$ mm/dak için ilerleme oranına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi.....	53
31. $V_c=120$ mm/dak için ilerleme oranına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi.....	54
32. $V_c=150$ mm/dak için ilerleme oranına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi.....	54
33. $f_z=0.10$ mm/diş için kesme hızının ve kaplamanın $F_x$ üzerine etkisi.....	55
34. $f_z=0.10$ mm/diş için kesme hızının ve kaplamanın $F_y$ üzerine etkisi.....	56
35. $f_z = 0.10$ mm/diş için kesme hızının ve kaplamanın $F_z$ üzerine etkisi.....	57
36. Ti6Al4V alaşımının işleme sırasındaki takım ömürleri aşınma miktarları.....	58
37. Birinci ve son pasodan sonra a-C:N/TiAlN (a-b) ve ticari TiN/TiAlN kaplamalı takımlar (c-d) ile edilen talaş şekilleri.....	59
38. a-C:N kaplı takımda yapılan işlem sonucunda oluşan talaşların SEM mikroskobundaki görüntüsü ilk pasodan sonra (a) ön taraf ve (b)arka taraf Son pasodan sonra (c) ön taraf (d) arka taraf.....	60

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
1. PVD yöntemi ile yapılan bazı kaplama çeşitlerinin özellikleri.....	9
2. Titanyumun fiziksel özellikleri.....	10
3. Titanyumun diğer metallerle karşılaştırmalı bazı özellikleri .....	11
4. Titanyum alaşımlarının özelliklerinin kıyaslanması .....	12
5. Bazı beta alaşımlarının çeşitleri ve bileşenleri .....	13
6. Bazı alfa+ beta alaşımlarının çeşitleri ve bileşenleri .....	14
7. Bazı alfa ve yaklaşık alfa alaşımlarının çeşitleri ve bileşenleri .....	15
8. Ti6Al4V'in kimyasal bileşimi .....	15
9. Ti6Al4V alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri .....	16
10. Ti6Al4V ile ilgili standartlar .....	16
11. Nitürleme parametreleri .....	18
12. Titanyum işlenmesinde kullanılan tipik işleme parametreleri .....	19
13. Çeşitli DLC kaplamaların özellikleri.....	35
14. Deneyde belirtilen kaplama çeşitlerinin özellikleri.....	36
15. Kullanılan Ti6Al4V alaşımının kimyasal bileşimi.....	39
16. a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN kaplamaların pürüzlülük ve kalınlık değerleri.....	40
17. a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN kaplamalarının mekanik özellikleri.....	41
18. Ti6Al4V alaşımının frezelenmesinde kullanılan kesme parametreleri.....	47

## EKLER DİZİNİ

<b>Ek</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
<b>Ek A.</b>	
Regnesyon yöntemiyle $V_c$ ve $f_z$ ye bağılı olarak $R_a$ fonksiyonun bulunması... ..	68

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a-C:N	Amorf Karbo Nitrür
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,	Alüminyum Oksit
a <sub>p</sub>	Talaş Derinliği
F <sub>x</sub>	x Eksenini Doğrultusundaki Kesme Kuvveti
F <sub>y</sub>	y Eksenini Doğrultusundaki Kesme Kuvveti
F <sub>z</sub>	z Eksenini Doğrultusundaki Kesme Kuvveti
F <sub>t</sub>	Teğetsel Kuvvet
F <sub>n</sub>	Normal Kuvvet
f <sub>z</sub>	Uç Başına İlerleme
f	İlerleme Hızı
Ra	Yüzey Pürüzlülüğü
Vc	Kesme Hızı
Z	Diş Sayısı
β	Beta Fazı
α	Alfa Fazı
α+β	Alfa+Beta
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür
TiC	Titanyum Karbon
TiCN	Titanyum Karbon Nitrür
TiN	Titanyum Nitrür
ZrN	Zirkonyum Nitrür

## KISALTMALAR

CBN	Kübik Bor Nitrür
CNC	Bilgisayar Kontrollü Freze
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DLC	Diamond Like Carbon
EDS	Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
HV	Sertlik
PCD	Çok Taneli Elmas
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme



SEM Taramalı Elektron Mikroskopu  
AE Akustik Emisyon

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Titanyum ve alaşımları, hafif olmaları, yüksek dayanımları, yüksek korozyon dirençleri ve biyolojik olarak uyumlu malzemeler olmaları nedeni ile havacılık, savunma, biomalzemeler, spor ekipmanları, kimyasal, petrokimyasal ve deniz altı yapıları gibi birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadırlar ( Che-Haron ve Jawaid, 2005; Rao vd., 2011) . Ancak, düşük termal iletkenlikleri (yaklaşık 6.7 W/mK) nedeniyle saf titanyum ve Ti6Al4V titanyum alaşımı, işlenmesi en zor malzemelerden biri olarak görülmektedir ( Ezugwu ve Wang, 1997). Ti6Al4V alaşımının işlenmesi sırasında oluşan ısı yavaş dağılmakta ve kesici takımın ve iş parçasının sıcaklığının aşırı derecede artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda titanyumun çoğu takım malzemesi ile kimyasal afinitesinden dolayı, takım yüzeyine yapışmaktadır (Gopalsamy vd., 2009). Oluşan yüksek sıcaklıklar ve titanyumun takım yüzeyine yapışması, çentiklenmeye yol açarak kesici takımın ömrünü kısaltmakta ve ayrıca işlenen yüzey kalitesini kötüleştirmektedir ( Jindal vd., 1999; Che-Haron ve Jawaid, 2005; Rao vd., 2011 ).

Ti6Al4V titanyum alaşımının işlenmesinde kaplamalı veya kaplamasız sinterlenmiş karbür, seramik ve CBN esaslı takımlar kullanılmaktadır (Jindal vd., 1999; Kalss vd, 2006). Takım aşınmasının azaltılması ve dolayısıyla takım ömrünün arttırılması amacıyla yapılan çalışmalar üretim maliyetlerinin azaltılabilmesi açısından büyük öneme sahiptir (PalDey ve Deevi, 2003). Bu amaçla, kesici takımlar üzerine aşınmaya karşı dirençli sert kaplamalar biriktirilerek takım ömürleri arttırılmaya çalışılmaktadır. Karbür kesici takımlar üzerine PVD ve CVD metotları ile biriktirilen TiN, TiC, TiCN, TiAlN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sıklıkla kullanılan kaplamalardandır ve bu kaplamalı takımların titanyum alaşımların işlenmesi esnasındaki kesme ve aşınma davranışları çoğu araştırmacı tarafından incelenmektedir (Astakhov, 2006 ; Chen vd, 2011). TiAlN kaplama, sahip olduğu yüksek sertlik ve oksidasyon direnci sayesinde, çoğu talaşlı imalat operasyonunda sıklıkla kullanılmaktadır (Chen vd., 2011; Ghiotti ve Bruschi, 2011; Aihua L., vd., 2012). Konvansiyonel kaplamaların yanında elmas benzeri karbon (DLC) kaplamalar günümüzde çoğu tribolojik uygulamada kullanılmaktadır. Bunlar arasında, a-C:N kaplama, düşük sürtünme katsayısı, yüksek aşınma, adezyon ve korozyon direnci özelliklerine sahiptir. ( Hakovirta ,1996;

Meerkamm vd., 1999; Dai vd , 2000; Meerkamm vd, 1999; Charitidis, 2010 ). Bu yüzden, çalışmamızda, Ti6Al4V titanyum alaşımının frezelenmesinde karbür kesici takımların ömrünü ve kesme performansını artırmak amacıyla bu takımlar üzerine a-C:N/TiAlN kaplamalar uygulanmıştır. Böylece, TiAlN tabakasının sertlik ve oksidasyon direncini, a-C:N üst tabakasının ise düşük sürtünme katsayısı, iyi aşınma, adezyon ve korozyon direncini birleştirerek üstün özelliklere sahip bir kesici takımın elde edilmesi planlanmıştır. Üretilen kaplamalar üzerinde nanoindentasyon ve çizik testi yapılarak sırasıyla sertlikleri ve adezyonları belirlenmiştir. Kırık kesitlerinden SEM görüntüleri alınarak kaplamaların mikro yapıları incelenmiştir.

Belirlenecek kesme parametrelerinde kesme testleri yapılarak, meydana gelen kesme kuvvetleri (McLaughlin vd., 1996) ve takım aşınması büyüklüğü ( Broitman vd. ,2010) ölçülmüştür. Böylece kullanıcılar için pratik bilgi sağlanmıştır.

## BÖLÜM 2

### KURAMSAL BİLGİLER

#### 2.1 PVD Kaplama Yöntemleri

##### 2.1.1 PVD'nin Tanımı

Türkçedeki karşılığı “fiziksel buhar biriktirme” olan PVD yönteminde vakum ortamda çeşitli yöntemler yardımıyla kopartılan kaplama malzemesi atomları kaplanacak olan malzeme yüzeyine ince bir katman şeklinde biriktirilir.

PVD ile ilgili olarak 19. Yüzyıl sonlarında çalışmalara başlanmıştır. Vakum teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde PVD yöntemlerinde de gelişmeler ve ilerlemeler sağlanmıştır. Sanayileşmenin artmasına paralel olarak aşınma direncinin artmasına ihtiyaç duyulduğundan PVD yöntemlerinin geliştirilmesi zorunluluğu doğmuştur (Mattox, 1998).

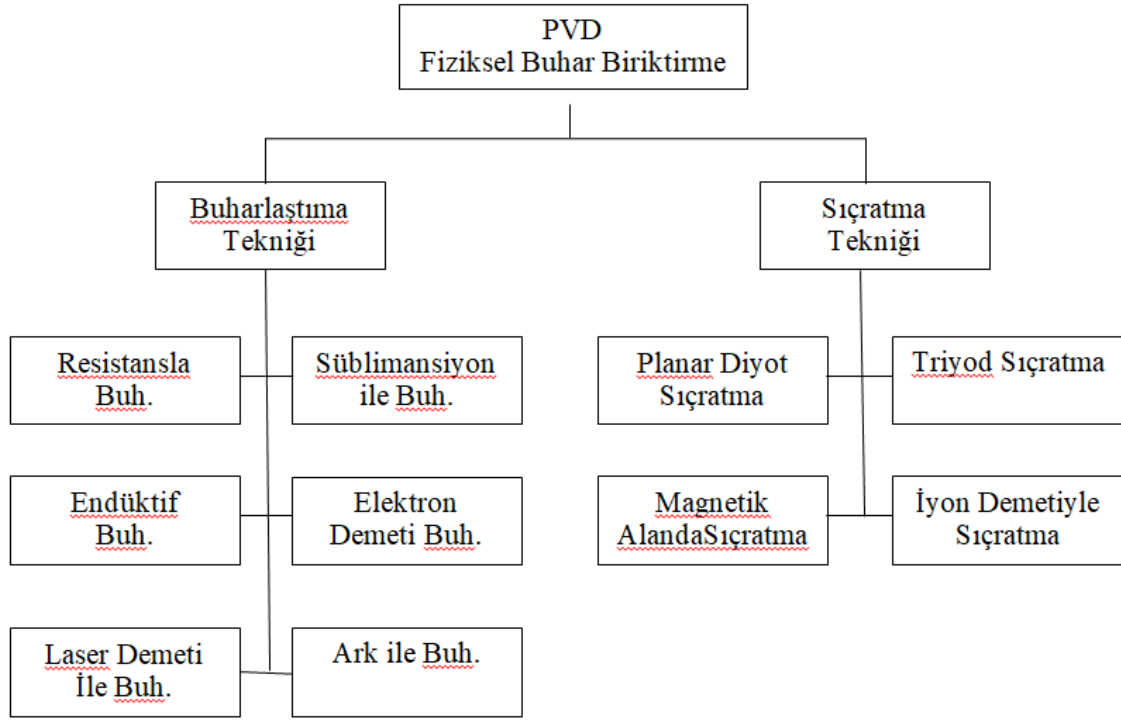
##### 2.1.2 PVD Kaplama Yöntemlerinin Çeşitleri

PVD yöntemi, buharlaştırma ve sıçratma olmak üzere iki temel başlık altında incelenir (Şekil-1).

Buharlaştırma tekniğinde kaplanacak malzeme, çeşitli yöntemlerle ısıtılarak buharlaştırılır ve buharlaşan atomlar, kaplanması istenen malzeme üzerinde biriktirilerek ince film tabakası oluşturulur (URL-1, 2015). Buharlaştırma tekniğinde bazı yöntemler geliştirilmiştir. Rezistans ile buharlaştırma yönteminde vakumlu ortamda sıcaklığa karşı yüksek direnci olan pota içerisine kaplama malzemesi yerleştirilir. Pota rezistanslar tarafından ısıtılarak kaplama malzemesinin buharlaşması sağlanır. Bu yöntem bakır kurşun gibi düşük ergime sıcaklığı olan malzemelerin buharlaştırılması için kullanılır (Toptan, 2015). Endüktif buharlaştırma yönteminde etrafı su soğutmalı bakır tellerle çevrelenmiş pota kullanılır. Bakır tellere endüktif akım verilerek pota içerisindeki kaplama malzemesinin buharlaşması sağlanır. Pahalı bir yöntemdir (Sönmezoğlu vd., 2012). Süblimansiyonla buharlaştırma yönteminde süblimleşme özelliği bulunan malzemelerin buharlaştırmasında kullanılır. Bu tür malzemeler ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta

yüksek buhar basıncına sahiptir. Bu özelliklerinde dolayı direkt katı halden gaz haline geçerek ince film tabaka oluşturabilirler (Toptan, 2015). Elektron bombardımanı ile buharlaştırma yönteminde elektron kaynağı vasıtasıyla buharlaştırılan yüksek enerjili elektronlar kaplama malzemesinin üzerine yönlendirilir ve kaplama malzemesine çarpan yüksek enerjili elektronlar kaplama malzemesinin buharlaşmasını sağlarlar. Bu işlem erime sıcaklığı yüksek olan malzemelerin buharlaştırılmasında kullanılır (Sönmezoğlu vd., 2012). Katodik ark biriktirme yönteminde kaplama malzemesinin buharlaştırılmasında ark kullanılmaktadır. Kaplama malzemesi katot kaplanan malzeme ise anot olarak yerleştirilir ve düşük voltaj ve yüksek akım özelliğine sahip potansiyel uygulanır. Uygulanan bu potansiyel sonucunda ark meydana gelir ve kaplama malzemesinin buharlaşması sağlanır (URL-2, 2015). Lazer ile buharlaştırma yönteminde yüksek enerji yoğunluğuna sahip lazer vakumlu ortamda kaplama malzemesinin üzerine gönderilerek kaplama malzemesinin buharlaşması sağlanır ve yüksek sıcaklıkta plazma meydana gelir (URL-3, 2015).

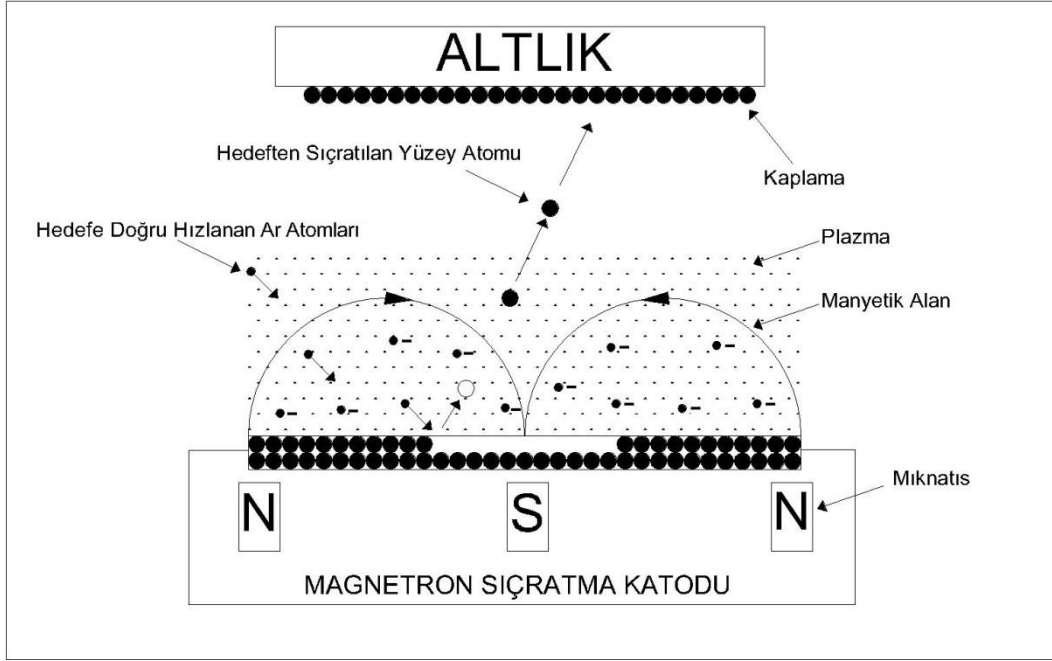
Sıçratma tekniğinde buharlaştırılacak malzemenin atomları iyonlar ile bombardıman edilerek momentum etkisiyle kopartılır. Kopartılan bu atomlar kaplanması istenilen malzeme üzerine birikerek film tabakası oluştururlar . Diyet sıçratma yönteminde katotun üst yüzeyinde kaplama malzemesi bulunmaktadır. Anota ise kaplanacak malzeme yerleştirilir. Daha sonra argon gazı verilerek elektronlar arasında gerilim ve direnç oluşturulmaktadır. Bu işlem sonrasında pozitif iyonlar kaplama malzemesine çarparak kaplama malzemesi sıçratıp anotta bulunan kaplanacak olan yüzeyin kaplanmasını sağlamaktadır (Sönmezoğlu vd., 2012). Triyot sıçratma yönteminde ise diyet sıçratma yönteminde kullanılan ekipmana ek olarak verimi ve iyonizasyonu arttırmak için ısıtıcı ve 100V potansiyelli katot eklenmiştir (Toptan, 2015). Bu yöntemde yüksek basınç altında iyon kaynağından çıkan iyonlar yardımıyla kaplama malzemesi bombardımana tutulur ve sıçratma işlemi gerçekleştirilir (Sönmezoğlu vd., 2012).



Şekil 1: PVD kaplama çeşitleri (URL-1).

### 2.1.3 Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemi

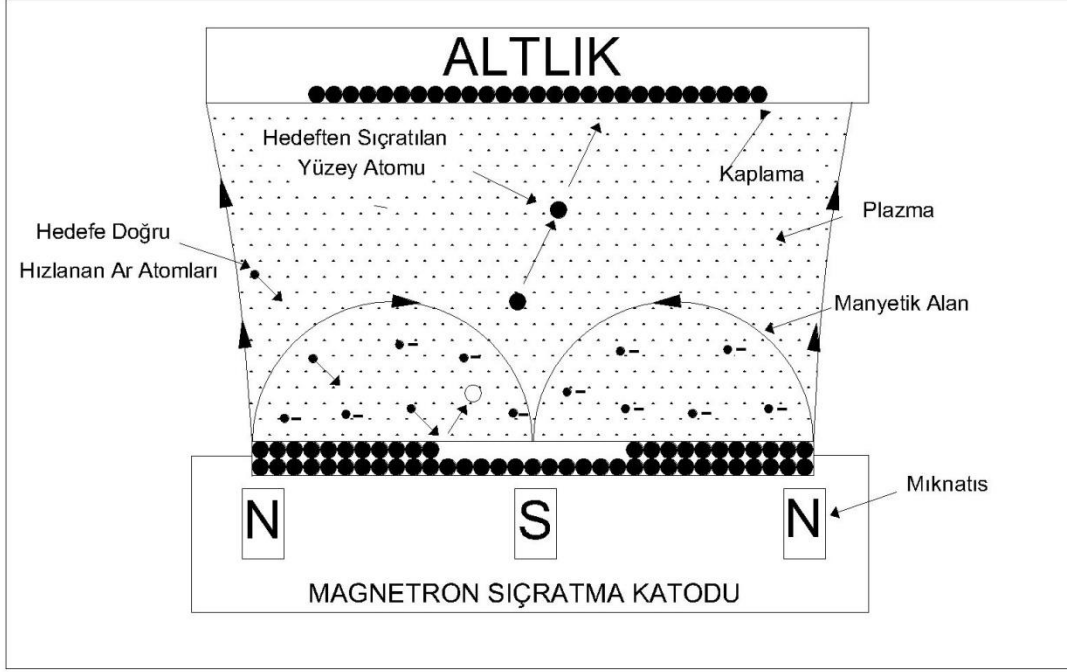
Katot konumunda bulunan kaplama malzemesinin önündeki plazma içerisinde yer alan argon atomlarının kaplama malzemesine yönlendirilmesiyle kaplama malzemesindeki atomlar kopartılmakta ve sıçratılmaktadır. Kopan bu atomlar ince bir film şeklinde kaplanacak olan malzemenin yüzeyinde birikmektedirler. İyon bombardımanın sonucu olarak ortaya çıkan ikincil elektronlar ise hedef yüzeye yayıldıklarından plazmanın sürdürülmesinde önemli bir rol oynamaktadırlar (Şekil 2) (Çalışkan, 2012).



Şekil 2: Magnetron kaynağının şematik görüntüsü (Çalışkan, 2012).

Dengeli ve dengesiz alanda sıçratma yöntemi olmak üzere manyetik alanda sıçratma yöntemi iki gruba ayrılır. Bu yöntemler temelde aynı olmakla beraber hedef malzeme önünde oluşturulan plazmanın kapanma şeklindeki farklılık nedeniyle birbirlerinden ayrılmaktadır (Cansever, 2015).

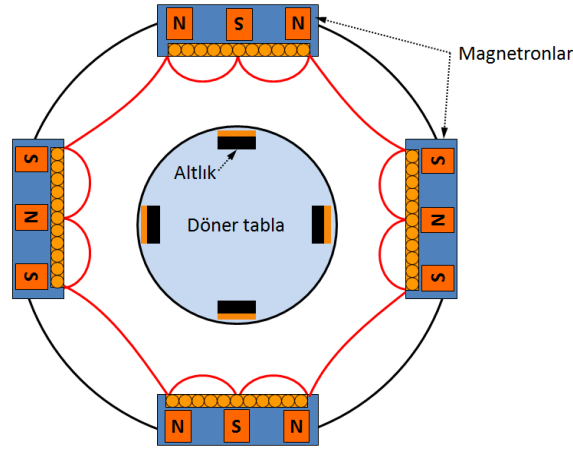
Dengelenmemiş manyetik alan sıçratma yönteminde düşük güçteki bir mıknatıs dışarıda kalan mıknatısların merkezine yerleştirilir. Bu mıknatıs diğer mıknatısların meydana getirdiği manyetik alan çizgilerini itemeyecek büyüklükte olup manyetik alan çizgilerini direkt malzeme üzerine yönlendirir. Elektronlar manyetik alan çizgilerine paralel olarak hareket ettiğinden elektronların hareketi manyetik alandan etkilenmeyecektir. Malzeme üzerine hareket eden elektronlar artı yüklü iyonları iterek numuneye yönlendirir. Bundan dolayı malzeme üzerine giden iyon sayısında artış olacak bu yüzden iyon bombardımanı güçlenecektir. Bombardıman enerjisi; numuneye, negatif hızlandırma voltajı uygulanarak daha da artırılabilir. Bombardımanı güçlendirmenin bir başka yolu ise nötral olarak sıçratılan partiküllerin kaplanacak malzemeye ulaşana kadar iyonize edilmesidir (Şekil 3) (Demirel, 2006).



Şekil 3: Dengesiz manyetik alan sıçratma yöntemi (Çalışkan, 2012).

Dengelenmemiş manyetik alan sıçratma yönteminin bir çeşidi olan kapalı alan dengersiz manyetik alan sisteminde, ikiden daha fazla manyetik alan vardır. İki tane dengersiz manyetik alan zıt kutupları karşılıklı olacak şekilde yerleştirilerek çiftli kapalı manyetik alan oluşturulur. Manyetik alan çizgileri bu yerleşimden dolayı yana doğru yayılırlar. Bu yerleşimde elektronların dışarı kaçma ihtimali manyetik alan çizgileri kapalı bir alan oluşturduğu için çok azdır. Bu yüzden yoğun bir plazma elde edilir ve elektron bombardıman yoğunluğu artar (Şekil 4) (Cansever, 2015)





Şekil 4: Kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma sisteminin şematik gösterimi (Çalışkan, 2012).

## 2.2 PVD Yöntemi ile Yapılan Bazı Kaplama Çeşitleri

Titanyum Nitrür (TiN) , Titanyum Alüminyum Nitrür (TiAlN), Krom Nitrür (CrN) , Titanyum Karbo Nitrür (TiCN) ve Zirkonyum Nitrür (ZrN) PVD yöntemi ile yapılan bazı kaplama çeşitleridir.

Aşınma önleme ve dekoratif amaçlı olarak yaygın olarak kullanılan Titanyum nitrür (TiN) kaplamaların yüksek sertlik, düşük aşınma oranı ve güzel görünmesi gibi özellikleri bulunmaktadır. Bunu yanı sıra TiN filmlerine  $Ti_2N$  eklenerek aşınma direnci artırılabilir. Ancak  $Ti_2N$  elde etmek zor olduğu için bu işlem tercih edilmemektedir. TiN kaplamalar, yarı iletken endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (URL-4, 2015). CrN ve  $Cr_2N$  yapısında olan bu kaplama çeşidi TiN kaplamaya göre daha yüksek sıcaklıkta oksitlenmeye başlar. TiN kaplamalara göre ise daha düşük sertlik değerine sahiptir. Sertlik ve oksidasyon direnci arttırılmak istenirse yapısına alüminyum eklenerek (Cr:Al)N kaplamalar elde edilir (URL-5, 2015). TiN kaplamaya karbon eklenirse sertlik yükselir. C/N oranı tabakanın özelliğini belirler. TiCN kaplamalar özellikle yüksek hızlarda çalışan frezelerde TiN'e oranla daha iyi performans verir. Takım ömrünü arttıran, yüksek kesme hızlarında çalışabilen ve yüzey pürüzlülüğünün daha az olmasını sağlayan TiCN kaplamaların en büyük dezavantajı ise ısı iletkenliğinin yüksek olmasıdır (Tablo 1) (Eker, 2015b).

### 2.2.1 Titanyum Alüminyum Nitrür (TiAlN)

TiAlN kaplamalar ısı iletkenliği ve kimyasal kararlılığı sebebiyle yüksek sıcaklarda yapılan kesme işlemlerinde ısıyı kesici takıma aktarmaz. Bu özelliği yüksek hızlarda çalışmaya olanak sağlar. Bunun sonucunda hızlı üretim yapılır. Takımlara yapılan bakım ve bileme işlemleri azalacağından takım ömrünün uzamasını sağlayarak üretimde verimlilik artırılır (URL-6, 2015). Matkapla yapılan delme işlemlerin de TiAlN kaplamalı takımlar ile elde edilen delik yüzey kaliteleri, TiN kaplamalı takımlarla elde edilenlerden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Kara, 2015).

Yapısında bulunan alüminyumun oksidasyon direcini artırması sebebiyle TiN kaplamalara göre oksidasyon direnci fazladır. Kıyaslama yapılacak olursa TiN kaplamalar 550 °C civarında oksitlenmeye başlarken, TiAlN kaplamalarda bu sıcaklık 800°C'dir. Kesme performansı iyi olduğundan dolayı genellikle delme işlemlerinde kullanılmaktadır (URL-6, 2015).

Tablo 1: PVD yöntemi ile yapılan bazı kaplama çeşitlerinin özellikleri (URL-7,2015; David 2016).

PVD Kaplama	Renk	Kaplama Kalınlığı (µm)	Sürtünme Katsayısı	Sertlik	Maksimum Çalışma Sıcaklığı
TiN	Altın Sarısı	1,4	0,4-0,5	2200	600
TiCN	Violet	1-7	0,25- 0,4	3000	430
TiAlN (Tek Katmanlı)	Mor - Siyahi	2-5	0,30- 0,65	3300	800
TiAlN (Çok Katmanlı)	Mor-Siyahi	1-5	0,30- 0,65	3300	800
CrN	Violet	2-5	0,2	3500	500

### 2.3 Titanyum ve Alaşımları

Titanyum korozyon direnci, kırılma direnci, ve yüksek sıcaklık dayanımıyla mükemmel bir metaldir. Titanyum ve alaşımları bahsedilen üstün özellikleriyle modern endüstri için cazip ve önemli bir malzemedir. Titanyum sert fakat hafif bir metal olduğundan dolayı biyomedikal uygulamalar için titanyum ve alaşımlarını diğer metallerden daha kullanışlı kılar (Tablo 2-3) (Nourbakhsha vd., 2013)

Titanyum 200 yıl önce keşfedilmesine rağmen 1950'ler de 1950 denizaltı uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. İlerleyen zamanlarda ise titanyum, öncelikli olarak performanslı jetlerde olmak üzere askeri havacılıkta geniş bir şekilde kullanılmaktadır (URL-7,2015)

Tablo 2: Titanyumun fiziksel özellikleri (Lütjering ve Williams, 2007)

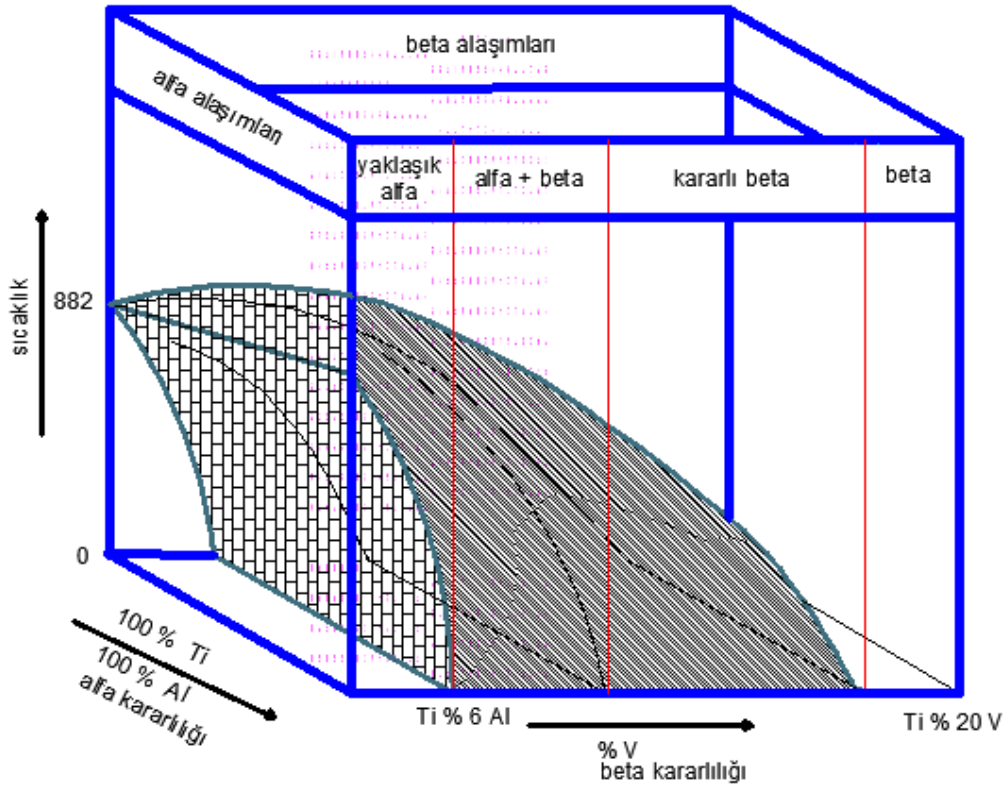
Özellik	Birimi	Değer
Atom Numarası	-----	22
Atom Ağırlığı	(g)	47,9
Yoğunluk	(g/cm <sup>3</sup> )	4,5
Kaynama Noktası	(°C)	3130
Erime Noktası	(°C)	1670

Tablo 3: Titanyumun diğer metallere karşılaştırmalı bazı özellikleri (Lütjering ve Williams, 2007) .

Özellikler	Birimi	Ti	Fe	Ni	Al
Erime Noktası	(°C)	1670	1538	1455	660
Allotropik Dönüşüm Sıcaklığı	(°C)	882 $\beta \rightarrow \alpha$	912 $\gamma \rightarrow \alpha$	-	-
Kristal Yapısı	-----	HMK $\rightarrow$ HSP	YMK $\rightarrow$ HMK	YMK	YMK
Elastik Modülü	(GPa)	115	215	200	72
Akma Dayanımı	(MPa)	1000	1000	1000	500
Yoğunluk	(g/cm <sup>3</sup> )	4,5	7,9	8,9	2,7
Korozyon Direnci	-----	Çok Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Oksijenle Reaktifliği	-----	Çok Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek
Fiyat	-----	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek	Orta

### 2.3.1 Titanyum Alaşımlarının Bileşimi ve Çeşitleri

Titanyum alaşımları, alfa, alfa + beta ve beta alaşımları olmak üzere başlıca üç grupta incelenmektedir. Alfa alaşımları yapılarında yalnızca alfa fazı, beta alaşımlarında ise yalnızca beta fazı bulunmaktadır. Alfa+beta alaşımları ise oda sıcaklığında her iki fazı da bünyesinde barındırmaktadır. Eğer alaşım yapısında alfa fazı daha fazlaysa bu tür alaşımlara “yaklaşık alfa”, alaşım yapısında beta fazı daha fazlaysa alaşımları yaklaşık beta denilmektedir (Şekil 5) (Tablo 4) (Leyens ve Peters , 2006).



Şekil 5: Titanyum alaşımlarının üç boyutlu sınıflandırılması (Leyens ve Peters , 2006).

Tablo 4: Titanyum alaşımlarının özelliklerinin kıyaslanması (Leyens ve Peters , 2006).

Faz	$\alpha$	$\alpha + \beta$	$\beta$
Yoğunluk	+	+	-
Sertlik	-	+	++
Süneklik	-/+	+	+/-
Kırılma Dayanımı	+	-/+	+/-
Sürünme Dayanımı	+	+/-	-
Korozyon Direnci	++	+	+/-
Oksidasyon Direnci	++	+/-	-
Kaynak Yapılabilirlik	+	+/-	-

Beta alaşımları ,çok iyi olan mukavemet özellikleri ve sertliği sebebiyle önerilir. Beta alaşımları alfa + beta alaşımlarıyla kıyaslandığında yüksek yoğunluk ve yüksek işleme maliyeti sebebiyle dezavantajlıdırlar. 1950 yılından beri geliştirilip üretilmektedirler (Tablo 5) (Leyens ve Peters , 2006).

Tablo 5: Bazı beta alaşımlarının çeşitleri ve bileşenleri (Welsch vd., 1993).

<b>Alaşım Tipi/Element%</b>	<b>V</b>	<b>Al</b>	<b>Mo</b>	<b>Zr</b>	<b>Sn</b>	<b>Fe</b>	<b>Cr</b>
Ti-10V-2Fe-3Al	10	3	-	-	-	2	-
Ti-13V-11Cr-3Al	13	3	-	-	-	-	11
Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al	8	3	8	-	-	2	-
Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr	8	-	4	4	-	-	6
Ti-11Mo-6Zr-4.5Sn	-	-	11	6	4,5	-	-
Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr	15	3	-	-	3	-	3
Ti-11.5Mo-6Zr-4,5Sn	-	-	11,5	6	4,5	-	-

Titanyum alaşımlarından en çok kullanılanı olan Ti6Al4V alaşımı alfa+beta alaşımları içerisinde yer alır. Günümüzde kullanılan titanyum alaşımlarından %50 si bu bileşimdedir. alfa+beta Bu alaşım 1950 yılında İllinois Teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilmiştir ve bu nedenle ilk üretilen titanyum alaşımlarından biridir. Özellikle uzay endüstrisinde Ti6Al4V kullanılır (Tablo 6) (Leyens ve Peters , 2006).

Tablo 6: Bazı alfa+ beta alaşımlarının çeşitleri ve bileşenleri (Welsch vd., 1993).

<b>Alaşım Tipi/Element (%)</b>	<b>V</b>	<b>Al</b>	<b>Mo</b>	<b>Zr</b>	<b>Sn</b>	<b>Fe</b>	<b>Cr</b>
Ti-6Al-4V	4	6	-	-	-	-	-
Ti-6Al-6V-2Sn	6	6	-	-	2	-	-
Ti-7Al-4Mo	-	7	4	-	-	-	-
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	-	6	6	4	2	-	-
Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr	-	5	4	2	2	-	4
Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr	-	6	2	2	2	-	2
Ti-3Al-2.5V	2,5	3	-	-	-	-	-
Ti-10V-2Fe-3Al	10	3	-	-	-	2	-
Ti-5Al-5Mo-1.5 Cr	-	5	5	-	-	-	1,5

Alfa alaşımları yüksek sıcaklık alaşımlarıdır (Leyens ve Peters , 2006). Bu alaşımların karakteristik özellikleri; sertlikleri, sürünme dayanımları ve kaynak yapılabirlikleridir. Bundan başka sünek-gevrek dönüşümünün azlığı aşırı soğuk işlemler için bu alaşımı uygun kılar (Welsch vd., 1993).

Yaklaşık alfa alaşımları, alfa alaşımlarının yüksek sürünme dayanımı ve alfa+beta alaşımlarının yüksek dayanım özelliklerini bir arada bulunduran alaşım çeşididir. Kullanım sıcaklıkları 500-550 °C arasındadır (Tablo 7) (Leyens ve Peters , 2006).

Tablo 7: Bazı alfa ve yaklaşık alfa alaşımlarının çeşitleri ve bileşenleri (Welsch vd., 1993).

<b>Alaşım Tipi/Element (%)</b>	<b>Al</b>	<b>Mo</b>	<b>Zr</b>	<b>Sn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Nb</b>	<b>Ta</b>
Ti-0.3Mo-0.8Ni	-	0,3	-	-	-	0,8	-	-
Ti-5Al-2.5Sn	5	-	-	2,5	-	-	-	-
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	6	2	4	2	-	-	-	-
Ti-6Al-2Nb-1Ta-0.8Mo	6	0,8	2	2	2	-	2	1
Ti-2.25Al-11Sn-5Zr-1Mo	2,25	1	5	11	-	-	-	-
Ti-5Al-5Sn-2Zr-2Mo	5	2	2	5	-	-	-	-

### 2.3.2 Ti6Al4V

Ti6Al4V titanyum alaşımları içerisinde alfa+beta alaşımları arasında yer alan ve en çok kullanılan titanyum alaşımıdır. Ti-6Al-4V alaşımı bünyesinde %6 alüminyum ve %4 vanadyum bulundurmaktadır. Alüminyum kararlaştırıcısı alfa fazını, Vanadyum kararlaştırıcısı ise beta fazını oluşturmaktadır (Tablo 8-9-10) (Joshi, 2006).

Tablo 8: Ti6Al4V'in kimyasal bileşimi (Nourbakhsha vd., 2013).

<b>C</b>	<b>Fe</b>	<b>Al</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>V</b>	<b>H</b>	<b>Ti</b>
0-0,08	0,22	6,08	0-0,2	0,05	4,02	0-0,15	Balans



Tablo 9: Ti6Al4V alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri (Venugopalan ,2006; URL-8, 2015).

Özellik	Birimi	Değeri
Özkütle	Kg/m <sup>3</sup>	4430
Erime Noktası	°C	1660
Isıl İletkenlik	W/m°K	6,7
Özgöl Isı	J/g°C	0,5269
Sertlik	Rockwell	30-35
Uzama	%	12-16
Young Modülü	Gpa	120
Sünme Dayanımı	MPa	910-960
Kopma Dayanımı	Mpa	970-1030
Özkütle	Kg/m <sup>3</sup>	4430
Erime Noktası	°C	1660

Tablo 10: Ti6Al4V ile ilgili standartlar (URL-9, 2015).

Numune	Standart Numarası
Çubuk	ASTM B348,381,337,338 ASTM F136 ASTM F67 ASTM B2965 MS 4928
Tel	ASTM B863,348 AWS A5.16, ERTI1, ERTI2, ERTI3, ERTI4, ERTI5 AWS A5.16, ERTI-5Eli L ASTM F136 ASTM F67 ASTM B2965 MS 4928
Şaç Plaka, Levha ,Şerit,	ASTMB265 AMS4911
Boru	ASTM B337/338, ASTM B861, 862, AMS 4942, 4943, 4945

Titanyum ve alaşımları çeliklerin ve nikel esaslı süper alaşımların yarısı ağırlıkta olup yüksek korozyon direnci ve yüksek gerilme dayanımına sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı uzay havacılığı ve kimya endüstrisinde kullanılırlar. Bunların dışında kimyasal işlemlerde, mekanik güç üretiminde, denizcilik sektöründe ve spor malzemeleri üretiminde sıkça kullanılmaktadırlar (Welsch vd., 1993) . Korozyon dirençleri, yüzeyinde oluşan TiO<sub>2</sub> tabakası sebebiyle çok iyidir (Eker, 2015a) . Erime noktası çok yüksektir. Erime noktası

1723 °C 'dır. Bu erime noktası diğer malzemelerle kıyaslandığında çeliğin yaklaşık olarak 204 °C ve alüminyumun ise 1093°C üzerindedir. Titanyum zehirsizdir. Titanyum elektrik iletkenliği iyi değildir. Bakırın iletmediğinin yüzde %3.1 ' kadar elektriği ancak iletmektedir. Bu sebeple titanyum elektrik iletkenliği istenilen yerlerde kullanılmamaktadır (URL-10,2015). Ti6Al4V alaşımına ısıl işlem uygulanarak mikro yapı ve yüzey çizilme dayanımları açısından incelenmiştir. Isıl işlem uygulanan Ti6Al4V alaşımının yüzey sertliği üç kat artmıştır. Aynı şekilde çizik kalınlığı yarı yarıya düşmüştür. Bunun yanı sıra kumlama açısı artırılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde azalma olduğu görülmüştür (Akagündüz ,2008) . CP-Ti, Ti6Al4V ve Ti6Al7Nb alaşımına 750° C sıcaklıkta 4 saat boyunca termal oksidasyon uygulanmış ve uygulanan oksidasyon işlemleri sonucunda CP-Ti' in yüzey sertliği 850 HV Ti6Al4V 'un yüzey sertliği 930 HV 'e ve Ti6Al7Nb 'un yüzey sertliği 745 HV 'e kadar yükselmiştir. Bundan da anlaşılacağı üzere termal oksidasyon yöntemiyle Ti6Al4V malzemesinin sertlik değerleri artırılabilir. Oksidasyon işlemi süresinin artmasıyla, malzemelerin yüzey pürüzlülüklerinde azalma görülmüş ancak daha sonra artma gözlemlenmiştir. Bu artış termal oksidasyon işleminden önceki yüzey pürüzlülüğü değerinin üzerine çıkmamaktadır (İçtem, 2007). Saf titanyum ve Ti6Al4V alaşımının yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi incelenmiştir. Bu inceleme de saf titanyum ve Ti6Al4V alaşımı 2025 °C kadar ısıtılmıştır. Bunun sonucunda sıcaklık arttıkça genleşmeye bağlı olarak Saf titanyum ve Ti6Al4V alaşımının yoğunlukları düşmüştür. Ancak Saf titanyumun yoğunluğunun sıcaklık arttıkça Ti6Al4V alaşımından daha fazla düştüğü görülmektedir. Bundan yola çıkarak Ti6Al4V alaşımının rijitliğini, saf titanyuma göre daha fazla koruyabildiği ve yüksek sıcaklıkta çalışmaya uygun olduğu söylenebilir. Aynı çalışmada saf titanyum ve Ti6Al4V alaşımının ısı iletim katsayıları ölçülerek titanyumun ısı iletim katsayısının sıcaklığa göre çok fazla değişken olduğu görülmüştür. Ancak Ti6Al4V alaşımından ısı iletim katsayısı ise sıcaklık arttıkça doğrusal bir artış göstermektedir (Suárez vd., 2011). Diğer bir çalışmada ise 1,5 cm çapında 2mm kalınlığında Ti6Al4V'den imal edilmiş diskler 800°C sıcaklıkta nitrürleme yapılmıştır (Tablo 11).

Tablo 11: Nitrürleme parametreleri (Oliviera vd., 2011).

Deney Adı	H.V.	Süre (dak.)
A	7 kV/400 Hz/40 $\mu$ s	60
B	10 kV/400 Hz/40 $\mu$ s	60
C	12 kV/300 Hz/30 $\mu$ s	60
D	12 kV/300 Hz/30 $\mu$ s	100

Yapılan deneyler sonucunda D deneyi uygulanan numunenin yüzey sertliğinin diğer deneylerin uygulandığı numunelere göre daha fazla arttığı gözlemlenmiştir. Nitrojen plazması olmadan uygulanan akımda ise sertliğin numunenin deneyden önce ölçülen değerine göre fazla değişmediği görülmüştür. Sertliğin artmasının sebebi ise parça yüzeyinde oluşan  $Ti_2N$  ve  $TiN$  bileşikleridir. Deney sonucundaki veriler incelendiğinde nitrojen plazması olmadan akım uygulandığında sürtünme katsayısının değişkenliğinin deney sayısı arttıkça fazlaştığı gözlemlenmiştir. En az değişimin olduğu deney ise A deneyidir. Sonuç olarak ise  $Ti6Al4V$  alaşımına yüksek sıcaklıkta nitrürleme yapıldığında sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür (Oliviera vd., 2011).

$Ti6Al4V$  alaşımının işlenmesi için kullanılacak takımlarda kızıl sertlik özelliği, meydana gelen ve uzaklaşmayan yüksek ısıya direnç gösterebilmesi için iyi olmalıdır. Krater aşınmasına direnç gösterebilmesi için, "difüzyon ve abrasif tip aşınmalara dayanım" ve "kimyasal kararlılık" özellikleri iyi olmalıdır. Kuvvetlerin dar bir alana yayılması, tırlama olasılığı ve kraterlerle ucun zayıflaması durumlarına karşı, özellikle uç kısımda "tokluk" değerinin yüksek olması gerekmektedir. Isı malzemedan uzaklaşmadığı için, diğer malzemeler için kullanılan uçlara göre "ısıl iletkenlik" değeri yüksek olmalıdır (Ensarioğlu ve Çakır, 2005).

Seramik takımlarda ısıl iletkenlikleri düşük olduğundan dolayı malzeme üzerinden ısı uzaklaşmadığı için ısı tabanlı aşınma türleri bu takımlarda çok yüksektir. Titanyumla tepkimeye girebilirler. Bu sebeplerden dolayı tavsiye edilmezler (Ensarioğlu ve Çakır,

2005).Yüksek hız çeliği takımlar yüksek ısı ve gerilmeler sonucunda çok çabuk plastik deformasyona uğradıkları için hemen kırılmaktadırlar. Bu yüzden tavsiye edilmezler. Kaplamalı karbür takımında takım kaplama malzemesi, ana takım malzemesi ile birlikte kopmaktadır. Bu yüzden kaplamasız takımlar kaplamalı takımlara göre titanyum işlenirken daha avantajlıdır. Karbür takımların içeriğine kobalt eklenerek tokluk sağlanabilmektedir. Talaş kaldırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. CBD ve PCD takımlar pahalı olduğundan kullanımı kısıtlıdır. Yüksek yüzey kalitesi istenilen durumlarda kullanılmaktadırlar. Aşınmalara karşı çok iyi direnç göstermektedirler (Tablo 12) (Ensarioğlu ve Çakır, 2005).

Tablo 12: Titanyum işlenmesinde kullanılan tipik işleme parametreleri (Ensarioğlu ve Çakır, 2005).

<b>Yöntem</b>	<b>Takım</b>	<b>KesmeHızı (m/dak)</b>	<b>Kesme Derinliği(mm)</b>	<b>İlerleme (mm/dev)</b>
Kaba Tornalama	Karbür (K20)	30-50	8	0,25-0,35
İnce Tornalama	Karbür(K20)	80-100	0,25-1	0,1-0,2
Frezeleme	HSS	40-60	3,5-5	0,1-0,15
Delme	Karbür(K20)	10-20	-	0,1
Broşlama	HSS (M3)	3-4	-	0,075

## 2.4 Frezeleme

Frezeleme; çok uçlu dönen bir takım ile, doğrusal hareket eden iş parçasının işlenmesi için kullanılan bir talaş kaldırma yöntemidir. Günümüzde frezeleme işleminde takım hemen hemen her yönde iş parçasına doğru hareket edebilmektedir.

CNC kullanımı sebebiyle verimliliği artan frezeleme genellikle düzlem yüzeylerin dik köşelerin ve kanalların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir. Frezelemenin en önemli avantajları yüksek işleme verimliliği, iyi yüzey kalitesi, iyi yüzey hassasiyeti ve istenilen şeklin oluşturulmasındaki kolaylıktır.

Evrensel bir işleme metodu olan frezeleme de çok çeşitli tezgâhlar, kontrol üniteleri kullanılmaktadır. Frezeleme işlemi için yüzyılın başlangıcında kullanılmakta olan temel tip tezgâhlardan karmaşık, çok eksenli- CNC lere değişim gösteren çok farklı tipteki tezgâhlar kullanılabilir. Kesici takımlardaki değişimler de frezelemenin verimliliğini arttırmaktadır. Frezeleme kullanılan tezgâh, gerçekleştirilen işlem, takım ve iş parçası açısından da büyük farklılıklar göstermektedir (Yürekli, 2012).

### 2.4.1 Frezeleme Çeşitleri

Freze tezgâhında talaş kaldırma işlemi, kullanılan kesici takımın çeşidine ve frezeleme yönüne göre adlandırılırlar. Genel olarak frezeleme işlemi ile talaş kaldırma yöntemi dört ana başlık altında incelenebilir (Şirin , 2012).

i. Silindirik vals freze çakısı ile çevresel frezeleme

- a) Aynı yönlü çevresel frezeleme
- b) Zıt yönlü çevresel frezeleme

ii. Takma uçlu alın freze çakısı ile düzlem yüzeylerin frezelenmesi

- a) Simetrik frezeleme
- b) Asimetrik frezeleme

iii. Form ve biçim freze çakısı ile frezeleme

- a) Modül freze çakısı ile frezeleme

b) Değişik geometrilere sahip iç bükey ve dış bükey yüzeylerin frezelenmesi

iv. Saplı freze çakısı ile frezeleme

a) Düz Uçlu freze çakısı ile frezeleme

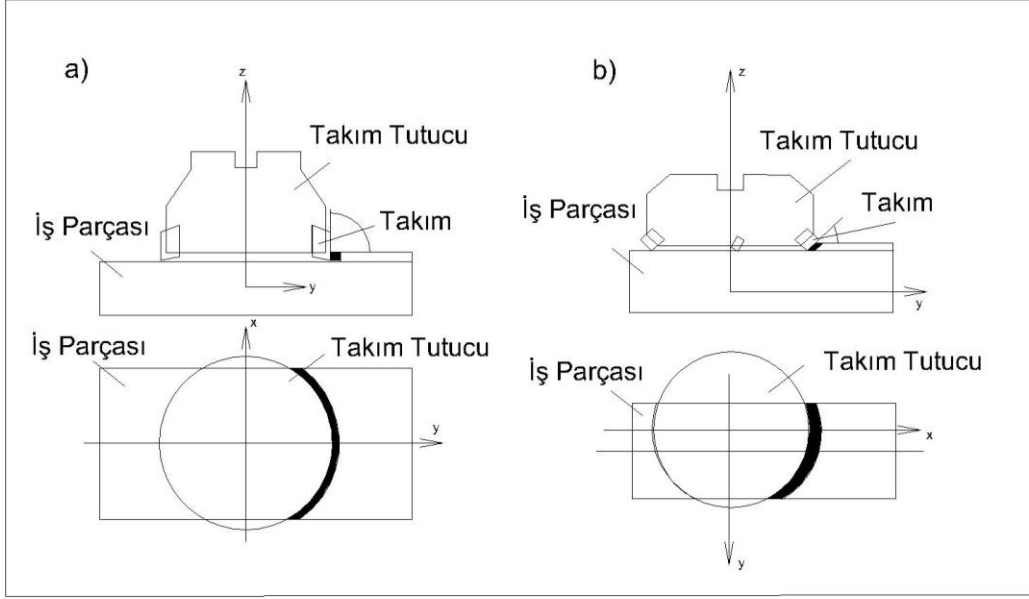
b) Küresel uçlu freze çakısı ile frezeleme (Şirin , 2012).

#### **2.4.1.1 Alın Frezeleme Yöntemi İle Talaş Kaldırma**

Freze çakısının, alın ve çevresindeki kesici ağızların birlikte kesmesi ile yapılan frezeleme işlemine “alın frezeleme” denir. Elde edilen yüzeyler çakının dönme eksenine diktir. Simetrik frezeleme ve asimetrik frezeleme olmak üzere iki çeşidi vardır. Simetrik ve asimetrik olarak talaş kaldırılabilmesi için, kesici takımın çapı frezelenen iş parçasının genişliğinden daima büyük olmalıdır (Şirin , 2012).

Simetrik frezeleme yönteminde kesici takımın dönme ekseni ile iş parçasının ilerleme yönündeki ekseni çakışıdır. Bu frezeleme yönteminde kesici takım iş parçasının tam ortasından hareket ettirilmelidir.

Asimetrik Frezeleme yönteminde ise simetrik frezelemenin tam tersine kesici takımın dönme ekseni ile iş parçasının ilerleme yönündeki ekseni çakışmaz (Şekil 6) (Şirin , 2012).



Şekil 6: Alın frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma a) Simetrik frezeleme b) Asimetrik frezeleme (Şirin , 2012).

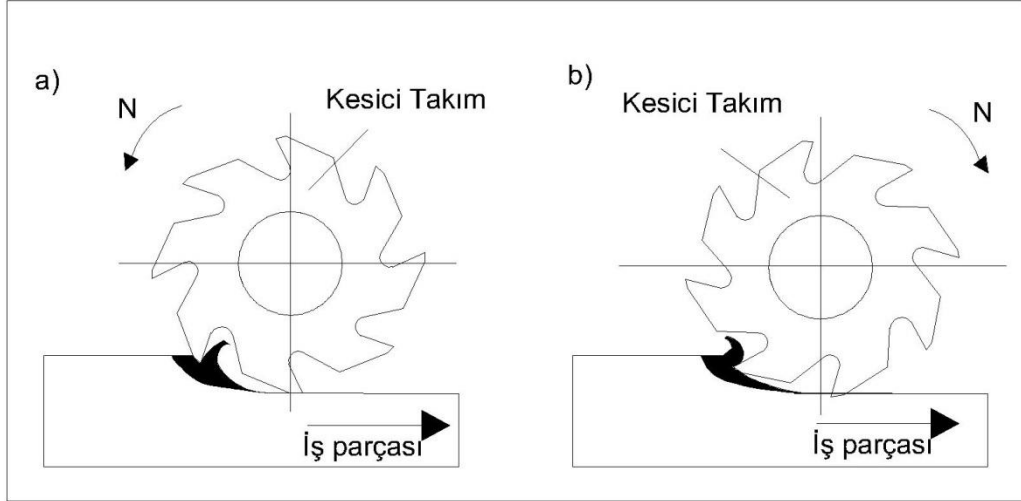
#### 2.4.1.2 Çevresel Frezeleme Yöntemi İle Talaş Kaldırma

Çevresel frezeleme yönteminde, freze çakıların çevresindeki kesici uçlar talaş kaldırmaktadır.

İş parçasının X, Y ve Z ekseninde belirlenen yönde ilerletilmesiyle ve kesici takımın dönmesiyle talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir Kesici takımın dönme eksenini ile talaş kaldırılacak yüzey paralel konumdadır. (Şirin , 2012).

Aynı yönlü frezeleme yönteminde iş parçasının ilerleme yönü ve kesme çakısının kesme yönü aynıdır. Virgül şeklinde talaş meydana gelir. Zıt yönlü frezelemeye göre daha ekonomiktir. Kesme kuvveti ile talaş kalınlığı doğru orantılıdır. En fazla talaş kalınlığı frezeleme işleminin en başında oluşur (Yürekli, 2012).

Aynı yönlü frezelemenin tersine zıt yönlü frezelemede, iş parçasının ilerleme yönü ve kesme çakısının kesme yönü zıttır. En fazla talaş kalınlığı frezeleme işleminin en sonunda oluşur. Virgül şeklinde talaş meydana gelir (Şekil 7) (Yürekli, 2012).



Şekil 7: Çevresel frezeleme yöntemi ile talaş kaldırmanın gösterilişi a) Aynı yönlü frezelemede b) Zıt yönlü frezelemede (Şirin , 2012).

#### 2.4.2 Frezelemede Temel Parametreler

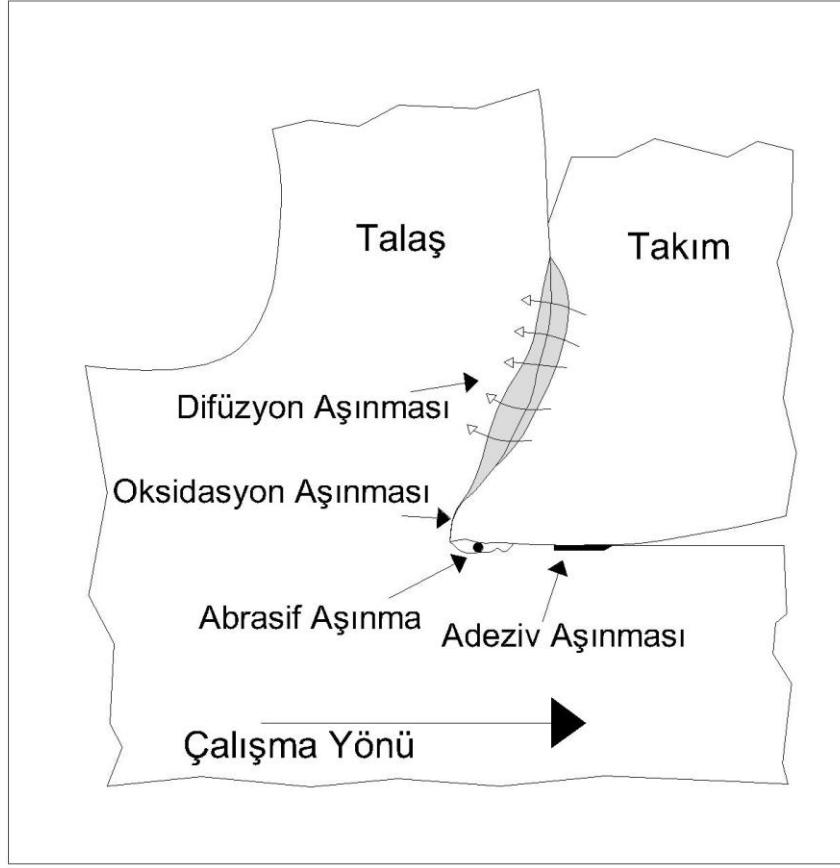
Kesme hızı kesicinin malzemesine, iş parçasının malzemesine, işleme metoduna (örneğin kaba veya ince işleme), tezgâh ve iş parçasının rijitliğine bağlı olarak seçilir. İlerleme  $f$ , freze çakısının her dönüşündeki ilerleme yoludur. Aynı zamanda diş başına ilerleme ( $f_z$ ) ile kesici dişlerin sayısının ( $Z$ ) çarpımıdır. Kesme Derinliği ve Kesme Genişliği ( $a_p$ ), freze çakısının iş parçasını kapladığı genişlik ve/veya derinliktir. Yatay frezelemede kesme genişliği, dikey frezelemede kesme derinliği olarak dikkate alınır. Çalışma düzlemi frezenin dönme düzlemine paralel olan ve bu düzleme dik talaş kaldırma düzlemine oturtulan hayali bir düzlemdir. Çalışma Alanı iş parçasının çalışma düzlemi içinde ilerleme yönüne dik olarak ölçülür (Şirin , 2012).



## 2.5 Kesici Takımlarda Aşınma

### 2.5.1 Aşınma Mekanizmaları

Abrasif aşınma takım ve iş parçası arasında sert parçacıklar girmesi sonucunda oluşur. Bu yabancı parçacıklar iş parçasının yüzeyine gömülürler ve zamanla takım yüzeyinde sürtünmeden dolayı malzeme kopmasına sebebiyet verirler. Malzeme kaybının yüksek olduğu aşınma tipidir. Taşlama işlemine benzer. Difüzyon aşınmasında basınç ve sıcaklığa bağlı olarak talaş ve takım malzemesi arasında her iki yönde difüzyon meydana gelir. İş parçası ve malzeme yüzeyi atomsal olarak değişime uğrar. Takım malzemesinin ve iş parçasının kimyasal özellikleri difüzyon aşınmasının mekanizmasını etkilemektedir. Difüzyon aşınmasında takım sertliğinin etkisi azdır. Adeziv aşınma işlem sırasında meydana gelen sıcaklık sonucunda oluşan aşınma mekanizmasıdır. İşlem sonucunda oluşan talaş sıcaklık sebebiyle takıma kaynak olup takımın kesici yüzeyinin parçası haline gelmektedir. Bu kenarın belirli bir noktadan sonra kopması kesici takımdan malzeme uzaklaşmasına sebep olur. Uzun ve kısa talaş oluşumunun olduğu malzemelerde görülür (çelik, alüminyum ve dökme demir gibi). Yorulma aşınması sıcaklıktaki ve kesme kuvvetindeki dalgalanmalar sonucunda meydana gelir. Takımın kesici ucunun kırılmasına ve çatlmasına sebep olur. Oksidasyon aşınması , yüksek sıcaklıkta metal yüzeyinde oluşan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vb. çok sert oksit tabakalarının talaş kaldırma işlemi sırasında takımı aşındırması şeklinde meydana gelir (Şekil 8) (Bağcı, 2009).

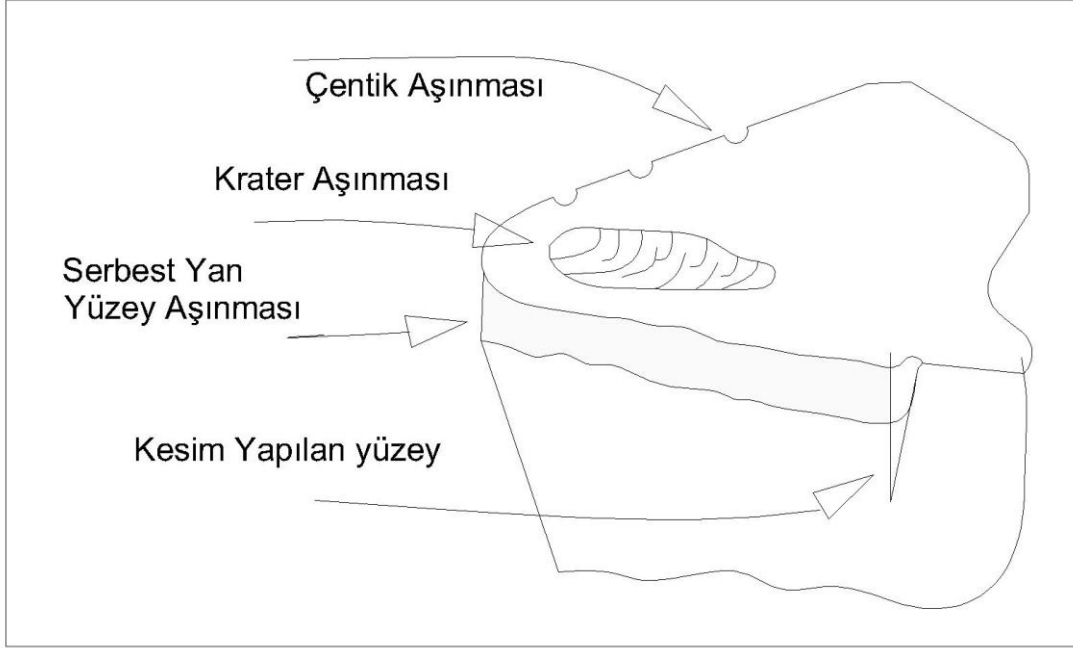


Şekil 8: Kesici takımlardaki aşınma mekanizmaları (Holmberg vd., 1994).

### 2.5.2 Kesici Takımlarda Görülen Aşınma Tipleri

Takımın işlem yapan yüzeyinde meydana aşınma biçimine serbest yüzey aşınması denilir. Meydana gelen bu aşınma sonucunda aşınan yüzey iş parçasına temasında etkiyen kuvvetlerin doğrultusu ve büyüklüğü değiştiğinden dolayı işlenen parçada boyutsal olarak sapmalar meydana gelir. Bu aşınmanın sebebi abrazyon aşınma mekanizmasıdır. Kesici takımın talaş yüzeyi iş parçasından kaldırılan talaşın kaydığı yüzeydir. Bu yüzeyle talaş yüzeyi arasından meydana gelen sıcaklık değişimlerinden dolayı malzeme kopar ve krater aşınması meydana gelir. Krater aşınması takımın ömrünü önemli oranda etkilemez ve hatta kesme kuvvetlerinin azaltılması gibi olumlu etkileri de vardır ancak aşırı krater aşınması takım kenarlarında zayıflamaya sebep olur buna bağlı olarak da takımda kırılmalar meydana gelir. Krater aşınmasının en önemli sebebi abrazyon, difüzyon ve kimyasal aşınma mekanizmalarıdır Çentik aşınması takım yüzeyinden küçük parçaların kopması sonucunda meydana gelen aşınma çeşididir. Takım yüzeyi ile işlenmemiş yüzey veya talaş kenarı arasındaki temas noktalarında çentik aşınması meydana gelir. Çentik aşınmasına

sebeplerden en önemli etken iş parçası yüzeyinin sert olmasıdır (süper alaşımlar gibi). Bunun yanı sıra işlem sırasında iş parçasında meydana gelen kimyasal tepkimelerin neden olduğu oksidasyon çentik aşınmasına sebep olmaktadır. Aşırı çentik aşınması takımın tekrar bilenmesini zorlaştırır. Bu aşınma takım burun yarıçapında korozyon, abrazyon ya da oksidasyon sebebiyle oluşur. Serbest yüzey aşınması ve çentik aşınmasının birleşimidir. Yüzey kalitesinin düşürür. Yumuşak malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan ağız birikimi oluşumu, malzemenin işlem sırasında kesme yüzeyine yapışarak burada çıkıntı meydana getirmesi olarak ifade edilir. Kalitesiz yüzeylerin oluşmasına sebep olmaktadır. Kesme kenarındaki plastik deformasyonun nedeni, işlem sırasında oluşan yüksek basınçlara karşı takım takım yüzeyinin rijitliğini koruyamamasıdır. Yüksek kesme hızlarına eşlik eden yüksek ilerleme hızlarında meydana gelir. Plastik deformasyon sonucunda; yüzey kalitesinin kötüleşmesi, boyutsal değerlerin değişmesi, serbest yüzey aşınması ve takımın kırılması gibi olumsuzluklar ortaya çıkar. Takımın kırılması takımın herhangi bir yüzeyinden önemli miktarda parçanın kopması ve parçalanması anlamına gelir. Genellikle seramik takımlarda meydana gelir. Kırılma tokluğunun artırılması, rijit tertibat kullanılması ve kesme parametrelerinin takıma uygun olarak ayarlanması ile takım kırılmasının önüne geçebilir. Isıl çatlaklar işlem sırasında yüksek sıcaklıktaki takımın soğutma sıvısı ile teması sonucunda sıcaklığın birdenbire düşmesi sonucunda oluşur. Mekanik çatlaklar ise takıma etkiyen dinamik kuvvetlerin sonucudur. Isıl ve Mekanik çatlaklar takım kopmasına sebep olmaktadır (Şekil 9) (Özdemir ve Ertan, 2003)

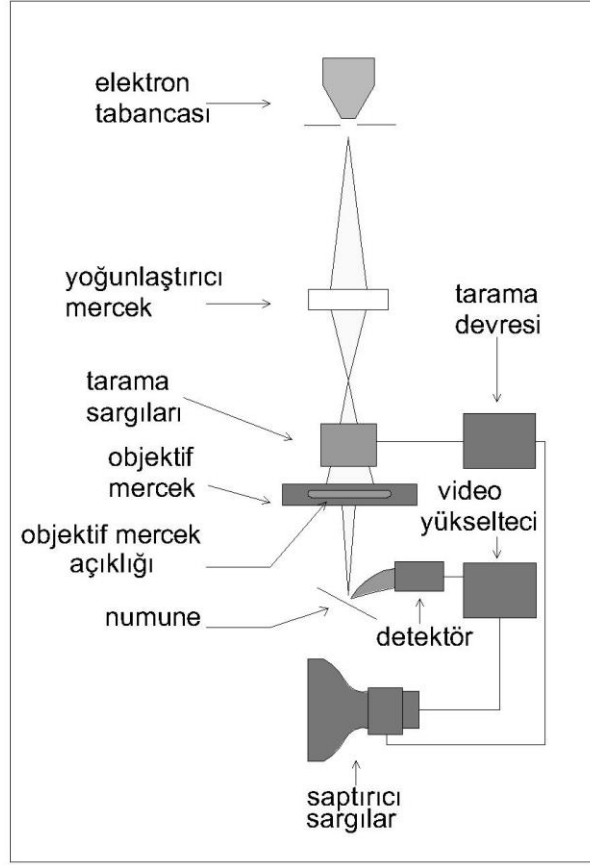


Şekil 9: Takımlarda görülen aşınma tipleri ve takım üzerindeki yerleri a) Yandan Görünüş b) Perspektif Görünüş (Holmberg vd., 1994).

## 2.6 Ölçüm Yöntemleri

### 2.6.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Temel olarak Taramalı elektron mikroskobu, Tungsten, Lantan hekza borit katottan veya alan emisyonlu (FEG) gun'dan ortaya çıkan elektronların kullanımı incelenecek malzeme yüzeyine gönderilmesi sonucu oluşan etkileşimlerden yararlanılması esasına dayanır. SEM'ler genel olarak bu elektron enerjisi 200-300 eV dan 100 keV a kadar değişebilir. Bu amaçla, yoğunlaştırıcı elektromanyetik mercekle (condenser lense) toplanan, objektif mercekle odaklanan elektron demeti, yine elektromanyetik saptırıcı bobinlerle örnek yüzeyinde tarama işlemini (scanning) gerçekleştirir. Bir taramalı elektron mikroskobunda görüntü oluşumu temel olarak; elektron demetinin incelenen örneğin yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşimlerin (elastik, elastik olmayan çarpışmalar ve diğerleri) sonucunda ortaya çıkan sinyallerin toplanması ve incelenmesi prensibine dayanır. TAEK (2015) (Şekil 10).

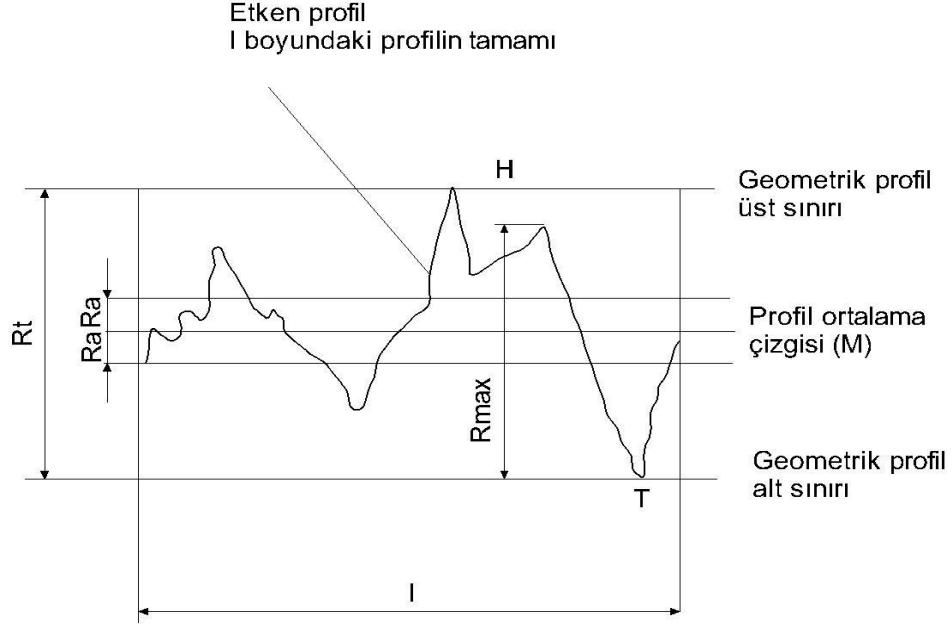


Şekil 10: Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

### 2.6.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Yöntemleri

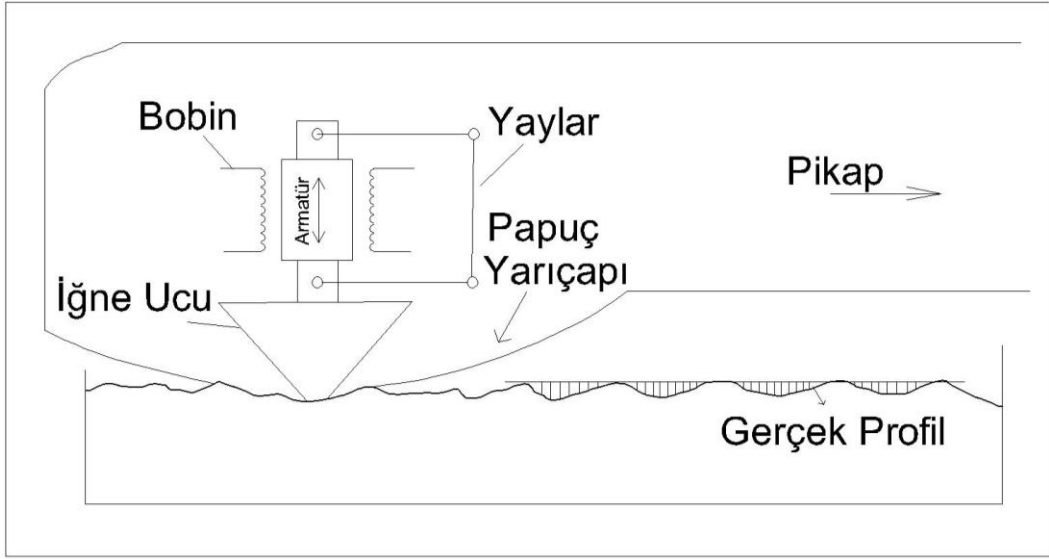
Pürüzlülük ölçme yöntemlerinde genel olarak pikap isimli elemanın içinde bulunan yarıçapı çok küçük olan iğne yüzey üzerinde sabit hızla hareket ettirilerek yüzey üzerindeki girinti ve çıkıntıları taraması sağlanır. Bu tarama işlemi sinyale dönüştürülerek ekran üzerine yansıtılır (Şekil 11-12) (Anon.2015)

## TEMEL YÜZEY BİRİM PROFİLİ



- $R_t$  = Pürüzlülük yüksekliği ( $\mu\text{m}$ )  
 $R_a$  = Aritmetik ortalama pürüzlülük değeri ( $\mu\text{m}$ )  
 $R_{\text{max}}$  = En büyük pürüz değeri ( $\mu\text{m}$ )  
 $R_z$  = Ortalama pürüz yüksekliği ( $\mu\text{m}$ )  
(l boyundaki 5 bölgenin ortalaması)  
(l= Örnek uzunluk (mm))

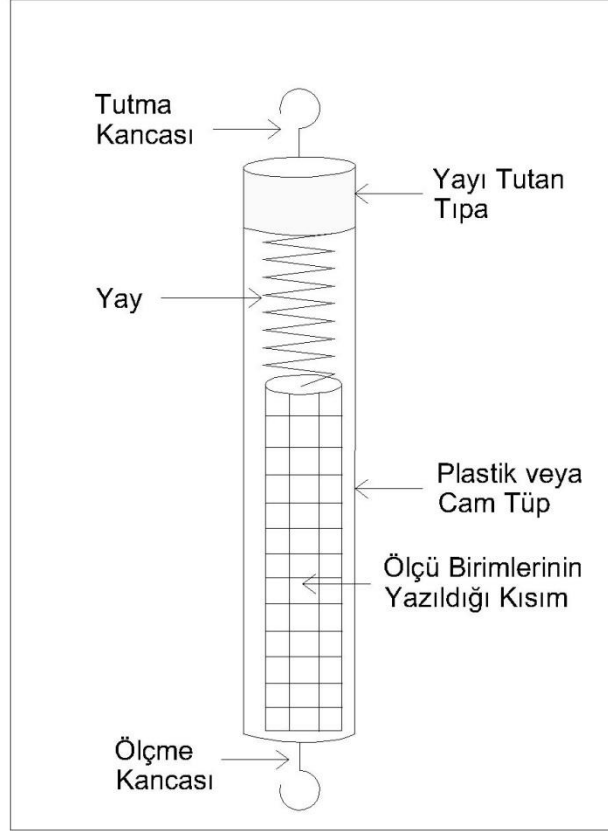
Şekil 11: Yüzey birim profili (Anon.2015).



Şekil 12: İğne uçlu endüktif pikap (Anon 2015).

### 2.6.3 Kuvvetlerin Ölçülmesi

Dinamometre, kuvvet ölçmeye yarayan ayardır. Temel olarak dinamometrelerde yay kullanılır. Yaya kuvvet uygulanması sonucunda yay sıkışır ve sıkışma miktarı ölçülerek uygulanan kuvvet değeri Newton (N) cinsinden bulunur (Şekil 13) (URL-11).



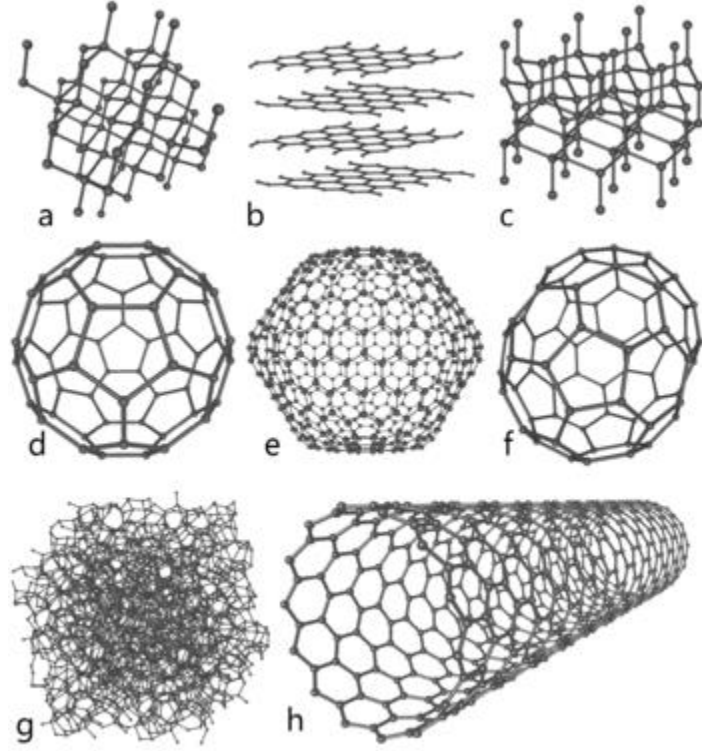
Şekil 13: Dinamometre (Anon.2015).



## BÖLÜM 3

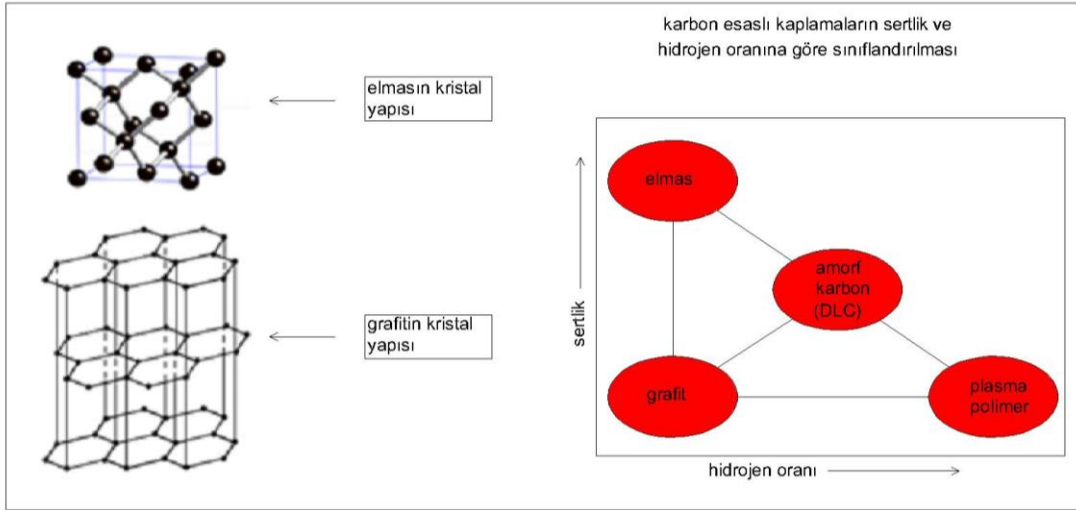
### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Allotrop aynı maddenin değişik kristal biçimlerine denir. Elmas ve grafit, karbonun allotroplarıdır. Elmas ve grafit dışında karbonun ayrıca altıgen elmas gibi doğal allotropları olduğu gibi laboratuvar ortamında elde edilmiş yapay allotropları bulunmaktadır. Kimyasal bakımdan eylemsiz olan elmas doğada bilinen en sert ve ısıyı en iyi ileten maddedir. Yalıtkan bir malzeme olup renksiz ve saydam bir maddedir. Elmasta her karbon atomu, dört başka karbon atomuna bağlanarak üç boyutlu katı bir yapı oluşturur. Grafit yumuşak, yağlı ve siyah renkli bir malzemedir. Yağlayıcı olarak kullanılabilir. Grafitte karbon atomları, üst üste yığılmış geniş, yassı levhalar oluşturacak biçimde, iki boyutlu düzlemde birbirlerine bağlanmıştır. Grafitte her bir karbon atomu aynı düzlemde bulunan diğer üç atoma altıgen halkalar oluşturacak şekilde bağlanır. Zayıf Van der Waals kuvveti ile bağlanmış olan iki boyutlu ağlar birbirlerinin üzerinde kolayca kayar. Karbonun belirgin, kendilerine özgü bir yapısı ya da biçimi olmayan allotropuna amorf karbon denir (URL-13). Amorf yapılarda  $sp^2$  ve  $sp^3$  hibritleri bir arada bulunmaktadır.  $sp^2$  hibritlerinin yoğun olduğu amorf yapıda grafit özellikleri gösterir.  $sp^3$  hibritlerinin yoğun olduğu amorf yapılarda ise elmas özellikleri gösterir (Şekil-14).



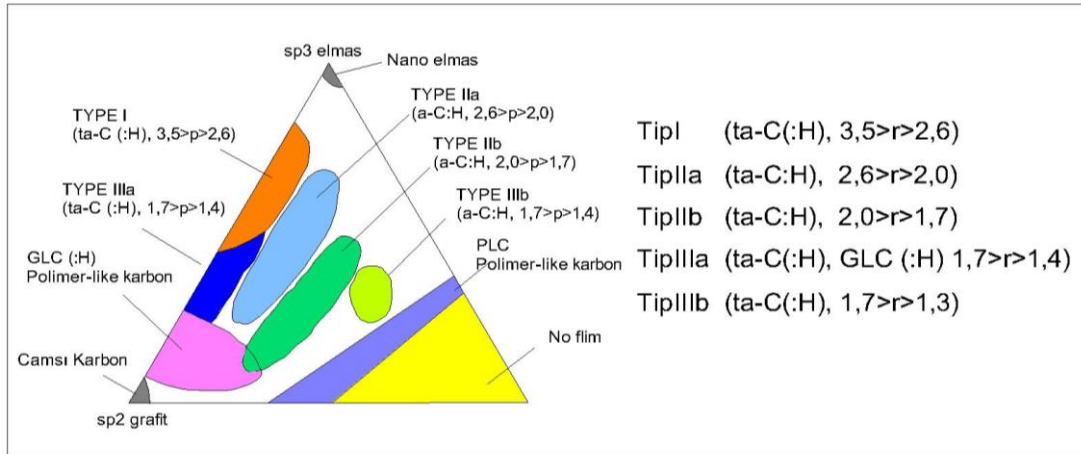
Şekil 14: Karbonun bazı allotropları: a) Elmas; b) Grafit; c) Altıgen elmas; d-f)Fullerenler (C60, C540, C70); g) Amorf karbon; h) Karbon nanotüp (URL-13).

DLC kaplamalar 1971 yılında ilk defa Aisenberg ve Chabot tarafından keşfedildi (Vengudusamy vd., 2011). DLC Kaplamalar amorf yapıya sahip karbon merkezli malzemelerdir ( Fukuia vd., 2004). Bünyesinde barındırdığı  $sp^2$  ve  $sp^3$  hibritlerinin oranına göre grafit ve elmas özellikleri gösterir.(Şekil 15).



Şekil 15: Karbon esaslı kaplamaların sertlik ve hidrojen oranına göre sınıflandırılması.

Elmas benzeri yapıları iki sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlar; Elmas Benzeri Hidrokarbonlar (a-C:H) ve Elmas Benzeri Karbonlardır (a-C) (Şekil-16) (Kurt, 2006).



Şekil 16: Japon araştırmacıların DLC kaplama çeşitlerini sınıflandırması (S. W. Kim, S. G. Kim., 2011)

Tablo 13: Çeşitli DLC kaplamaların özellikleri (Vengudusamy vd., 2011).

DLC	H%	W%	Sp3(%)	Ra(nm)	Sertlik (HV)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kaplama Teknolojisi
a-C:H:W	15	21	20	15	1190±60	118±6	PVD/PECVD
a-C:H:W	15	18	15	12	1318±35	165±3	PVD/PECVD
a-C:H:W	15	12	20	12	1183±80	135±5	PVD
a-C:H:W	15	14	25	14	1250±80	140±7	PVD
Si-DLC	20	-	30	24	1315±130	90±3	PVD/PECVD
Ta-C	<1	-	40	42	4510±620	407±45	PVD
Ta-C	<1	-	75	22	6793±350	473±25	PVD
a-C:H	17	-	35	10	2365±87	197±5	PECVD
a-C:H	18	-	35	16	2500±76	200±6	PVD/PECVD
a-C:H	25	-	38	10	2372±140	172±7	PECVD
a-C:H	22	-	35	10	2500±60	183±2	PECVD
a-C:H	20	-	35	10	2460±145	175±7	PECVD
AISI 52100	-	-	-	10	760±10	210±5	-

DLC kaplamalar mükemmel ince film kaplamadır. Yüksek sertlik, yüksek kimyasal kararlılık ve yüksek aşınma dayanımı gibi avantajları vardır. Özellikle yüzey özelliklerinden dolayı DLC kaplamalar özel mühendislik uygulamaları için çok uygun bir materyaldir (Fukuia vd., 2004). M.G. Gee ve M.J. Wicks küre aşınma metoduyla kaplama malzemelerinin sürtünme katsayılarını incelemişlerdir. TiN(a), TiN(b), TiN(c), TiCN, TiAlN, DLC(a), DLC(b), CrN kaplamalara 4,7 N kuvvet 3600 saniye boyunca uygulanmış, 0,47 N'luk kuvvet ise DLC(a), DLC(b) kaplamalara 28800 saniye boyunca TiN(a), TiN(c), CrN kaplamalara ise 3600 saniye boyunca uygulanmıştır (Gee, 2000) .

Tablo 14: Deneyde belirtilen kaplama çeşitlerinin özellikleri (Gee, 2000).

<b>Kaplamanın İsmi</b>	<b>Kaplama Çeşidi</b>	<b>Kaplanan Yüzey</b>	<b>Kaplama Kalınlığı (µm)</b>
TiN(a)	Titanyum Nitrür	M42 Takım Çeliği	4.1
TiN(b)	Titanyum Nitrür	HSS	1.5
TiN(c)	Titanyum Nitrür	HSS	4.6
TiCN	Titanyum Karbon Nitrür	M42 Takım Çeliği	4.2
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür	M42 Takım Çeliği	2.3
DLC(a)	Diamond-Like Carbon	M42 Takım Çeliği	4.1
DLC(b)	Diamond-Like Carbon	M42 Takım Çeliği	2.5
CrN	Krom Nitrür	TiAl4V	6.0

Yapılan deney sonucunda kaplamaların başlangıç ve bitiş sürtünme katsayıları incelenmiş olup 4,7 N ve 0,47 N'luk yükler altında DLC(a) ve DLC(b) kaplamalarının diğer kaplama malzemelerine göre sürtünme katsayılarının oldukça düşük olduğu görülmüştür. Bu deneyde DLC(a) ve DLC(b) kaplamalardan 4,7 N yük altında sürtünme katsayısı yüksek olan DLC(a) kaplamanın başlangıç sürtünme katsayısı  $0,59 \pm 0,16$  bitiş sürtünme katsayısı  $0,47 \pm 0,16$  değerinde ölçülmüştür. Bu değerlere en yakın olan TiCN kaplamanın başlangıç sürtünme katsayısı  $0,62 \pm 0,25$  bitiş sürtünme katsayısı  $0,98 \pm 0,37$  değerindedir. Belirtilen kaplama çeşitlerine 0,47 N kuvvet belirtilen sürelerde uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ise DLC(b) kaplamanın başlangıç sürtünme katsayısı  $0,19 \pm 0,11$  bitiş sürtünme katsayısı ise  $0,39 \pm 0,26$  değerlerinde ölçülmüştür. Bu değerler diğer kaplama çeşitlerindeki değerler ile karşılaştırıldığında DLC kaplamaların sürtünme katsayılarının diğer kaplamalara göre çok daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu deneyden de anlaşılacağı

üzere DLC kaplamaların sürtünme katsayıları diğer kaplama malzemelerine göre oldukça düşüktür (Şekil-17) (Gee, 2000).

S.Paskvale, M.Kahn ve diğerlerinin yaptığı çalışmalarda 1,1-1,6 µm Cr/DLC kaplı yüzeye nitrüleme yapılmış ve elektrik akımı verilmiştir. Yapılan deney sonucunda nitrüleme yapılmış yüzeyin aşınma dayanımı, sürtünme katsayısı, sertliği, kritik yüklemesi, N<sub>2</sub> akışı yapılmadan değerlerle kıyaslanmıştır. Bu tablolar incelendiğinde nitrüleme yapılmış Cr/DLC kaplamaların aşınma dayanımı sürtünme katsayısı ve kritik yük değerinin arttığı gözlemlenmiş olup sertliğinde düşüş meydana geldiği görülmüştür. Elektron bombardımanına maruz bırakılan Cr/DLC kaplamaların ise aşınma dayanımı ve sertliği düşmüş, kritik yük değeri artmış ve sürtünme katsayısı uygulanan voltaja göre değişmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak DLC kaplamaların özelliklerinin çeşitli yöntemlerle düzenlenerek uygulama alanlarının genişletilerek kullanım alanlarının artırılmasının mümkün olduğu ve özel mühendislik uygulamaları için uygun bir materyal olduğu sonucuna ulaşılabılır (Paskvale vd., 2011). N.X. Randall, G. Favaro ve C.H. Frankel' in yaptığı çalışmada TiN, W, DLC, Al ve Au kaplı yüzeylere çizik testi yapılarak adezyon değerlerini hesaplamıştır. Yapılan deneyde TiN, W ve DLC kaplı yüzeylere Lc1, Lc2 ve Lc3 olmak üzere üç kritik yük değeri yüklenmiştir. Al ve Au kaplı yüzeylere ise Lc1 ve Lc2 olmak üzere iki kritik yük değeri uygulanmıştır. İlk uygulanan Lc1 yük değerinde 200 µm adezyon derinliğine ulaşabilmek için artırılması gereken yük miktarı büyükten küçüğe doğru sıralandığında DLC>Au>TiN>Al>W olduğu görülmüştür. Lc1 yük değeri uygulandıktan sonra aynı yüzeye Lc2 yük değeri uygulanarak 200 µm adezyon derinliğine ulaşılmıştır. 200 µm adezyon derinliğine ulaşabilme için Lc2 için artırılması gereken yük miktarı Al>Au>DLC>W>TiN olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde Lc2 değeri uygulanan yüzeye Lc3 yük değeri uygulanarak 200 µm adezyon derinliğine ulaşılmıştır. 200 µm aşınma derinliğine ulaşabilme için Lc2 için artırılması gereken yük miktarı W>TiN>DLC olarak görülmüştür. Bu deney sonucunda adezyon dayanımının ilk yüklemeye DLC kaplı yüzeyde daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Randall vd, 2001) R. Crombez , J.McMinis, V.S.Veerassamy , ve W.Shen' nin yaptığı çalışmada cam yüzeye çizik testi yapılmıştır. Aynı cam yüzey DLC kaplanarak aynı yükler altında çizik testi tekrar yapılmıştır . 0,2 mN yük altında yapılan çizik testinde kaplamasız camda oluşan aşınmanın derinliği 0,9 genişliği ise 0,508 µm ölçülmüştür. Kaplamalı camda ise oluşan aşınmanın derinliği 0,6 µm, genişliği ise 0,352 µm olarak ölçülmüştür. Bu değerler yük değeri her defasında iki katına çıkarılarak tekrar ölçülmüştür. Çıkan sonuçlara göre DLC kaplı camın kaplamasız

cama göre adezyon dayanımının çok daha iyi olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Crombez vd. , 2011) A. Banerji ve diğeri yaptıkları çalışmada Ti6Al4V alaşımını H-DLC, W-DLC, TiCN, TiAlN ve TiN kaplamaları ile kaplamışlar ve 5 N ve V=0,12 m/s parametrelerinde yüzey pürüzlülüklerini ölmüşlerdir. H-DLC ve W-DLC kaplı yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri, TiAlN ,TiCN ve TiN kaplı yüzeylerin yüzey pürüzlülüklerinde %75 daha düşük çıkmıştır.Aynı çalışmada W-DLC kaplı yüzeyin sıcaklığı 300 °C, 400 °C ve 500 °C' ye kadar çıkartılmış ve bu sıcaklıkta yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık arttıkça düştüğü görülmüştür (Banerji vd., 2014).

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOT

#### 4.1 Ti6Al4V Alaşımının Özellikleri

Yapılan çalışmada kullanılan Ti6Al4V süper alaşımı 52x52x150 mm ölçülerinde olup kimyasal analizi aşağıdaki gibidir.

Tablo 15: Kullanılan Ti6Al4V alaşımının kimyasal bileşimi.

Element	Al	V	Fe	C	N	H	O
Yüzde	6,03	4,14	0,192	0,20	0,022	0,001	0,15

#### 4.2 a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN Kaplamaların Özellikleri

Çalışmada a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN kaplı takımlar kullanılmıştır. Temin edilen AISI D2 altlıklar (Ø25x5mm) zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutularak kaplama işlemine hazırlanmıştır. Josef Stefan Enstitüsü'nde (Slovenya) kaplamasız kesici takımlar ve altlıklar üzerine PVD metoduyla biriktirilmiştir. (Şekil-18)

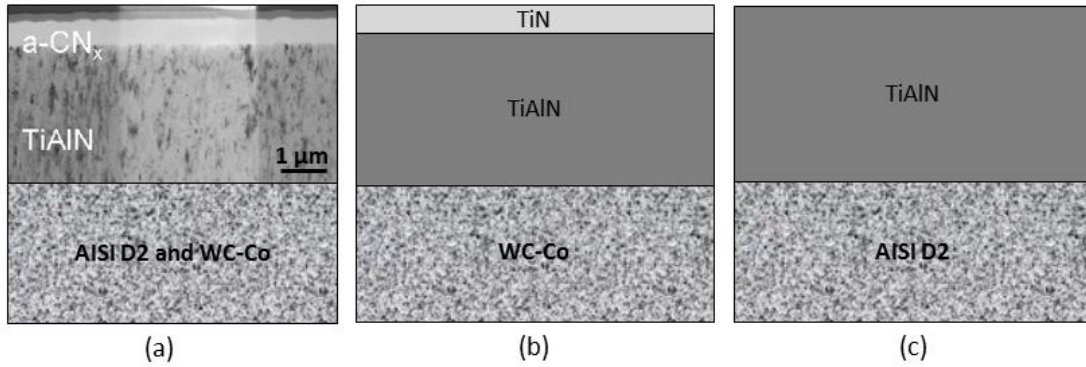


#### 4.2.1 a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN Kaplamaların Yüzey Pürüzlülük ve Kalınlık

##### Değerleri

Tablo 16: a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN kaplamaların pürüzlülük ve kalınlık değerleri.

Kaplama Çeşidi	Pürüzlülük (nm)	Kalınlık ( $\mu\text{m}$ )	Kaplamaların Kendi Kalınlıkları ( $\mu\text{m}$ )
a-C:N/TiAlN	~10	~4,2	~0,7/~3,5
TiAlN	~35	~4,0	~4,0
TiN/TiAlN	-	~2,0	~2,0



Şekil 17: a-C:N/TiAlN kaplama (a) Ticari kaplama TiN/TiAlN(b) ve sadece TiAlN kaplama.

#### 4.2.2 a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN Kaplamaların Sertliklerinin ve Elastik Modülleri

Kaplamalar için sertlik önemli bir özelliktir. Çünkü sert olan kaplamaların kesme performansları daha iyi olup takım aşınmasını önlerler. Takım aşınması önleneceği için takım ömrü uzar buna bağlı olarak daha çok parça üretilir. Elastik modülü yüksek kaplamalar daha rijit davranırlar yani gerilmenin artışına bağlı olarak oluşan şekil değişimleri azdır.

D2 altlık üzerine yapılan kaplamaların sertlikleri ve elastik modülleri oda sıcaklığında maksimum 10 mN yük yüklenerek Vickers cinsinden ölçülmüştür.

Tablo 17: a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN kaplamalarının mekanik özellikleri.

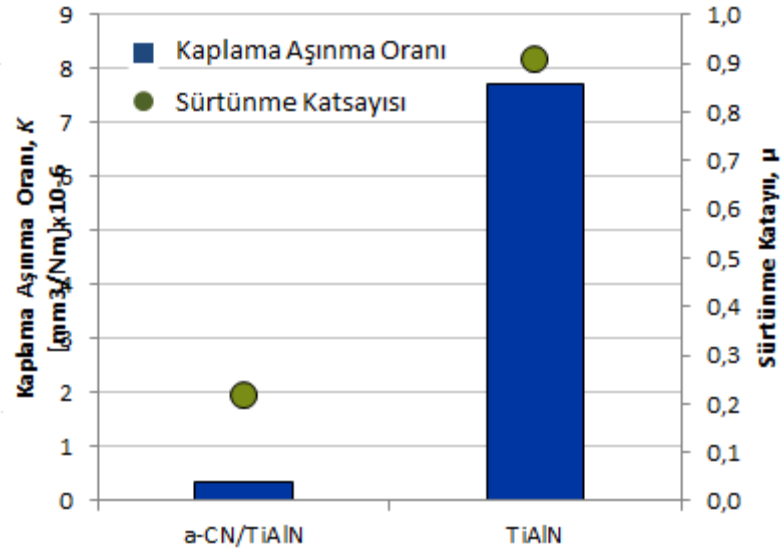
<b>Kaplama</b>	<b>Sertlik [HV]</b>	<b>Elastik Modülü [GPa]</b>
a-C:N	1070 ± 157	135 ± 9
TiAlN	3133 ± 130	350 ± 11

a-C:N/TiAlN ve TiAlN kaplamalara alümina bilye ile aşındırma testi yapılmıştır. a-C:N/TiAlN kaplamasında ölçülen aşınma derinliği 0,35 µm, genişliği ise 140 µm olarak ölçülmüştür. Bu test ile a-C:N/TiAlN alaşımının aşınma davranışının TiAlN kaplamasından daha iyi olduğu görülmüştür.

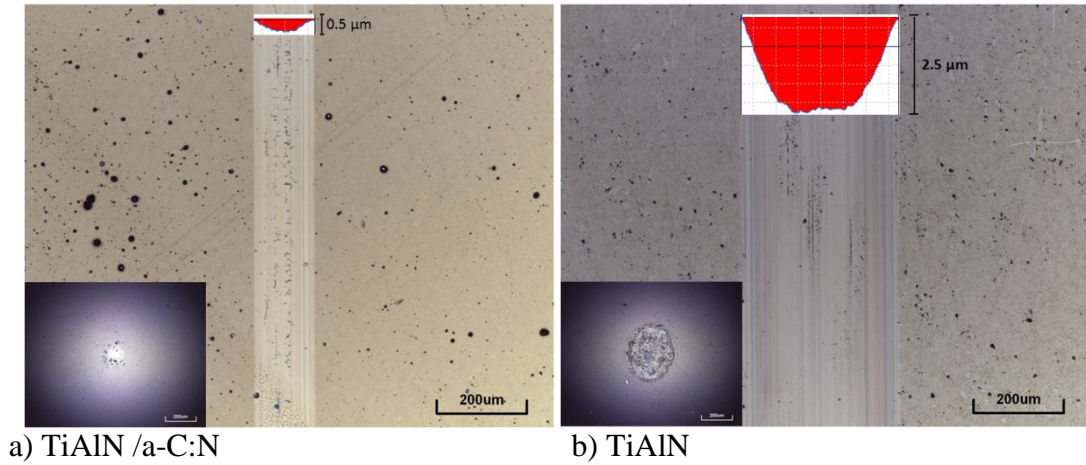
#### **4.2.3 a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN Kaplamaların Sürtünme Katsayısı ve Aşınma**

##### **Değerleri**

a-C:N/TiAlN ve TiAlN kaplamalarının sürtünme katsayıları ve kaplama aşınma oranları ölçülmüş ve a-C:N/TiAlN kaplamanın TiAlN kaplamasına göre sürtünme katsayısının çok daha az olduğu görülmüştür. Aşınma oranlarına bakıldığı zaman ise a-C:N/TiAlN kaplamanın aşınma dayanımının TiAlN göre nispeten daha iyi olduğu görülmüştür (Şekil 18-19).

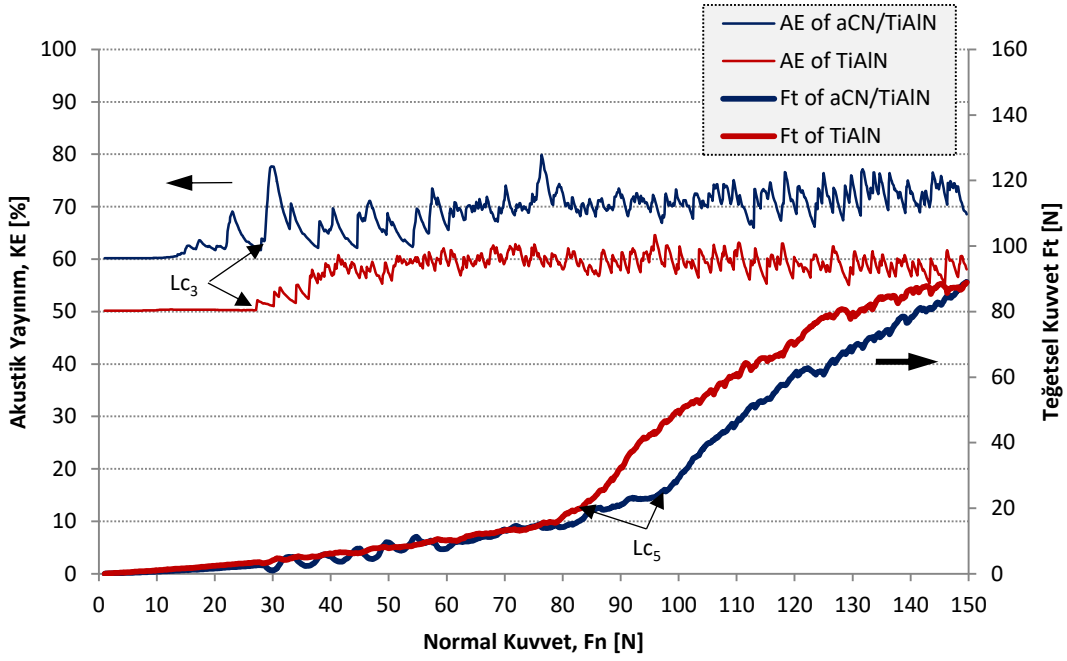
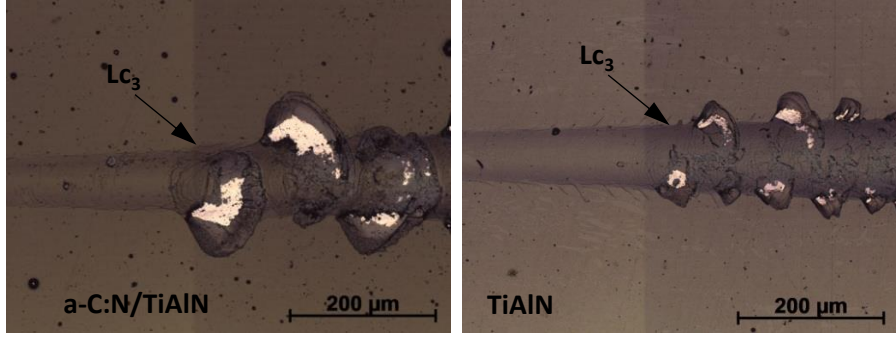


Şekil 18: a-C:N/TiAlN ve TiAlN kaplamaların sürtünme katsayısı ve kaplama aşınma oranlarının kıyaslanması.



Şekil 19: Kaplamalarda oluşan aşınmaların görünüşü.

AISI D2 çelik yüzey üzerine a-C:N/TiAlN ve TiAlN kaplama yapılmış ve çizik testi uygulanmıştır. Bu işlem sırasında akustik yayılım ölçülerek , normal kuvvet ve teğetsel kuvvet grafiğine bakılarak kaplamalardaki kırılmanın TiAlN kaplamada daha önce başladığı görülmüştür (Şekil 20).



Şekil 20: AISI D2 çelik üzerine yapılan kaplamaların çizik testi sonuçları.

### 4.3 Kullanılan Ekipmanlar

#### 4.3.1 CNC Tezgahı

Frezeleme işleminde verilen Bartın Üniversitesi Merkezi Laboratuvar'ında bulunan 800x500x450 mm hareket kabiliyetine sahip kesme hızı 5- 12000 mm/min aralığında tabla ebadı 960 x 550 mm mil hızı aralığı 60-10000 dev/dak olan Falco VMC 855 marka CNC tezgah kullanılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21: Falco VMC 855 marka CNC tezgah.

#### 4.3.2 Dinamometre

$F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  Kuvvetleri -5 kN ile 10 kN arasında kuvvetlerini ölçebilen piezo-elektrik Kistler 9257B marka dinamometre, Kistler 5070 marka sinyal yükseltici, Kistler 5697A marka data okuma aparatı, Kistler Dyno Ware marka grafik oluşturma aparatı ile görüntülendi ölçülmüş ve analiz edilmiştir.

#### 4.3.3 Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Yüzey pürüzlülüğü detektör ölçüm gücü 0,75 mN uç açısı  $60^\circ$  , uç radyusu  $2 \mu\text{m}$  ,sürücü ünite hızı 0,25 mm/s , 0,5 mm/s , 0,75 mm/s olan ve diferansiyel endüktans yöntemiyle ölçüm yapan mitutoyo surfest SJ-310 marka cihaz ile ölçülmüştür (Şekil 22).



Şekil 22: Mitutoyo surfest SJ-310 marka sürtünme ölçüm cihazı.

#### 4.3.4 Sertlik lm Cihazı

Kaplamaların sertlik değerleri maksimum 2000 mN yükleme yapabilen ve maksimum çentik derinliği 150  $\mu$ m olan Fisherscope H100C nanoindenter marka cihaz ile ölçülmüştür (ekil 23).



Şekil 23: Fisherscope H100C nanoindenter sertlik ölçüm cihazı.

#### 4.3.5 SEM

Görüntülemeler için ise 6 - 1000000 x büyültme özelliğine sahip FEI Quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 24) .



Şekil 24: FEI quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu.

#### 4.4 Kesme Parametreleri

Ti6Al4V alaşımının işlenmesi sırasında Tablo 18 de verilen parametreler kullanılmıştır.

Tablo 18: Ti6Al4V alaşımının frezelenmesinde kullanılan kesme parametreleri.

Deney No	Kaplama	n (rpm)	Vc (m/dak)	fz (mm/diş)	ap (mm)	Ra( $\mu$ m)
1	DLC	909,92	60	0,05	0,5	0,25
2	DLC	909,92	60	0,10	0,5	0,43
3	DLC	909,92	60	0,15	0,5	0,44
4	DLC	909,92	60	0,20	0,5	0,46
5	DLC	1364,88	90	0,05	0,5	0,25
6	DLC	1364,88	90	0,10	0,5	0,50
7	DLC	1364,88	90	0,15	0,5	0,44
8	DLC	1364,88	90	0,20	0,5	0,33
9	DLC	1819,84	120	0,05	0,5	0,30
10	DLC	1819,84	120	0,10	0,5	0,51
11	DLC	1819,84	120	0,15	0,5	0,47
12	DLC	1819,84	120	0,20	0,5	0,39
13	DLC	2274,80	150	0,05	0,5	0,35
14	DLC	2274,80	150	0,10	0,5	0,55
15	DLC	2274,80	150	0,15	0,5	0,53
16	DLC	2274,80	150	0,20	0,5	0,42

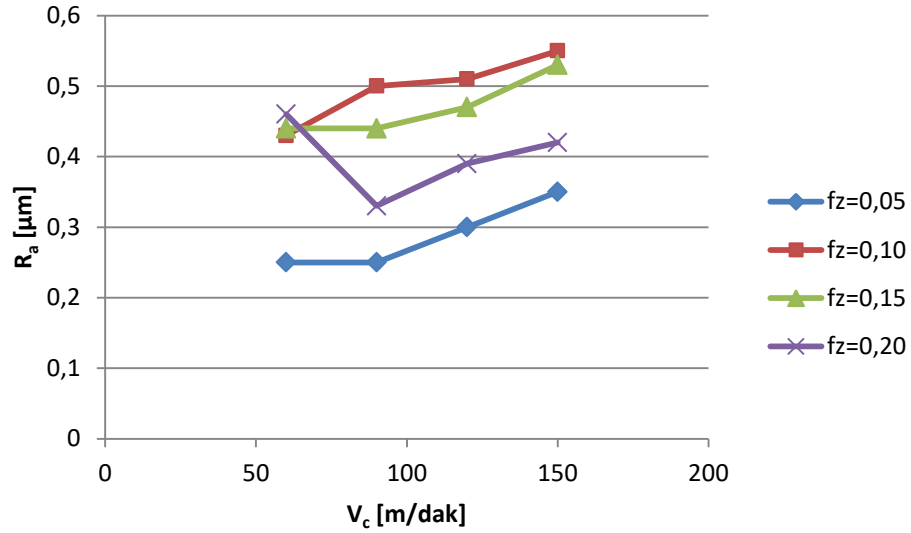


## BÖLÜM 5

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 5.1 Kesme Testleri Sonrasında Ti6Al4V Alaşımı Üzerinde Elde Edilen Yüzey Pürüzlülükleri

a-C:N/TiAlN kaplamalı takımlar kullanılarak Ti6Al4V alaşımının frezelenmesinde farklı kesme parametrelerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 25 de gösterilmektedir.



Şekil 25: a-C:N /TiAlN kaplamalı takımlar kullanılarak farklı parametrelerde elde edilen Ra değerleri.

Bulunan değerlere regresyon yöntemi uygulanarak aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$Ra(fz, Vc) = (4,34062E-02) + (-2,80050E+01)*fz^2 + (8,42940E+00)*fz + (1,70139E+05)*Vc^2 + (-2,34833E-03)*Vc + (-8,50533E-03)*fz*Vc \text{ (Eşitlik 1)}$$

En iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerinin  $f_z=0.05$  mm/diş -  $V_c=60$  m/dak ve  $f_z=0.05$  mm/diş ve  $V_c=90$  m/dak parametrelerinde ( $R_a=0.25$  μm) elde edildiği görülmektedir. En kötü yüzey pürüzlülüğü değerleri ise  $V_c=150$  m/dak ve  $f_z=0.10$  mm/diş değerinde ( $R_a=0.51$ ) ve  $V_c=150$  m/dak  $f_z=0,10$  mm/diş parametrelerinde elde edilmiştir ( $R_a=0,55$  μm). Bütün

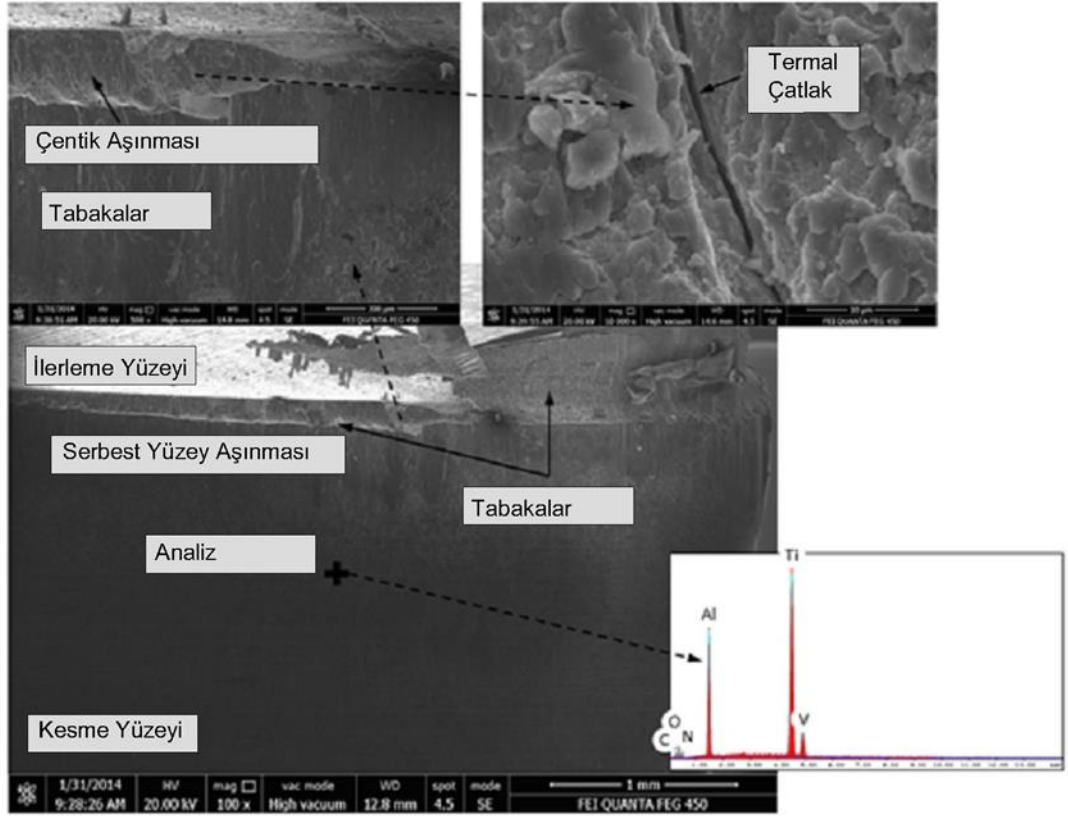
deney sonuçları değerlendirildiğinde, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir.

Engin Ünal ve Faruk Karaca yaptıkları çalışmada ISO P 10 sementit karbür takımla, talaş derinliği 2 mm olacak şekilde ve  $f_z=0.25$  mm/diş,  $V_c=30$  m/dak, 60 m/dak ve 90 m/dak kesme hızlarında soğutma sıvısı olmadan Ti6Al4V işlemleridir. Yapılan ölçümler sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızı arttıkça arttığı görülmüştür (Ünal ve Karaca 2007).

İ. Burcu Toprak ve arkadaşları SecoF40M TiAlN/TiN kaplamalı 218.20-0.80ERME04 uç ile radyal ve aksel kesme derinliği sırasıyla 10 mm ve 2 mm olarak sabit tutarak ilerleme oranı  $f_z=0.05$  mm/diş,  $f_z=0.10$  mm/diş,  $f_z=0.15$  mm/diş ve  $f_z=0.20$  mm/diş olacak şekilde  $V_c=50$  m/dak,  $V_c=70$  m/dak,  $V_c=90$  m/dak ve  $V_c=110$  m/dak kesme hızı değerlerinde soğutma sıvısı kullanarak Ti6Al4V işlemleridir.

Bu çalışmanın sonuçları incelendiğinde en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 50 m/dak kesme hızı değerinde olmuştur. 70 m/dak kesme hızı değerinde yüzey pürüzlülüğü değeri düşmüş 90 m/dak ve 110 m/dak kesme hızı değerlerinde artmıştır (Toprak vd., 2011)

Bu sonuçlar incelendiğinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmektedir. Kesme hızı arttığında işlem sırasındaki sıcaklık ve basınç artmaktadır. Ti6Al4V işlem sırasındaki oluşan yüksek sıcaklık ve basınç değerlerinde mukavemetini koruyabilmekte ancak kesici takım ise koruyamamaktadır. Bunun sonucunda oluşan talaşlar takıma yapışmakta Şekil 26 da görüldüğü takımda serbest yüzey aşınması meydana gelmektedir ve kesme alanı azaldığından yüzey pürüzlülüğünü artmaktadır (Şekil 26).

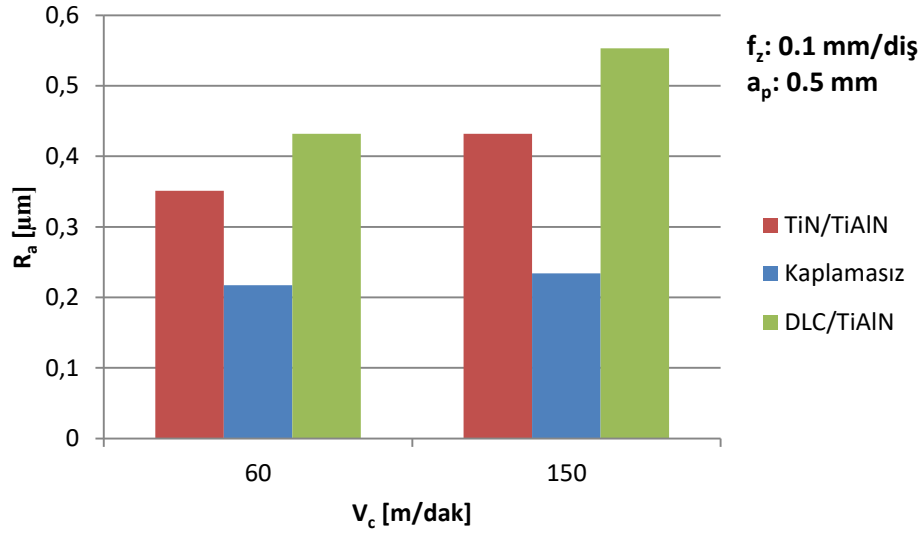


Şekil 26: a-C:N/TiAlN kaplı takımda meydana gelen aşınmaların SEM mikroskopundaki görünümü.

Mustafa Günay ve arkadaşları yaptığı çalışmada sabit ilerleme hızlarında  $12 \mu\text{m}$  kalınlığında TiN kaplı RT100308 ER-81(KR15) takımla  $a_p=0,5\text{mm}$  talaş derinliğinde  $V_c=100 \text{ m/dak}$ ,  $140 \text{ m/dak}$ ,  $180 \text{ m/dak}$  kesme hızlarında Ti6Al4V alaşımı frezelemiştir (Günay vd., 2011). İ.N.Tansel ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada  $4 \mu\text{m}$  TiN/TiCN/TiAlC kaplı takımla  $a_p=0.2 \text{ mm}$ ,  $0.6 \text{ mm}$ ,  $0.8 \text{ mm}$  talaş derinliğinde  $V_c=50 \text{ m/dak}$ ,  $70 \text{ m/dak}$  ve  $90 \text{ m/dak}$  kesme hızlarında Ti6Al4V frezelemiştir. (Tansel vd., 2010). J. Pradeep Kumar ve K. Thirumuruga yaptıkları çalışmada karbür, yüksek hız çeliği ve TiN kaplı yüksek hız çeliği takımla  $a_p=0.3\text{mm}$  talaş derinliğinde CP Ti Grade 2 alaşımını frezelemiştir. Yapılan bu çalışmalarda soğutma sıvısı kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı arttıkça düştüğünü gözlemlenmiştir (Kumar ve Thirumurugan, 2012). Bu sonuçlar değerlendirilecek olursa soğutma sıvısı kullanıldığı için kesme yüzeyinde oluşan ısı transfer olduğundan ve işlenen malzemelerin sertlik değerleri düşük olduğundan dolayı talaş yapışmalarının önüne geçilmiştir ve aşınma miktarları

azaltılmıştır. Buna bağlı olarak yüzey Kesme hızı arttığında pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.

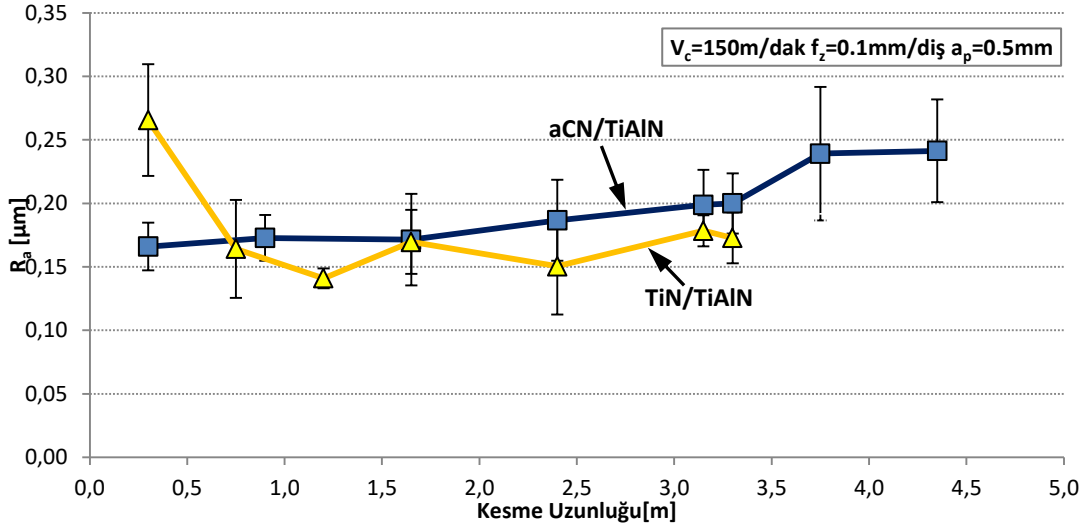
a-C:N/TiAlN kaplamalı takımlar ile  $f_z=0.1$  mm/diş ve  $a_p=0.5$  mm parametrelerinde elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, ticari kaplamalı (TiN/TiAlN) ve kaplamasız takımlar ile karşılaştırması Şekil 27’te verilmektedir.



Şekil 27: Kaplamaların yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin karşılaştırması.

Şekil 26’a göre, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri a-C:N/TiAlN kaplamalı takımlarda elde edilmiştir. Pürüzlülük değerleri oranlandığında, a-C:N/TiAlN kaplamalı takımın yüzey pürüzlülüğü değerinin TiN/TiAlN kaplamalı takımdan %34.55, kaplamasız takımdan ise %58.18 daha fazla olduğu görülmüştür.

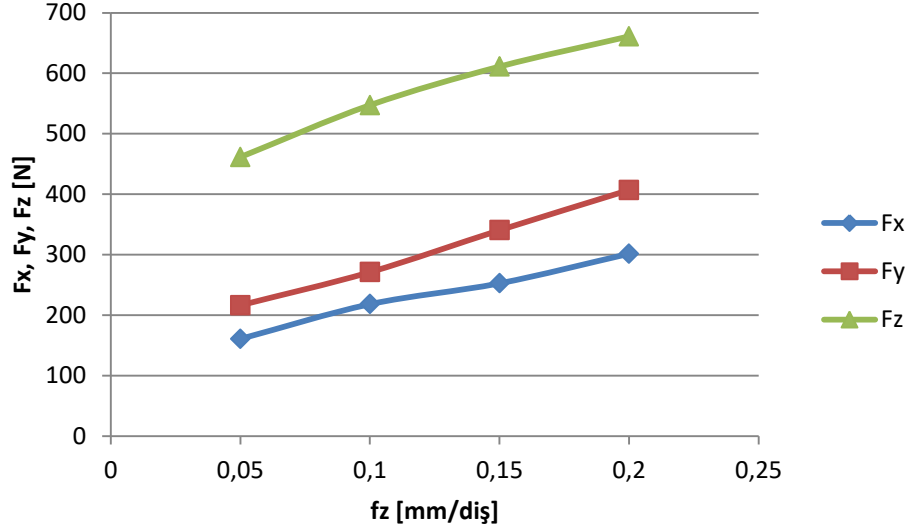
İrfan Acun ve arkadaşları Inconel 718 alaşımını kaplamalı ve kaplamasız MicroTools-DT 110 takımla eşit parametrelerde ilerleme oranı mikrometre değerlerinde olacak şekilde frezelemiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda DLC kaplamalı takımla işlenen yüzeyin yüzey pürüzlülüğünün %30 daha iyi olduğu görülmüştür. Ancak ilerleme oranı arttırıldıkça aradaki bu farkın azaldığı gözlemlenmiştir [75]. Ti6Al4V’nin Yüzey pürüzlülüğü değeri ( $R_a$ ) ve kesme uzunluğu a-C:N/TiAlN ve TiN/TiAlN kaplı takımlar için karşılaştırıldığında şekilde görüldüğü gibi TiN/TiAlN kaplı takımda yüzey pürüzlülüğü değeri a-C:N/TiAlN kaplı takıma göre ortalama %20 daha iyidir. Kesme uzunluğu arttıkça bu değer fazla değişmemektedir (Şekil 28).



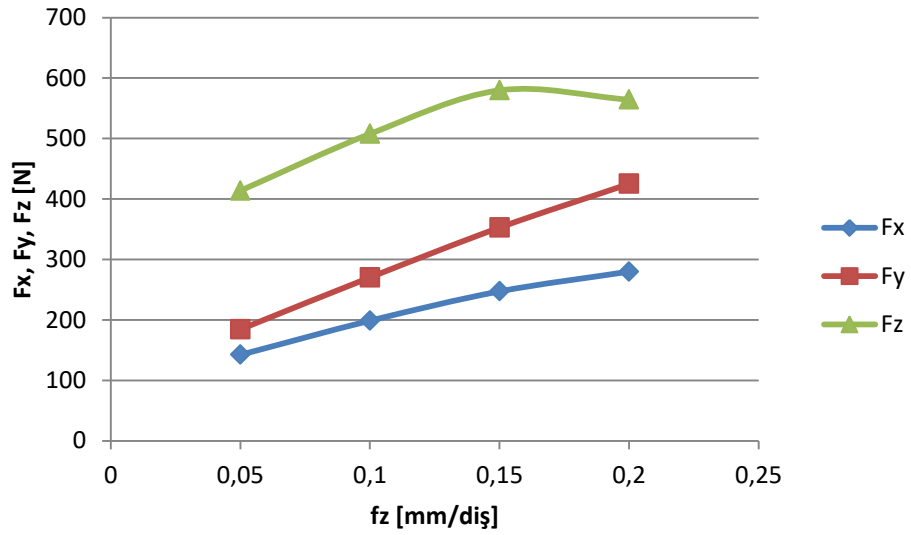
Şekil 28: Ti6Al4v'nin kesme uzunluğuna göre yüzey pürüzlülüğü değerleri.

## 5.2 Elde Edilen Kuvvet Değerlerinin Karşılaştırılması

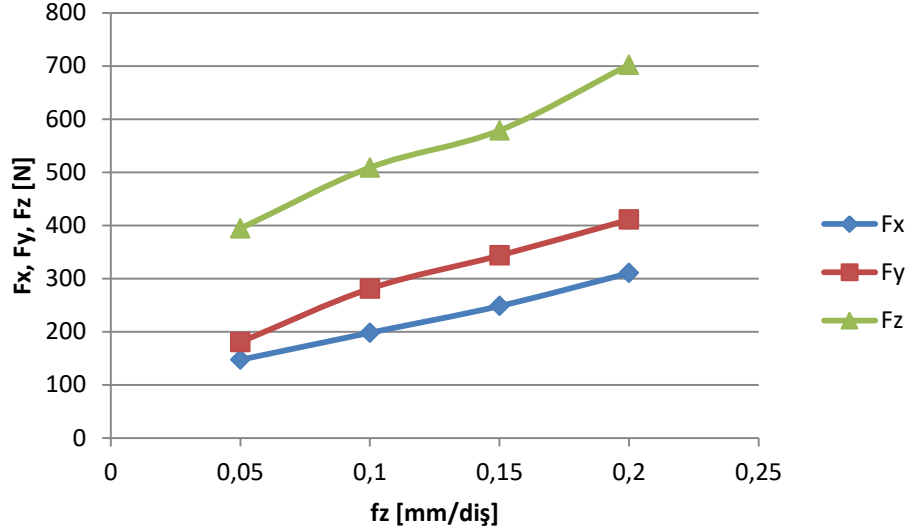
Frezeleme işleminde farklı kesme hızlarında elde edilen kesme kuvveti bileşenlerinin ilerleme oranına bağlı olarak değişimi Şekil 29-30-31-32'de verilmektedir.



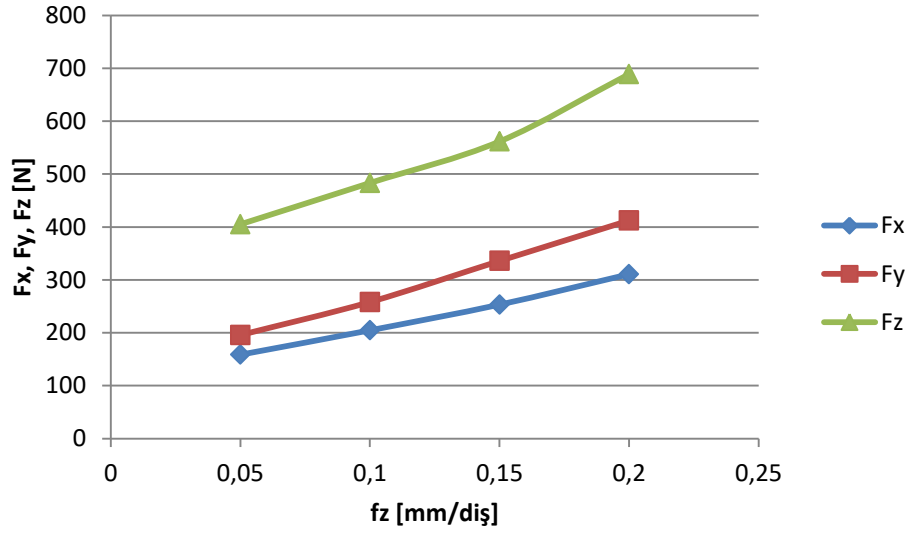
şekil 29:  $V_c=60$  mm/dak için ilerleme oranına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi.



şekil 30:  $V_c=90$  mm/dak için ilerleme oranına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi.

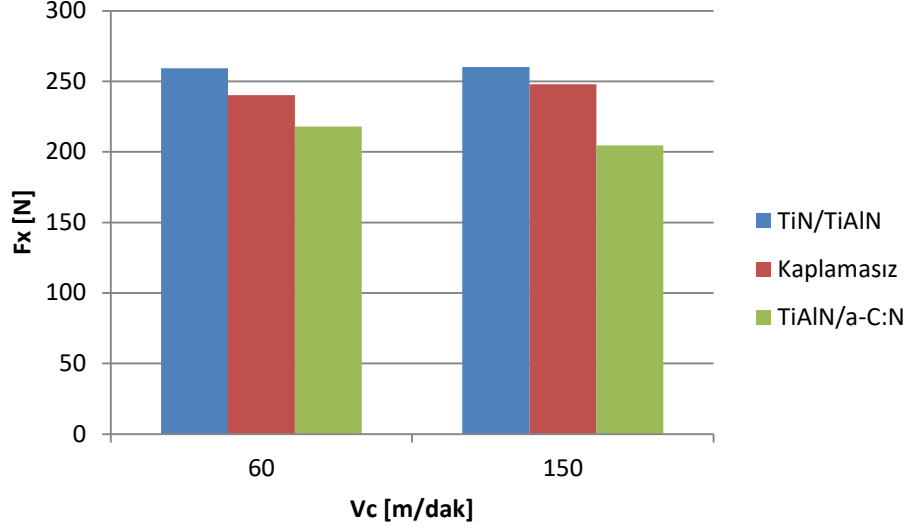


şekil 31:  $V_c=120$  mm/dak için ilerleme oranına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi.



şekil 32:  $V_c=150$  mm/dak için ilerleme oranına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi.

Grafiklerdeki değerler incelendiğinde ve birbirleriyle kıyaslandığında  $f_z$  değeri dūřürölüp hız arttırıldığında kuvvet değerlerinin azaldığı görölmüştür. a-C:N/TiAlN, kaplaması ile yapılan işlem sonucunda bulunan  $MaxF_x$ ,  $MaxF_y$  ve  $MaxF_z$  değerler ticari kaplamalı (TiN/TiAlN) ve kaplamasız takımlar ile yapılan işlem sonucunda ortaya çıkan  $MaxF_x$ ,  $MaxF_y$  ve  $MaxF_z$  değerleriyle kıyaslanmıştır.

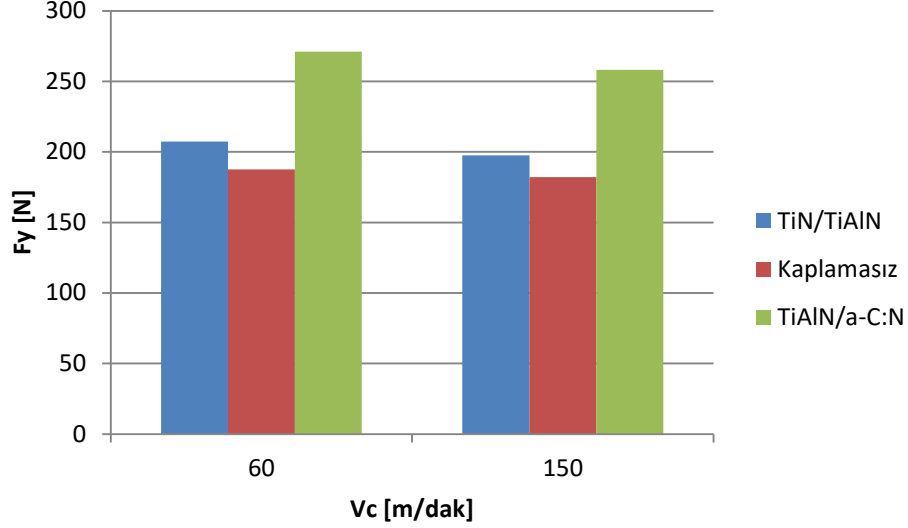


Şekil 33:  $f_z=0.10$  mm/diş için kesme hızının ve kaplamanın  $F_x$  üzerine etkisi.

Oluşan  $F_x$  değerleri incelendiğinde  $f_z=0.1$  mm/diş  $V_c=150$  m/dak parametreleri için en fazla  $F_x$  kuvveti TiN/TiAlN kaplamalı takımda, en az  $F_x$  kuvveti ise a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda ölçülmüştür. a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda oluşan  $F_x$  kuvveti TiN/TiAlN kaplamalı takımdan %21.4 Kaplamasız takımdan ise %17.5 daha azdır.

Aynı şekilde  $f_z=0.1$  mm/diş  $V_c=60$  m/dak parametreleri için  $F_x$  kuvveti en fazla TiN/TiAlN kaplamalı takımda en az  $F_x$  kuvveti ise a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda ölçülmüştür.  $F_x$  kuvveti TiN/TiAlN kaplamalı takımda en az  $F_x$  kuvveti ise a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda ölçülmüştür. a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda oluşan  $F_x$  kuvveti TiN/TiAlN kaplamalı takımdan %15.9 kaplamasız takımdan ise %9.2 daha azdır. Yukarıdaki elde edilen yüzdeler incelendiğinde  $f_z$  adım sayısı sabit  $V_c$  kesme hızı değeri arttıkça oluşan  $F_x$  kuvvetleri arasındaki fark artmaktadır (Şekil 33).

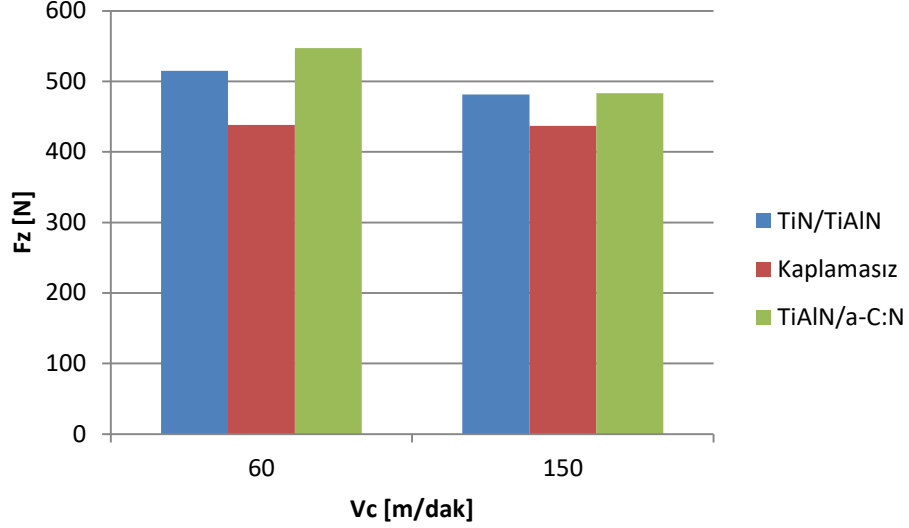




Şekil 34:  $f_z=0.10$  mm/diş için kesme hızının ve kaplamanın  $F_y$  üzerine etkisi.

Grafiklerde oluşan  $F_y$  değerleri incelendiğinde  $f_z=0.1$  mm/diş  $V_c=150$  m/dak parametreleri için  $F_y$  kuvveti a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda en az  $F_y$  kuvveti ise TiN/TiAlN kaplamalı takımda ölçülmüştür. a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda oluşan  $F_y$  kuvveti TiN/TiAlN kaplamalı takımdan %30.7 kaplamasız takımdan ise %41.6 daha fazladır.

Aynı şekilde  $f_z=0.1$  mm/diş  $V_c=60$  m/dak parametreleri için  $F_y$  kuvveti en fazla a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda en az  $F_y$  kuvveti ise TiN/TiAlN kaplamalı takımda ölçülmüştür.  $F_y$  kuvveti TiN/TiAlN kaplamalı takımda en az  $F_y$  kuvveti ise a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda ölçülmüştür. a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda oluşan  $F_y$  kuvveti TiN/TiAlN kaplamalı takımdan %30.7, kaplamasız takımdan ise %44.3 daha fazladır. Yukarıdaki elde edilen yüzdeler incelendiğinde  $f_z$  adım sayısı sabit  $V_c$  kesme hızı değeri arttıkça oluşan  $F_y$  kuvvetleri arasındaki fark artmaktadır (Şekil 34).



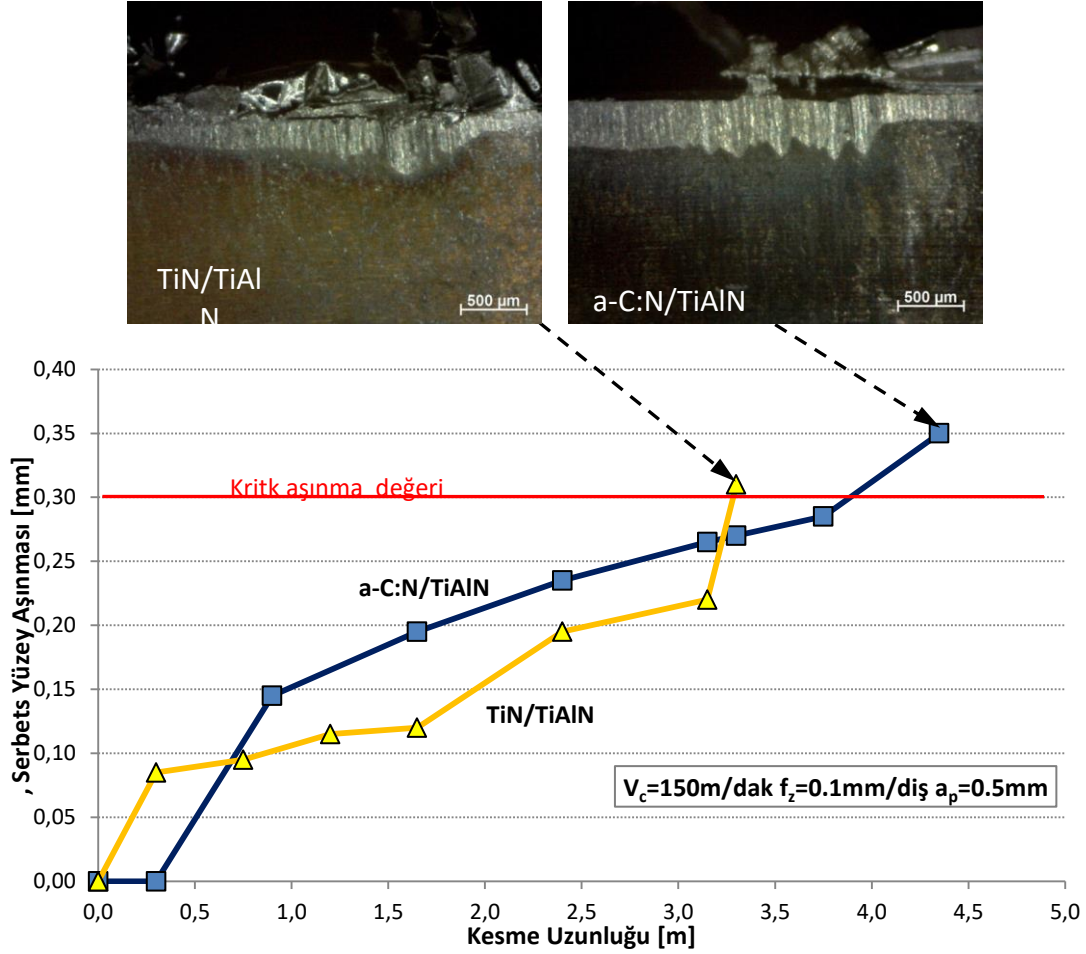
Şekil 35:  $f_z = 0.10$  mm/diş için kesme hızının ve kaplamanın  $F_z$  üzerine etkisi.

Grafiklerde oluşan  $F_z$  değerleri incelendiğinde  $f_z=0.1$  mm/diş  $V_c=150$  m/dak parametreleri için  $F_z$  kuvveti a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda en az  $F_z$  kuvveti ise kaplamasız takımda ölçülmüştür. a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda oluşan  $F_z$  kuvveti TiN/TiAlN kaplamalı takımdan %0.30 Kaplamasız takımdan ise %10.6 daha fazladır.

Aynı şekilde  $f_z=0.1$  mm/diş  $V_c=60$  m/dak parametreleri için  $F_z$  kuvveti en fazla a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda en az  $F_z$  kuvveti ise kaplamasız takımda ölçülmüştür.. a-C:N/TiAlN kaplamalı takımda oluşan  $F_z$  kuvveti TiN/TiAlN kaplamalı takımdan %6.3 Kaplamasız takımdan ise %24.9 daha fazladır. Yukarıdaki elde edilen yüzdeler incelendiğinde  $f_z$  sabit  $V_c$  kesme hızı değeri arttıkça oluşan  $F_z$  kuvvetleri arasındaki fark artmaktadır (Şekil 35).

### 5.3 Takımlarda Oluşan Aşınma Değerlerinin Karşılaştırılması

a-C:N/TiAlN kaplamalı karbür kesici takımlar ile Ti6Al4V alaşımı üzerinde yapılan yüzey frezeleme testleri sonucunda elde edilen takım ömürleri Şekil 34'de gösterilmektedir. a-C:N/TiAlN kaplamanın, karbür kesici takımların kesme performansını artırdığı görülmüştür (Şekil 36).



Şekil 36: Ti6Al4V alaşımının işleme sırasındaki takım ömürleri aşınma miktarları. (Jawaid A, vd., 2005)

Haruyo Fukui, Junya Okida ve diğerlerinin yaptığı çalışmalarda AlMg2,5 alaşımı DLC kaplamalı ve DLC kaplamasız takımlarda soğutucu akışkan kullanılarak ve kullanılmayarak işlenmiştir. Yapılan çalışmada  $V=300$  m/dak  $f_z=0.15$  mm/dev kesme parametreleri kullanılmıştır. Aynı kesme uzunluğunda takımların aşınma miktarları ölçülmüş kaplamasız takımın DLC kaplı takıma göre aşınmanın %50 daha fazla olduğu görülmüştür (Fukuia vd., 2004)

Mingjiang Dai ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Al-22wt.Si silisyum alaşımını DLC kaplı takım ile  $V_c=180$  m/dak kesme hızı talaş derinliği  $a_p=0.2$  mm ve ilerleme oranı  $f_z=0.1$  mm/diş olacak şekilde DLC kaplı karbür takım ve kaplamasız karbür takım ile soğutma sıvısı kullanmadan işlemişlerdir. Yapılan bu çalışmada DLC kaplı takımın kaplamasız takıma göre serbest yüzey aşınmasının kesme uzunluğuna göre daha az olduğu gözlemlenmiştir (Dai vd., 2000).

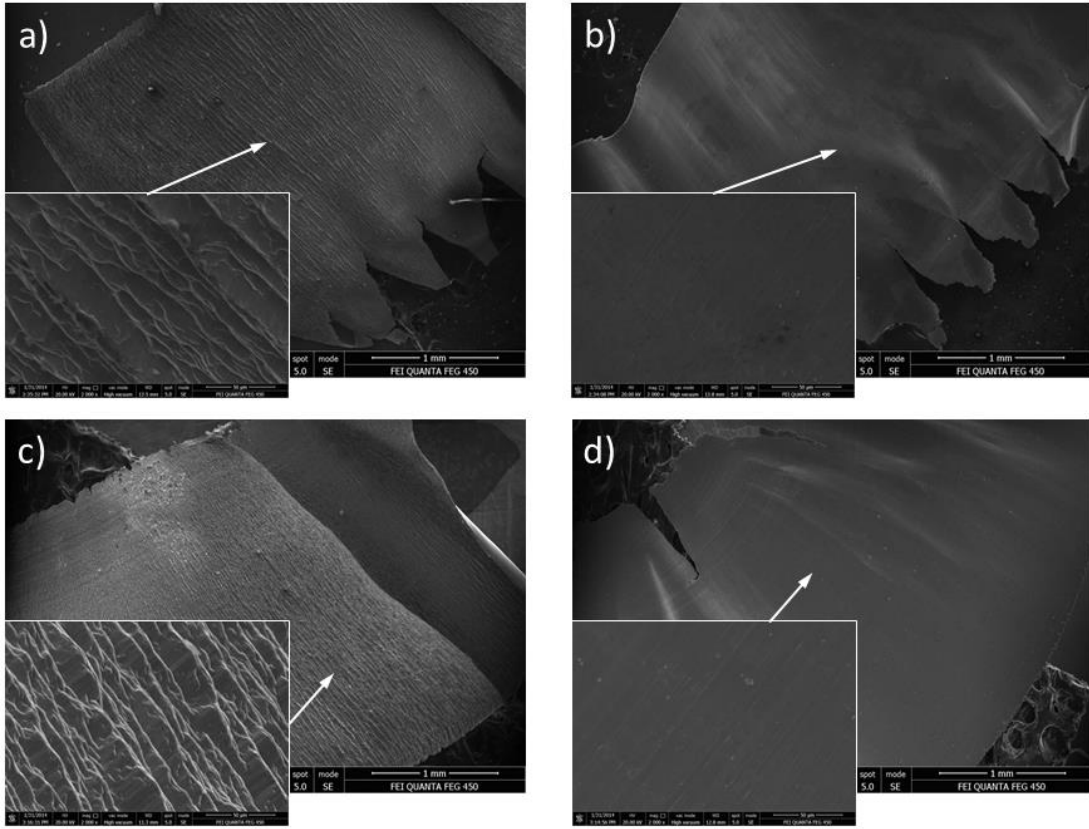
#### 5.4 Oluşan Talaşların Karşılaştırılması

150 m/dak kesme hızı 0.1 mm/diş ilerleme oranı ve 0.5 mm aksenal kesme derinliğinde gerçekleştirilen kesme testleri sırasında elde edilen talaşların optik mikroskop ile elde edilen görüntüleri Şekil 38’te gösterilmektedir. Buna göre, birinci pasoda a-C:N/TiAlN kaplamalı takımlar ile elde edilen talaşlar düzgün bir şekilde kırılmış olmakla birlikte, son pasoda talaşlar, artan kesme sıcaklığı dolayısıyla yapışık olarak elde edilmiştir. Ticari TiN/TiAlN kaplamalı takımlarda ise, birinci pasoda dahi talaşlar düzensiz olarak farklı boyutlarda oluşmuştur. Talaş resimleri, a-C:N kaplamanın, talaş oluşumu üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 37).



Şekil 37: Birinci ve son pasodan sonra a-C:N/TiAlN (a-b) ve ticari TiN/TiAlN kaplamalı takımlar (c-d) ile edilen talaş şekilleri.

İlk paso ve son pasodan sonraki oluşan talaşların SEM mikroskopundaki ön ve arka görünüşleri görülmektedir (Şekil 38).



Şekil 38: a-C:N kaplı takımda yapılan işlem sonucunda oluşan talaşların SEM mikroskopundaki görüntüsü ilk pasodan sonra (a) ön taraf ve (b)arka taraf Son pasodan sonra (c) ön taraf (d) arka taraf.

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

1-a-C:N/TiAlN kaplamalı takımın Ti6Al4V alaşımı üzerinde yapılan frezeleme testlerinde en düşük yüzey pürüzlülüğü düşük hızda ve düşük ilerleme değerinde elde edilebilmektedir.

2-Yüksek hızlarda çalışıldığında  $f_z$  değeri azaltılarak düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilebilmektedir.

3-Konu maliyet açısından değerlendirilecek olursa daha iyi yüzey kalitesi istenen işlemlerde imalat süresi uzun olacağından parça başına düşen maliyet artacaktır. Bu yüzden istenilen kalitede yüzeyleri daha çabuk sürede elde etmek için  $f_z$  değeri azaltılarak  $V_c$  kesme hızı artırılabilir.

4-Yapılan ölçümler sonucunda  $f_z$  değeri sabit olmak üzere  $V_c$  kesme hızı azaldığında a-C:N/TiAlN kaplamalı takımlarda yüzey kalitesi iyileşmekte ancak TiN/TiAlN ve kaplamasız takımlarda yüzey kalitesinde fazla bir değişimin olmamaktadır.

5- $MaxF_x$ ,  $MaxF_y$  ve  $MaxF_z$  kuvvetlerinin  $f_z=0.5$  mm/diş değerinde en düşük olduğu gözlemlenmiştir.  $f_z=0.2$  mm/diş değerinde ise  $MaxF_x$ ,  $MaxF_y$  ve  $MaxF_z$  kuvvetlerinin en yüksek değerine çıktığı gözlemlenmiştir.  $V_c$  sabit olmak üzere  $f_z$  artırılırsa bu kuvvetlerin artmaktadır.

6-a-C:N/TiAlN kaplama, karbür kesici takımların kesme performansını iyileştirmektedir.

7-a-C:N kaplamanın talaş oluşumu üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir ve talaş oluşumunu kolaylaştırmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Aihua, L., Jianxin, D., Haibing, C., Yangyang, C., ve Jun, Z. (2012). Friction and wear properties of TiN, TiAlN, AlTiN and CrAlN PVD nitride coatings. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2012;31:82-8.
- Akagündüz, E. (2008). Isıl işlem görmüş Ti6Al4V alaşımının yüzey özelliklerinin mikroyapı ve yüzey çizilme dayanımları açısından incelenmesi Yüksek Lisans Tezi. Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli , 104 s.
- Akdoğan, E.A. (2015a). Demirdışı Metal ve Alaşımlarının Korozyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimi Ders Notları 9 s.
- Akdoğan, E.A. (2015b). Seramik Malzemeler. Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimi Ders Notları 20 s.
- Astakhov, V.P. (2006). Tribology of metal cutting. 1st ed. Oxford: Elsevier; 2006.
- Bağcı, E. (2009). İşlenebilirlik . Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü Ders Notları
- Banerji , A. Bhowmick, S. ve Alpas, A.T. (2014). High temperature tribological behavior of W containing diamond-like carbon (DLC) coating against titanium alloys. *Surface & Coatings Technology* 241: 93–104
- Broitman, E., Czigány, Z., Greczynski, G., Böhlmark, J., Cremer, R. ve Hultman, L. (2010). Industrial-scale deposition of highly adherent CNx films on steel substrates. *Surface and Coatings Technology*.;204:3349-57.
- Cansever, N. (2015). Manyetik Alan Sıçratma Yönteminde Son Gelişmeler. Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalürji Fakültesi 4 s.
- Charitidis, C.A. (2010). Nanomechanical and nanotribological properties of carbon-based thin films: A review. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2010;28:51-70.
- Che-Haron, C.H. ve Jawaid, A. (2005). The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti-6% Al-4% V. *Journal of Materials Processing Technology*.;166:188-92.
- Chen, L., Du, Y., Xiong, X., Chang, K.K. ve Wu, M.J. (2011). Improved properties of Ti-Al-N coating by multilayer structure. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*.;29:681-5.
- Crombez, R., McMinis, J., Veerasamy, V.S. ve Shen, W. (2011). Experimental study of mechanical properties and scratch resistance of ultra-thin diamond-like-carbon (DLC) coatings deposited on glass *Tribology International* 44 : 55–62
- Çalışkan, H. (2012). Nanotabakalı AlTiN/TiN kaplanmış karbür kesici takımların sert

malzemelerin frezelenmesinde aşınma davranışlarının ve kesme performanslarının araştırılması. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilimdalı , Isparta , 10 s.

- Dai, M., Zhou, K., Yuan, Z., Ding, Q. ve Fu, Z. (2000). The cutting performance of diamond and DLC-coated cutting tools. *Diamond and Related Materials.*;9:1753-7.
- Demirel, B.Ş. (2006). İyon demeti destekli manyetik alanda sıçratma yöntemiyle (Ti,Mg)N ince filmlerin üretilmesi , yapısal ve biyoaktivite özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji Malzeme Mühendisliği Anabilimdalı İstanbul , 15 s.
- Ensarioğlu, C. ve Çakır, C.M. (2005). Titanyum Alaşımlarının İşlenebilirlik Etüdü Bölüm I . Mühendis ve Makina - Cilt: 46 Sayı: 546 : 36-46
- Ezugwu, E.O. ve Wang, Z.M. (1997). Titanium alloys and their machinability—a review. *Journal of Materials Processing Technology.* 68:262-74.
- Fukuia, H., Okidaa, J., Omori, N., Moriguchi, H. ve Tsuda, K. (2004). Cutting performance of DLC coated tools in dry machining aluminum alloys *Surface & Coatings Technology* 187 : 70 – 76
- Gee, M.G. ve Wicks, M.J. (2000). Ball crater testing for the measurement of the unlubricated sliding wear of wear-resistant coating. *Surface and Coatings Technology* 133-134: 376-382
- Ghiotti, A. ve Bruschi, S. (2011). Tribological behaviour of DLC coatings for sheet metal forming tools. *Wear.*;271:2454-8.
- Gopalsamy, B., Mondal, B., Ghosh, S., Arntz, K. ve Klocke, F. (2009). Investigations on hard machining of Impax Hi Hard tool steel. *International Journal of Material Forming.*;2:145-65.
- Günay, M., Kaçal, A. ve Turgut, Y. (2011). Optimization of machining parameters in milling of Ti6Al4V alloy using taguchi method. *e-Journal of New World Sciences Academy.* 6: 428-440
- Hakovirta, M., (1996). Adhesion of amorphous diamond-like film on sputtered hardmetal (WC-Co) cutting tools. *Diamond and Related Materials.*;5:186-9.
- Holmberg, K. ve Matthews, A. (1994). *Coatings Tribology ,Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering.* The University of Sheffield, UK s.399-402
- İçtem, C. (2007). Saf Titanyum ve Ti6Al4V,Ti6Al7Nb Alaşımlarının Akışkan Yatak Ortamında Termal Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul ,s.39
- Jawaid, A., Sharif, S. ve Koksal, S. (2000). Evaluation of wear mechanisms of coated



carbide tools when face milling titanium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*.99:266-74.

Kalss, W., Reiter, A., Derflinger, V., Gey, C. ve Endrino, J.L. (2006). Modern coatings in high performance cutting applications. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*.;24:399-404.

Kara, Y., (2015). TiAlN ve TiN Kaplamalı Matkaplarla C38 Dövme Çelik Malzemesinin Derin Delik Delme İşleminin İncelenmesi .Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilimdalı Karabük , 56 s.

Kim, S. W. ve Kim, S. G. (2011). Prospects of DLC coating as environment friendly surface treatment process *Journal of Environmental Sciences*, 23: 8–13

Kumar, J.P. ve Thirumurugan, K. (2012). Optimization of machining parameters for milling titanium using taguchi. *International Journal of Advanced Engineering Technology*. 3:108-113

Kurt, M.M., (2006). 304L Paslanmaz çelik üzerine DLC kaplanması mekanik ve tribolojik özelliklerinin araştırılması .Yüksek Lisans Tezi.Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilimdalı.Erzurum, 17 s.

Leyens, C. ve Peters, M. (2006). *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications* .John Wiley & Sons Media s.2-37

Lütjering, G. ve Williams, J. C. (2007). *Titanium: Edition:2* Springer Science & Business Media s.15-18

Mattox, D. M. (1998). *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control*. Westwood, N.J.: Noyes Publications,

Meerkamm, H., Fruth, W., Krumpiegl, T. ve Schaufler, C. (1999). Mechanical and tribological properties of PVD and PACVD wear resistant coatings. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*.;17:201-8.

McLaughlin, J.A., Meenan, B., Maguire, P. ve Jamieson, N. (1996). ;Properties of diamond like carbon thin film coatings on stainless steel medical guidewires. *Diamond and Related Materials*. 5:486-91.

Nourbakhsha, F., Rajurkarb, K. P., Malshec, A. P. ve Caod, J. (2013). Wire electro-discharge machining of titanium alloy *Physics Procedia* 5: 13 – 18

Oliviera, R.M., Mello, C.B., Silva, G., Gonçalves, J.A.N. ve Udea, M. , (2011). Improved

properties of Ti6Al4V by means of nitrojens high temperatura plasma based ion implantation Surface and Coating Technology 205:111-114

Jindal, P.C., Santhanam, A.T., Schleinkofer, U. ve Shuster, A.F. (1999). Performance of PVD TiN, TiCN, and TiAlN coated cemented carbide tools in turning. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials.;17:163-70.

Özdemir, U. ve Ertan, M. (2003). Talaşlı İmalat Sırasında Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları ve Takım Hasarını Azaltma Yöntemleri Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi 2003 Cilt: 1 Sayı: 1 37-50 s.

Paskvale, S., Kahn, M., Ćekada, M., Panjan, P., Waldhauser, W. ve Podgornik, B. (2011) Tribological properties of diamond-like carbon coatings prepared by anode layer source and magnetron sputtering. Surface & Coatings Technology 205 : 99–102

Paldey, S. ve Deevi, S.C. (2003). Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti,Al)N: a review. Materials Science and Engineering: A. 2003;342:58-79.

Randalla, N.X., Favaroa, G. ve Frankel, C.H. (2001). The effect of intrinsic parameters on the critical load as measured with the scratch test method Surface & Coatings Technology 137 : 146-151

Rao, B., Dandekar, C.R. ve Shin, Y.C. (2011). An experimental and numerical study on the face milling of Ti-6Al-4V alloy: Tool performance and surface integrity. Journal of Materials Processing Technology.;211:294-304.

Sönmezoğlu, S. , Koç, M. ve Akın, S. (2012). İnce Film Üretim Teknikleri Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 28:392-395

Suárez, A., Tobará, M. J., Yáñez, A., Pérez, I., Sampedro, J., Amigó, V. ve Candel, J. J. ( 2011). Modeling of phase transformations of Ti6Al4V during laser metal deposition Physics Procedia 12 : 666–673

SÜ (2015). İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürlüğü [https://www.selcuk.edu.tr/ileri\\_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5874/tr](https://www.selcuk.edu.tr/ileri_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5874/tr) (2015)

Stephenson, D. A. ve Agapiou, J. S. (2016). Metal Cutting Theory and Practice, Third Edition . s.172-177

Şirin, E. (2012) AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezede İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 18-26 s.

TAEK (2015). Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) Nasıl Çalışır? Ne İşe Yarar?. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Ankara <http://www.taek.gov.tr/malzeme-teknolojisi/595-taramali-elektron-mikroskobu-sem-nasil-calisir.html>.

Tansel, I.N., Gülmez, S., Demetgöl, M. ve Aykut, S. (2010) Taguchi Method–GONNS integration: Complete procedure covering from experimental design to complex

- optimization. Expert Systems with Applications 38 : 4780–4789
- Toprak, İ. B., Çağlar, M. F., Çolak, O., Kıran, K. ve Bayhan, M. (2012). Ti6Al4V alaşımının Yüksek basınçlı soğutma kullanılarak frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğün taguçhi yöntemi ile optimizasyonu. SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi 4:30-39
- Toptan, N. (2015). PVD Yöntemleri ve Kullanım Alanları Amorf Malzemeler Ders Notu Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders Notları. 4-5 s.
- URL-1(2015).[http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Termal buharlaştırma biriktirme&oldid=14177878](http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Termal_buharlaştırma_biriktirme&oldid=14177878)”
- URL-2 (2015). [http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=KatodikArk\\_Biriktirme&oldid=14717882](http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=KatodikArk_Biriktirme&oldid=14717882)”
- URL-3 (2015). [http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title= Lazer\\_Biriktirme\\_\(PLD\)&oldid=13025439](http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Lazer_Biriktirme_(PLD)&oldid=13025439)”
- URL-4 (2015). [http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Titanyum\\_nitrit&oldid=13025450](http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Titanyum_nitrit&oldid=13025450)
- URL-5 (2015). [http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title= Krom\\_nitrit&oldid=14522731](http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Krom_nitrit&oldid=14522731)”
- URL-6 (2015). [http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title= TiAlN&oldid=13025454](http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=TiAlN&oldid=13025454)  
=TiAlN&oldid=13025454
- URL-7 (2015). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Titanyum>
- URL-8(2015).[http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum =mtp641ASMAerospaceSpecificationMetalsInc.](http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=mtp641ASMAerospaceSpecificationMetalsInc)
- URL-9(2015).<http://www.erametalurji.com.tr/tr/kategoriler/titanyum-alasimlar.html>  
EraMetalürjiSan.Tic.Ltd.Şti.
- URL-10 (2015). <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID= TitaniumProperties&LN=TR>
- URL-11 (2015). [http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title =Dinamometre&oldid=14884673](http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Dinamometre&oldid=14884673)
- URL-12 (2015). <http://www.derscalisiyorum.com.tr/fizik-konu-anlatimi/kuvvet.html>
- URL-13 (2015). Karbon<http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Karbon&oldid=14546020>
- Ünal, E. ve Karaca F. (2007). Ti6Al4V alaşımının dik işlem merkezli CNC tezgahında işlenebilirliğinin araştırılması. Doğu Anadolu Araştırmaları . s. 135-139
- Vengudusamy, B., Riaz, A.M., Gordon, D. L., Jonathan, H. ve Green, H. A. (2011). Spikes Friction properties of DLC/DLC contacts in base oil Tribology International 44 : 922–932
- Venugopalan, R. (2006). Medical Device Materials III. ASM International s. 15

- Vydehi, A. J. (2006). Titanium Alloys: An Atlas of Structures and Fracture Features s.59-96
- Welsch, G., Boyer, R. ve Collings, E. W. (1993). Materials Properties Handbook: Titanium Alloys. ASM International s. 262-263,452-453,766-767
- Yürekli, Y. (2012). Frezeleme işleminde eş yönlü ve ters yönlü talaş kaldırmanın CVD/PVD kaplanmış sert metal uçların ömrüne etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 27-32 s.

## EKLER

### EK-A Regnesyon yöntemiyle Vc ve fz ye bağlı olarak Ra fonksiyonunun bulunması

	fz	Vc	Ra	A	B	C	D	E	F
				1	X <sup>2</sup>	X	Y <sup>2</sup>	Y	XY
1	0,05	60,00	0,25	1,00	0,00	0,05	3600,00	60,00	3
2	0,10	60,00	0,43	2,00	0,01	0,10	3600,00	60,00	6
3	0,15	60,00	0,44	3,00	0,02	0,15	3600,00	60,00	9
4	0,20	60,00	0,46	4,00	0,04	0,20	3600,00	60,00	12
5	0,05	90,00	0,25	5,00	0,00	0,05	8100,00	90,00	5
6	0,10	90,00	0,50	6,00	0,01	0,10	8100,00	90,00	9
7	0,15	90,00	0,44	7,00	0,02	0,15	8100,00	90,00	14
8	0,20	90,00	0,33	8,00	0,04	0,20	8100,00	90,00	18
9	0,05	120,00	0,30	9,00	0,00	0,05	14400,00	120,00	6
10	0,10	120,00	0,51	10,00	0,01	0,10	14400,00	120,00	12
11	0,15	120,00	0,47	11,00	0,02	0,15	14400,00	120,00	18
12	0,20	120,00	0,39	12,00	0,04	0,20	14400,00	120,00	24
13	0,05	150,00	0,35	13,00	0,00	0,05	22500,00	150,00	8
14	0,10	150,00	0,55	14,00	0,01	0,10	22500,00	150,00	15
15	0,15	150,00	0,53	15,00	0,02	0,15	22500,00	150,00	23
16	0,20	150,00	0,42	16,00	0,04	0,20	22500,00	150,00	30

A	Ra	Ra'	R <sup>2</sup>	A0	4,34062E-03
A0	0,25	0,25	<b>0,821826806</b>	A1	-2,80050E+01
A1	0,43	0,44		A2	8,42940E+00
A2	0,44	0,48		A3	1,70139E-05
A3	0,46	0,39		A4	-2,34833E-03
A4	0,25	0,24		A5	-8,50533E-03
A5	0,50	0,42		G	
	0,44	0,45		H	
	0,33	0,34		K	
	0,30	0,27		L	
	0,51	0,43		M	
	0,47	0,45			
	0,39	0,33			
	0,35	0,32			
	0,55	0,47			
	0,53	0,48			
	0,42	0,35			

**formül**

$$Ra(fz, Vc) = A0 + A1fz^2 + A2fz + A3Vc^2 + A4Vc + A5fzVc$$

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :Meriç KÜÇÜKKÖSE  
Doğum Yeri ve Tarihi :ZONGULDAK / 17 Haziran 1985

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi :Lisans  
Bildiği Yabancı Diller :İngilizce  
Bilimsel Faaliyet/Yayımlar :The Effect of aCN/TiAlN coating on tool wear cutting force , surface finish and chip morphology face milling of Ti6Al4V superalloy. Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials50(2015) 304–312

### İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar :EÜAŞ Afşin-Elbistan A Termik Santrali, Bartın Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı

### İletişim

E-Posta Adresi :merickucukkose@hotmail.com  
Tarih :14/07/2017 (Tez sınav tarihi)