

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANO ÖLÇEKTE VE YÜKSEK HASSASİYETTE
SİLİNDİRİK SAPLI KESİCİ TAKIMLARIN
YÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ VE ANALİZİ**

Makine Mühendisi Erdil Etken İRES

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Muhammet Numan DURAKBAŞA

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. NANOTEKNOLOJİ	2
2.1. Genel Tanımlamalar	2
2.2. Doğadan Nanoteknoloji	5
2.2.1. Lotus Etkisi	5
2.2.2. Gecko Etkisi.....	7
2.2.3. Çöl Balığı Etkisi.....	9
2.2.4. Gece Kelebeği Etkisi	10
2.3. Değişik Alanlarda Nanoteknoloji Uygulamaları	10
3. İNCE FİLM KAPLAMALAR ve ÜRETİMLERİ.....	16
3.1. Genel Bilgiler.....	16
3.2. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD).....	19
3.2.1. Buharlaştırma Yöntemi.....	21
3.2.2. Püskürtme Yöntemi	25
3.3. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD).....	27
4. İNCE FİLM KAPLAMALARIN ÖLÇÜMÜ	33
4.1. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM).....	33
4.1.1. Yöntemin Prensipleri ve Genel Bilgiler.....	33
4.1.2. AFM İşlem Modları	37
4.1.2.1. Temas Modu	37
4.1.2.2. Aralıklı Temas Modu	38
4.1.2.3. Temazsız Mod.....	39
4.1.3. AFM İşlem Modlarının Üstünlük ve Sınırlamaları.....	40
4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu.....	42
4.2.1. Yöntemin Prensipleri ve Genel Bilgiler.....	42

4.2.2.	Elektron- Numune Etkileşimleri.....	44
4.2.3.	Görüntü Alma Modları	47
4.3.	Beyaz Işık İnterferometresi.....	49
4.4.	Profilometre	52
5.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	55
5.1.	Giriş	55
5.2.	Kesici Takımların Yüzey Pürüzlülüklerinin Araştırılması	55
5.3.	Ölçüm Yer ve Ortamı	59
5.4.	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri ve Ölçüm Cihazı	61
5.4.1.	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri	61
5.4.2.	Ölçüm Cihazı	64
5.5.	Deneylerde Kullanılacak Kesici Takımların Kaplama ve Malzeme Bilgileri	69
5.5.1.	Kaplamaların İçerikleri, Özellikleri ve Kaplama İşlemleri	69
5.5.1.1.	Kaplama İşlemleri.....	69
5.5.1.2.	Kaplamaların İçerikleri, Özellikleri.....	72
5.5.2.	Deneyde Kullanılan Kesici Takımların Malzeme Özellikleri	75
6.	ÖLÇÜM SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME	77
6.1.	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Sonuçları	77
6.1.1.	Kesici Takım 1L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları.....	77
6.1.2.	Kesici Takım 1SZ Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları	80
6.1.3.	Kesici Takım 2L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları.....	82
6.1.4.	Kesici Takım 2SZ Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları	85
6.1.5.	Kesici Takım 3L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları.....	86
6.1.6.	Kesici Takım 3SZ Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları	89
6.1.7.	Kesici Takım 4L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları.....	90
6.1.8.	Kesici Takım 4SZ Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları	93
6.1.9.	Kesici Takım 5L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları.....	95
6.1.10.	Kesici Takım 6L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları.....	98
6.1.11.	Kesici Takım 7L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları.....	100
6.2.	Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	102
6.2.1.	Kesici Takım “1L” ve “1SZ”	102
6.2.2.	Kesici Takım “2L” ve “2SZ”	102
6.2.3.	Kesici Takım “3L” ve “3SZ”	103
6.2.4.	Kesici Takım “4L” ve “4SZ”	104
6.2.5.	Kesici Takım “5L”	104
6.2.6.	Kesici Takım “6L”	104
6.2.7.	Kesici Takım “7L”	105
6.2.8.	Genel Değerlendirme	105
	KAYNAKLAR	108
	ÖZGEÇMİŞ.....	114

SİMGE LİSTESİ

F	Kuvvet
k	Yay sabiti
Δx	Yaydaki bozulma
L	Kaplanmış kesici takım
SZ	Kaplanmamış kesici takım
L	Uzunluk

KISALTMA LİSTESİ

MOCVD: Metal organic chemical vapor deposition

AE: Auger electrons

AFM: Atomic force microscopy/microscope

APCVD: Atmospheric pressure chemical vapor deposition

BEI: Backscatter electron imaging

BSE: Backscatter electrons

CAE: Cathodic arc evaporation

CCD: Charge coupled device

CVD: Chemical vapor deposition

HA: Hydroxyapatite

HRN: Helical rosette nanotube

IBM: International Business Machines

IBS: Ion beam sputtering

IR: Infrared

LCVD: Laser chemical vapor deposition

LPCVD: Low Pressure chemical vapor deposition

LVDT: Linear variable differential transformer

MIT: Massachusetts Institute of Technology

MOCVD: Metal organic chemical vapor deposition

NCD: Nano crystalline diamond

PACVD: Plasma assisted chemical vapor deposition

PLD: Pulsed laser deposition

PVD: Physical vapor deposition

SEM: Scanning electron microscopy/microscope

SE: Secondary electrons

SI: International system of units

SPM: Scanning probe microscopy/microscope

STM: Scanning tunneling microscopy/microscope

TEM: Transmission electron microscopy/microscope

UV: Ultraviolet

WLI: White light interferometry/ interferometer

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Nano ölçekteki çeşitli aygıt ve yapıların ifadesi	3
Şekil 2.2	Nano ölçeğin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan iki yaklaşım	4
Şekil 2.3	35 adet Ksenon atomu kullanılarak nikel altlık üzerinde oluşturulmuş IBM yazısının görünümü	5
Şekil 2.4a	Lotus yaprağı	6
Şekil 2.4b	Lotus etkisi	6
Şekil 2.5	Lotus yaprağının süper-hidrofobisinin ve memeler tarafından su damlasının temas alanının azaltılmasının görünümü	6
Şekil 2.6	Lazer taramalı mikroskobu ile elde edilmiş lotus yaprağının yüzeyinin bir görünümü	7
Şekil 2.7a	Kendi kendini temizleme özelliği.	7
Şekil 2.7b	Otomotiv camlarında hidrofobik özelliğin kullanımı	7
Şekil 2.8	Sırasıyla Gecko ayağı, ayak kılları, uç kısımda bulunan spatula şeklindeki yapılar, adezyon kuvvetini meydana getiren yapılar	8
Şekil 2.9	Geckolardan esinlenilerek MIT araştırmacıları tarafından geliştirilmiş bandın büyütülmüş ve normal boyuttaki görünümü	8
Şekil 2.10	Çöl balığının kuma girişi	9
Şekil 2.11	Çöl balığı derisi üzerinde gerçekleştirilen dinamik sürtünme katsayısı deneylerinden bir görünüm	9
Şekil 2.12	Sırasıyla 130X, 420X, 1050X, 4120X defa büyütülmüş, nano yapılu gece kelebeği gözünün görünümü	10
Şekil 2.13	İnce, esnek, güneş pili kaplaması; nanosolar	12
Şekil 2.14a	Nanoteknolojinin biyomimetik avantajları - Kemiğin nano yapıli hiyerarşik bileşimi	13
Şekil 2.14b	Nano fazda titanyum ve nano kristalli HA/HRN hidrojel iskele	13
Şekil 2.14c	Nano malzemeleri klasik malzemelere göre üstün kılan mekanizmanın şematik gösterimi	13
Şekil 2.15	Otomotiv endüstrisinde, toplumsal talepler doğrultusunda nanoteknolojinin katkı sağlayabileceği muhtemel alanlar	14
Şekil 3.1	Kaplama oluşturma işlemindeki 3 adım	18
Şekil 3.2	Buharlaştırma yöntemi ile kaplama işlemi	22
Şekil 3.3	Bir tip katodik ark buharlaştırma uygulaması ve arkın hareketinin bir görünümü	23
Şekil 3.4	Elektron ışın buharlaştırma tekniğinin şematik gösterimi	24
Şekil 3.5	Püskürtme yönteminin şematik gösterimi	25
Şekil 3.6	İyon demeti püskürtme yönteminin prensibi	26
Şekil 3.7	CVD ile oluşturulmuş kaplamadaki ısıl çatlaklar ve PVD ile oluşturulmuş kaplamanın çatlaksız görünümü	28
Şekil 3.8	CVD yöntemi ile kesme takımlarının kaplanması işleminin görünümü	29
Şekil 3.9	CVD ve PVD yöntemlerinin beraber gösterimi	30
Şekil 3.10	Elmas biriktirme işlemi için kullanılan bir sıcak-flaman aparatın görünümü	31
Şekil 4.1	Taramalı Tünelleme Mikroskobu (STM) ve Atomik Kuvvet Mikroskobu'nun (AFM) prensiplerinin şematik gösterimi	34
Şekil 4.2	Atomik Kuvvet Mikroskobu	35
Şekil 4.3	AFM' prensibinin şematik gösterimi	36
Şekil 4.4	Bir manivelanın boyutlarının ifadesi	36
Şekil 4.5a	Kare tabanlı piramit AFM ucunun SEM görünümü	37
Şekil 4.5b	Konik AFM ucunun SEM görünümü	37
Şekil 4.6	Aralıklı temas modu	38

Şekil 4.7	Kuvvet ve mesafe diyagramı	39
Şekil 4.8a	Bir kesme takımı üzerine oluşturulmuş bir NCD kaplamanın AFM ile edilmiş yüzey görünümü.....	41
Şekil 4.8b	Sıvı bir çözeltinin içerisinde tutulan ve etrafı gözenekli bir polimer ile çevrelenmiş, bir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> hücresinin AFM ile elde edilmiş görünümü	41
Şekil 4.9	Bir SEM cihazı görünümü	42
Şekil 4.10	Elektron mikroskobunun şematik görünümü.....	44
Şekil 4.11	Elastik ve elastik olmayan saçılımda açılmal değişimler ve enerji değişimlerinin bir görünümü.....	45
Şekil 4.12	Elastik ve elastik olmayan saçılımın görünümleri	45
Şekil 4.13	Gönderilen elektronların numune ile etkileşiminin sonucunun şematik görünümü.....	46
Şekil 4.14	İnce bir numune için, elektronlar tarafından oluşturulan sinyallerin şematik gösterimi	46
Şekil 4.15	E_0 enerjisi ile bombardıman edilmiş ve yüzey tarafından yayılmış elektronların enerji dağılımının şematik gösterimi	48
Şekil 4.16a	Kaplanmamış kesici takım ve kesme kenarının görünümü	49
Şekil 4.16b	Nano kristalli kesici takım ve kesme kenarının görünümü.....	49
Şekil 4.16c	Kaplanmamış kesici takım ve kesme kenarının görünümü	49
Şekil 4.16d	Nano kristalli kesici takım ve kesme kenarının görünümü.....	49
Şekil 4.17	Yüzey topoğrafyası ve ince kaplamaların kalınlık ölçümlerini gerçekleştirebilen bir tarayıcı Beyaz-Işık İnterferometre cihazının görünümü	50
Şekil 4.18	Beyaz ışık girişim saçakları	51
Şekil 4.19	Örnek olarak verilmiş profilin kırmızı ışık ve beyaz ışık kullanılarak elde edilen görünümü.....	51
Şekil 4.20	Bir Dikey Tarama İnterferometresi görünümü	51
Şekil 4.21	Beyaz ışık interferometresi ile elde edilmiş yüzey görünümleri.....	52
Şekil 4.22	İğne uçla gerçekleştirilen ölçümün şematik görünümü	53
Şekil 4.23	Bir profilometrenin çeşitli parça ve bölümleri.....	54
Şekil 5.1	Yüzeylerdeki pürüzlülük ve dalga profilleri	56
Şekil 5.2	Talaş kaldırılmış yüzeyin pürüzlülük karakterine etki eden önemli faktörlerin görünümü	57
Şekil 5.3	Tribolojik temas mekanizmaları	58
Şekil 5.4	Ölçümlerin gerçekleştirildiği Viyana Teknik Üniversitesi Hassas Ölçüm Odası ve Nanoteknoloji Laboratuvarı'ndan görüntüler	59
Şekil 5.5	Yüzey pürüzlülük parametresi R_a	61
Şekil 5.6	R_p , R_v , R_t yüzey parametrelerinin profil üzerindeki ifadesi.....	61
Şekil 5.7	Yüzey pürüzlülük parametresi R_z	62
Şekil 5.8	Aynı R_a değerini veren değişik yüzey profilleri.....	62
Şekil 5.9	Yüzey profilinde çarpıklığın ifadesi	63
Şekil 5.10	Tümsekliliğin yüzey profilleriyle ifadesi	63
Şekil 5.11	Malzeme oranı veya taşıma oranını ifade eden Abbot-Firestone eğrisi.....	64
Şekil 5.12	Yüzey incelemelerinin gerçekleştirildiği Viyana Teknik Üniversitesi Hassas Ölçüm Odası ve Nanoteknoloji Laboratuvarı'nda bulunan Taylor Hobson Form Talysurf Intra cihazı.....	66
Şekil 5.13	Kesici takımların ölçüm sırasında sabitlenmesi için kullanılan deney aparatlarından birinin görünümü.....	66
Şekil 5.14	Kesici takımların yüzeylerinin incelenmesinde kullanılan CCD kameranın	

	bir görünümü.....	68
Şekil 5.15	Yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmış olan kesici takımların görünümleri ve isimleri.....	69
Şekil 5.16	X,Y,Z kaplamalarının gerçekleştirildiği kaplama cihazı	71
Şekil 5.17	X,Y,Z kaplamalarının gerçekleştirildiği PVD işlemi	71
Şekil 5.18	1L kesici takımının kaplanması	72
Şekil 5.19	Nano ölçekte kristallerden oluşturulmuş elmas kaplama ve üst ölçeklerde kristallerden oluşturulmuş elmas kaplamanın (nano-üstü) görünümleri	74
Şekil 5.20	M2 ve M3 (a) sert metal kesici takım malzemelerinin, “ultra ince taneli” (200-500 nm) ve iri taneli (2,5 - 6,0 µm) sert karbür mikro yapıları	76
Şekil 6.1	Kesici takım 1L ve 1SZ’den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi	77
Şekil 6.2	Kesici takım 1L’nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD görüntüleri.....	79
Şekil 6.3	Kesici takım 1L’nin üzerindeki elmas kaplamanın 1000 kez büyütülmüş görünümü	80
Şekil 6.4	Kesici takım 1SZ’nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD görüntüleri.....	81
Şekil 6.5	Kesici takım 2L ve 2SZ’den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi	82
Şekil 6.6	Kesici takım 2L’nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD görüntüleri.....	84
Şekil 6.7	Kesici takım 2L’nin üzerindeki “Z tipi kaplamanın” 1000 kez büyütülmüş görünümü	84
Şekil 6.8	Kesici takım 2SZ’nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD görüntüleri	86
Şekil 6.9	Kesici takım 3L ve 3SZ’den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi	86
Şekil 6.10	Kesici takım 3L’nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD görüntüleri.....	88
Şekil 6.11	Kesici takım 3SZ’nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD görüntüleri.....	90
Şekil 6.12	Kesici takım 4L ve 4SZ’den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi	90
Şekil 6.13	Kesici takım 4L’nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD görüntüleri.....	92
Şekil 6.14	Kesici takım 4L’nin üzerindeki “X tipi kaplamanın” 1000 kez büyütülmüş görünümü	93
Şekil 6.15	Kesici takım 4SZ’nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD görüntüleri	94
Şekil 6.16	Kesici takım 5L’den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi....	95
Şekil 6.17	Kesici takım 5L’nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri	97
Şekil 6.18	Kesici takım 5L’nin üzerindeki “Y tipi kaplamanın” 1000 kez büyütülmüş görünümü	97
Şekil 6.19	Kesici takım 6L’den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi	98
Şekil 6.20	Kesici takım 6L’nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri	99
Şekil 6.21	Kesici takım 7L’den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi..	100

Şekil 6.22	Kesici takım 7L'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri	101
------------	--	-----

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Çeşitli uzunluk ölçüleri	2
Çizelge 3.1	Yüzey tabakaları ve işlevleri.....	17
Çizelge 3.2	PVD ve CVD işlemlerinin karakteristikleri.....	19
Çizelge 3.3	Kesme takımları için CVD ve PVD teknikleri	32
Çizelge 4.1	AFM' nin temel işlem modları	40
Çizelge 5.1	Hassas Ölçüm Odası ve Nanoteknoloji Laboratuvarı'nın çeşitli özellikleri.....	60
Çizelge 5.2	Taylor Hobson Form Talysurf Intra'nın performans özellikleri.....	67
Çizelge 5.3	Deneyde kullanılan kesici takımların isimlendirilmesi ve sahip oldukları kaplamaların ifadesi	70
Çizelge 5.4	Deneyde kullanılan kesici takımların kaplamalarının çeşitli özellikleri.....	73
Çizelge 5.5	Deneyde incelenecek kaplamaların genel uygulamaları.....	74
Çizelge 5.6	Deneylerde kullanılan kesici takımlar ve imal edildikleri malzemeler.....	75
Çizelge 5.7	Deneylerde kullanılan kesici takımların imalinde kullanılan malzemelerin çeşitli özellikleri.....	75
Çizelge 5.8	Sert metallerin tane büyüklüklerine ve %Co miktarına göre sertlik değişimlerinin ve değerlerinin ifadesi.....	75
Çizelge 6.1	Kesici takım 1L'nin yukarıda belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları.....	78
Çizelge 6.2	Kesici takım 1L'nin 2. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	78
Çizelge 6.3	Kesici takım 1L'nin 2. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen malzeme oranı değerleri; %Mr1= 13.5, %Mr2= 83.7	79
Çizelge 6.4	Kesici takım 1SZ'nin şekil 6.1.'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları.....	80
Çizelge 6.5	Kesici takım 1SZ'nin 2. pozisyonundaki, 2. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	81
Çizelge 6.6	Kesici takım 2L'nin şekil 6.5.'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları.....	82
Çizelge 6.7	Kesici takım 2L'nin 1. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	83
Çizelge 6.8	Kesici takım 2L'nin 1. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen malzeme oranı değerleri; %Mr1= 16.5, %Mr2= 86.2	83
Çizelge 6.9	Kesici takım 2SZ'nin şekil 6.5.'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları.....	85
Çizelge 6.10	Kesici takım 2SZ'nin 1. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	85
Çizelge 6.11	Kesici takım 3L'nin şekil 6.9.'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları.....	87
Çizelge 6.12	Kesici takım 3L'nin 1. pozisyonundaki, 4. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	87
Çizelge 6.13	Kesici takım 2L'nin 1. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen malzeme oranı değerleri; %Mr1= 17.3, %Mr2= 87.6	88
Çizelge 6.14	Kesici takım 3SZ'nin şekil 6.9.'da belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları.....	89
Çizelge 6.15	Kesici takım 3SZ'nin 1. pozisyonundaki, 1. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	89
Çizelge 6.16	Kesici takım 4L'nin şekil 6.12'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları.....	91

Çizelge 6.17	Kesici takım 4L'nin 1. pozisyondaki, 1. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	91
Çizelge 6.18	Kesici takım 4L'nin 1. pozisyondaki, 1. ölçümünden elde edilen malzeme oranı değerleri; %Mr1= 13.8, %Mr2= 84.4	92
Çizelge 6.19	Kesici takım 4SZ'nin şekil 6.12'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları	93
Çizelge 6.20	Kesici takım 4SZ'nin 1. pozisyondaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	94
Çizelge 6.21	Kesici takım 5L'nin şekil 6.16'da belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları	95
Çizelge 6.22	Kesici takım 5L'nin 1. pozisyondaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	96
Çizelge 6.23	Kesici takım 5L'nin 1. pozisyondaki, 1. ölçümünden elde edilen malzeme oranı değerleri; %Mr1= 14.1, %Mr2= 84.8	96
Çizelge 6.24	Kesici takım 6L'nin şekil 6.19'da belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları	98
Çizelge 6.25	Kesici takım 6L'nin 2. pozisyondaki, 2. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	99
Çizelge 6.26	Kesici takım 7L'nin şekil 6.21'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları	100
Çizelge 6.27	Kesici takım 7L'nin 1. pozisyondaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü	101

ÖNSÖZ

Hazırlamış olduğum tez çalışmamın; “nano dünyası” üzerine bilimsel araştırmaların hız kazanmış olduğu bu günlerde, imalat ve ölçüm teknolojileri alanında da meydana gelen gelişmelerin gösterilebilmesi adına uygun bir örnek olduğu düşüncesindeyim.

Değişik kaplamalara sahip yüksek hassasiyette silindirik saplı kesici takımların ve aynı geometri ve malzemelere sahip kaplamasız tiplerinin yüzeylerinin analizleri ve incelemelerinin gerçekleştirildiği bu çalışma aynı zamanda, daha sonra gerçekleştirilebilecek; kullanılmış kesici takımların yüzey incelemeleri ve kaplama performansları, kullanıldıktan sonra tekrar kaplanan kesici takımların yüzey özellikleri ve kaplama performansları ve bunların optimize edilmesi gibi konuların ilk adımı olma niteliği taşımaktadır.

Çalışmamı Avusturya’da Viyana Teknik Üniversitesi’nde gerçekleştirmiş olmam; hem konum ile ilgili gelişmiş teknolojileri görme ve kullanma şansına sahip olmama, hem de bilimsel ve sosyal anlamda ufukumun daha çok açılmasına olanak sağlamıştır.

Belirtmiş olduğum olanakların sağlanmasında çok büyük rol oynayan, çalışmam süresince bana her konuda destek olan, bana Viyana Teknik Üniversitesi Hassas Ölçüm Odası ve Nanoteknoloji Laboratuvarı’nın kapılarını açan, engin bilgi ve tecrübesiyle çalışmamı ışık tutan Viyana Teknik Üniversitesi İkame Edilebilir İmalat ve Ölçme Tekniği Departmanı Bölüm Başkanı Sn. Prof. Dr. Numan Durakbaşı’ya, laboratuvarındaki çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan Viyana Teknik Üniversitesi İkame Edilebilir İmalat Yöntemleri ve Ölçme Tekniği Departmanı Öğretim Görevlisi Sn. Yük. Müh. Erol Güçlü’ye, tezimin yazılması ve düzenlenmesi süresince yardımlarını esirgemeyen Sn. Işıl Gizem Nas’a ve beni bugünlere getiren aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Günümüzde nanoteknoloji konusundaki yapılan araştırmaların hız kazanması ve sağladığı olanaklar, Dünya'daki imalat sektörünün belli gereksinimlerine cevap vermektedir. Bu gereksinimler; elde edilen mamullerin kimyasal ve fiziksel zorlanmalara karşı dayanımlarının arttırılması, çevreye daha uyumlu ve daha uzun ömürlü hale getirilmesi ve nihayet kalite özelliklerinin arttırılması gibi konuları da içine alır.

Bu çalışmada ise seçilmiş, değişik tipte kaplamalara ve geometrilere sahip yüksek hassasiyetteki silindirik saplı kesici takımların nano ölçekte yüzey kalitesi araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Değişik tipteki kaplamaların yüzey özelliklerinin karşılaştırılabilmesinin yanı sıra, kaplanmış kesici takımların kaplanmamış örneklerine de çalışmada yer verilmiş, bu şekilde kaplama işleminin mamul yüzeylerinde ortaya koyduğu değişiklikler tespit edilmiştir. Belirtilmiş yüzey incelemeleri; nano ölçekte pürüzlülük ölçümleri ve CCD kamera ile elde edilen büyütülmüş yüzey görünümünü içine almaktadır.

Bunlarla beraber, çalışmanın nano ölçekte gerçekleştirilen deneysel bölümüne destek olması açısından nanoteknoloji, nano ölçekte ince kaplamaların oluşturulması ve ölçümü konusunda teorik bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanoteknoloji, nano ölçekte yüzey pürüzlülük ölçümü, AFM, SEM, WLI, profilometre, ince kaplama, PVD, CVD

ABSTRACT

Rapidly growing of nanoscience and nanotechnology and novel offerings satisfy so many demands of industry all around the World nowadays. Some significant demands include; producing eco-friendly and long life products, improving their chemical, physical properties and finally enhancement of quality.

In this study, surface quality of selected high precision cylindrical shank cutting tools which have different types of coatings and geometries were measured in nano scale. Surface characteristics of different types of coatings were investigated and also, effects of coatings on surfaces of cutting tools were determined via investigation of uncoated versions of the coated tools. These mentioned surface investigations consist of surface roughness measurements in nano scale and picturing magnified surface images by CCD camera.

In addition; nanotechnology, producing and measuring of thin film coatings in nano scale were detailed for the purpose of supporting experimental study which was achieved in nano scale.

Keywords: Nanotechnology, surface roughness measurement in nano scale, AFM, SEM, WLI, profilometer, thin film coatings, PVD, CVD

1. GİRİŞ

Günümüzde imalat sektörü, ekonomik kaygılar veya stratejik konular gibi çeşitli sebeplerden dolayı, mamuller ve üretim sistemlerini sürekli olarak iyileştirme çabası içerisinde.

İmalat sektöründe meydana getirilecek iyileştirmeler, gerek mamullerin elde edileceği malzemelerin özelliklerini, gerekse imalat yöntemlerinin iyileştirilmesi konularını içine almaktadır. Malzeme bilimi üzerinde yoğunlaşan talepler; hafiflik, yüksek mukavemet, kimyasal etkilere karşı dayanıklılık gibi özellikler etrafındayken; üretim yöntemleri üzerinde yoğunlaşan talepler hassas yüzeylerin oluşturulması, daha hassas ve keskin ölçülerde mamuller ortaya koymak, daha kısa sürede işlem görmek gibi konularda kendilerini göstermektedirler.

Arzulanan bu iyileştirmeler, üreticilere piyasa koşulları içerisinde ekonomik avantajlar ve yüksek rekabet gücü vermekte, bu yüzden çalışmalar çoğu zaman maddi açıdan desteklenmektedir. Söz konusu destek ile insanoğlunun süregelen, bilimsel konulardaki merakı ve azmi birleştiğinde ise; eldeki teknolojilerin gelişebilmesi ve/veya yeni teknolojilerin ortaya çıkabilmesi kaçınılmaz olmuştur.

Teknolojinin iyileşme içerisinde olduğu yön; geleneksel yöntemlerden, daha özel yöntemlere doğru bir geçiş ve değişimi göstermektedir. Günümüzde buna verilebilecek en iyi örneklerden biri insanoğlunun doğayı atomik ölçekte görmeye ve bu yetisini imalat alanında da kullanmaya başlamasıdır. Teknik yüzeylerin üretim hassasiyetinin ve elde edilen ürünlerin boyutsal, geometrik doğruluk ölçümlerinin nano ölçekte gerçekleştirilebilmesi bu gelişmelere örnek olarak verilebilir. Söz edilen durum ürünlerin kalite özelliklerinin büyük ölçüde arttırdığından, bu gelişim yaşamın her alanına yansımaktadır.

Belirtildiği gibi nanoteknoloji sayesinde çok yüksek hassasiyetlerde imalat yapılabilmesi ve malzeme özelliklerinin atomik boyutlardaki çalışmalar sonucunda sürekli iyileştirilmesi, konunun belki yeni bir endüstri devriminin başlangıcı olarak düşünülebilmesini dahi sağlamıştır.

2. NANOTEKNOLOJİ

2.1. Genel Tanımlamalar

Nanoteknoloji; “günlük hayatta uygulamaları olan ve nano ölçekte gerçekleştirilen teknolojiler” olarak ifade edilmektedir (Bhushan, 2007a). Bununla birlikte bu alanda kullanılan çeşitli terimlerin anılması ve ifadesi konunun daha iyi açıklanması açısından önem arz etmektedir;

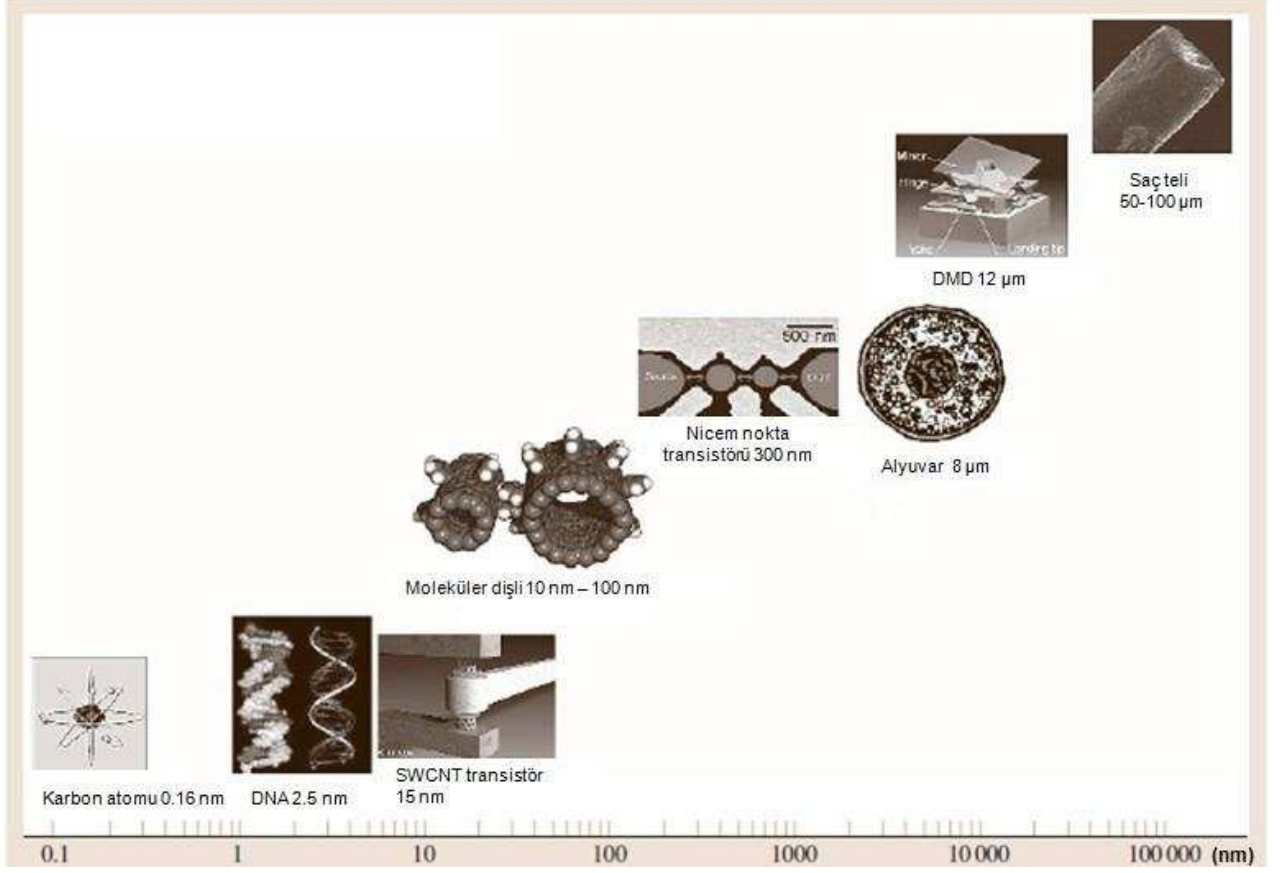
- Nano ölçek; nanometreyle (nm) ya da bir metrenin milyarda biriyle temellendirilir, özel durumlarda 1-100 nm aralığında yer alır. Genel olarak ise, bir mikrometreden küçük fakat 1 nanometreden büyük malzemeler, “nano malzemeler” olarak ifade edilir.

Çizelge 2.1. Çeşitli uzunluk ölçüleri (SI birim sistemi)

Ön ek	Kısaltma	Anlam	Örnek
Mega	M	10^6	1 megametre (Mm) = 1×10^9 m
Kilo	k	10^3	1 kilometre (km) = 1×10^6 m
Desi	d	10^{-1}	1 desimetre (dm) = 1×10^{-1} m
Santi	c	10^{-2}	1 santimetre (cm) = 1×10^{-2} m
Mili	m	10^{-3}	1 milimetre (mm) = 1×10^{-3} m
Mikro	μ	10^{-6}	1 mikrometre (μ m) = 1×10^{-6} m
Nano	n	10^{-9}	1 nanometre (nm) = 1×10^{-9} m
Piko	p	10^{-12}	1 pikometre (pm) = 1×10^{-12} m
Femto	f	10^{-15}	1 femtometre (fm) = 1×10^{-15} m

- Nano bilim; nano ölçekte gerçekleştirilen, işlevsellik, özgün ve fark edilebilir özellikler sergileyen nano ölçekteki malzemeler üzerindeki çalışma ve araştırmalardır.
- Nanoteknoloji, atom ve moleküllerin malzeme, yapılar, bileşenler, aygıtlar, nano ölçekte sistemler oluşturmak üzere manipülasyonu, kontrolü, entegrasyonu, incelemeleri ile temellendirilir ve nano bilimin özellikle endüstriyel ve ticari amaçlar üzerindeki uygulamaları olarak ifade edilir (Taniguchi, 1996).

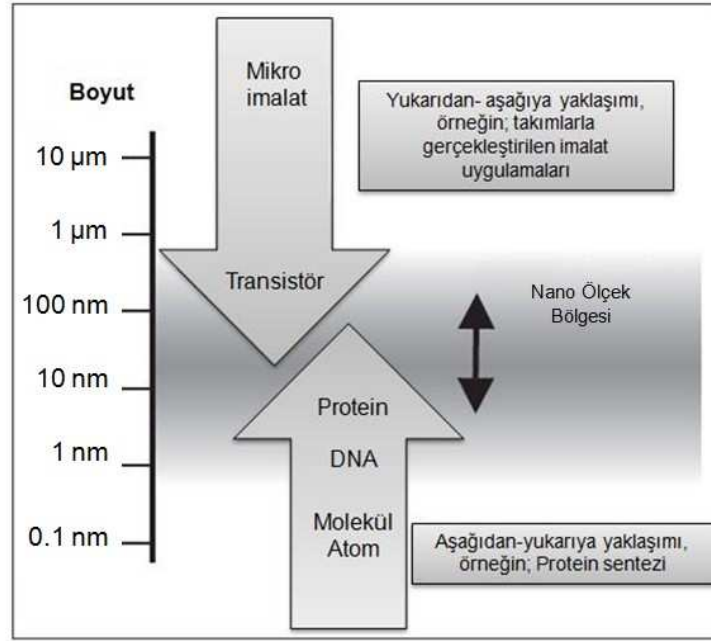
Konu hakkında yukarıda belirtilmiş tanımlamalar dışında birçok tanımlamayla karşılaşılabilir. Ama hepsi için ortak olan nokta; nanoteknolojinin, nano ölçekteki küçük yapılar ve malzemeler ile ilişkilendirilmiş olmasıdır.



Şekil 2.1. Nano ölçekteki çeşitli aygıt ve yapıların ifadesi (Bhushan, 2007a)

Bir nanometre yaklaşık olarak 10 hidrojen veya 5 silisyum atomunun bir çizgide yan yana diziliminin uzunluğuna eşittir. Belirli bir hacimde, küçük boyutlarla başarılacak çeşitli özellikler kullanışlı olabilir fakat nanoteknoloji, mikro ölçekten nano ölçeğe doğru basit bir süreklilik niteliği taşımamaktadır. Bu durumun sebebi, nano ölçekte malzeme özelliklerinin daha büyük ölçeklere göre farklılık göstermesidir. Mikro ölçekte malzemeler, çoğu zaman büyük formları ile aynı fiziksel özellikleri gösterirler de nano ölçekteki malzemeler için aynı durum söz konusu değildir. Atomların veya moleküllerin büyük (bulk) olarak ifade edilebilecek formlarına geçişinin gerçekleştiği bu büyüklük aralığında, malzemeler farklı şekilde farklı spesifik (özel) özellikler sergilerler. Bu duruma örnek olarak; nano ölçekte kristallerin erime noktalarının 1000 °C kadar düşmesi verilebilir (Cao, 2007).

Yukarıda belirtilmiş olduğu gibi bir malzemenin ölçüleri büyük bir ölçekten küçük bir ölçeğe doğru azalma gösterdikçe önce özellikleri aynı kalır fakat daha sonra değişiklikler gözlemlenmeye başlanır. Küçülme 100 nm'nin altına düştüğünde ise malzeme özelliklerinde çarpıcı değişiklikler görülür. Bu sebeplerden dolayı malzemelerin bu ölçekteki boyutları önem arz etmektedir. Örneğin, bir nano yapının üç boyutunun sadece biri nano ölçekte ise bu bir kuantum kuyusu, eğer iki boyutu nano ölçekte ise; kuantum teli, üç boyutunun nano ölçekte ise kuantum noktası olarak adlandırılır. Kuantum kelimesi nano yapıların üç tipiyle de ilişkilidir. Bu durumun sebebi yapıların özelliklerinde ortaya çıkan değişikliklerin fiziğin kuantum mekanik doğasına tabi olmasıdır. Bununla birlikte, malzemelerin nano ölçekte yapılandırılması sonucunda yeni özellikler ve performanslar ortaya çıkarılabilmektedir. Bu durum, bilim ve teknoloji için yeni kapılar açmaktadır (Bhushan, 2007a).

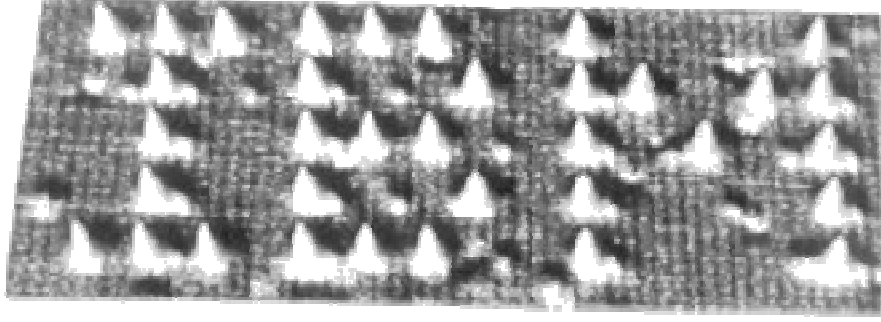


Şekil 2.2. Nano ölçeğin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan iki yaklaşım (Komatsu ve Ogasawara, 2005)

Nanoteknoloji literatürü, yapıların genellikle boyutlarına odaklanır ve iki temel yaklaşımla ayırır; “yukarıdan- aşağıya” ve “aşağıdan- yukarıya” (Şekil 2.2). Yukarıdan- aşağıya yaklaşımı; mikroteknoloji yöntemlerini geliştirerek yapıların boyutlarını nano ölçeğe veya nano ölçeğin altına düşürme amacındadır. Aşağıdan- yukarıya yaklaşımı ise atomların ve moleküllerin, atomik boyutlardan çok moleküllülere kadar nano ölçekte yapılar kurma amacıyla kullanılan kimyasal bir yaklaşımdır. Sonuç olarak, modern nanoteknolojinin uğraşı

yukarıdan- aşağıya ve aşağıdan- yukarıya yaklaşımlarının birleşiminin gerçekleşmesidir (Köhler ve Fritzsche, 2007).

Günümüzde nanoteknoloji nano yapılı malzemelerin imalatı, biyolojik ve tıbbi sistemler, otomotiv uygulamaları, nano elektronik, nano makine üretimi, iletişim teknolojileri, ulusal güvenlik ve bilgi depolama aygıtlarının üretimi gibi geniş bir yelpazede uygulama alanı bulmaktadır. Nano malzemelerin çeşitli uygulamalar için seçiminde ve kullanımında malzemelerin nano ölçekteki mekanik ve kimyasal özellikleri (örneğin; sertlik, iletkenlik gibi) dikkate alınır (Wilson ve Kannangara, 2002).



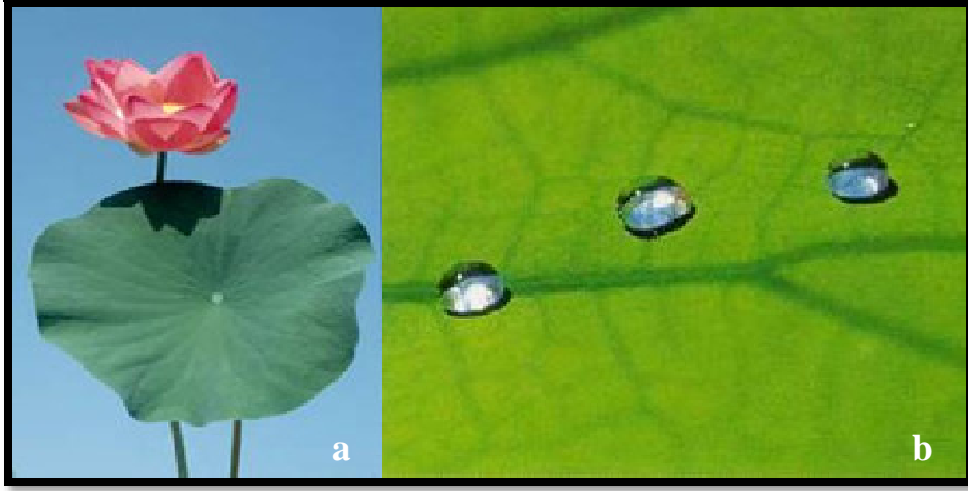
Şekil 2.3. 35 adet Ksenon atomu kullanılarak nikel altlık üzerinde oluşturulmuş IBM yazısının görünümü (Corbett vd., 2000)

2.2. Doğadan Nanoteknoloji

Nanoteknoloji doğada yeni değildir çünkü nano ölçekten mikro ölçeğe birçok nesne ve olay, doğada bulunmakta ve süregelmektedir. Doğadaki söz konusu fonksiyonlar, insanoğluna çeşitli nano aygıtların veya nano malzemelerin benzetilmesinde ve üretilmesinde yol gösterir. Doğadaki oluşumlardan faydalanarak kopyalar ve çıkarımlar yapmak biyomimetik olarak anılmaktadır. Bu şekilde gerçekleştirilen çeşitli nanoteknoloji uygulamaları aşağıda örnekleriyle ifade edilmiştir.

2.2.1. Lotus Etkisi

Doğanın insanoğluna ilham vermesi, “doğadan nanoteknoloji” konusunda ele alınabilecek en iyi örneklerden biri lotus etkisidir.



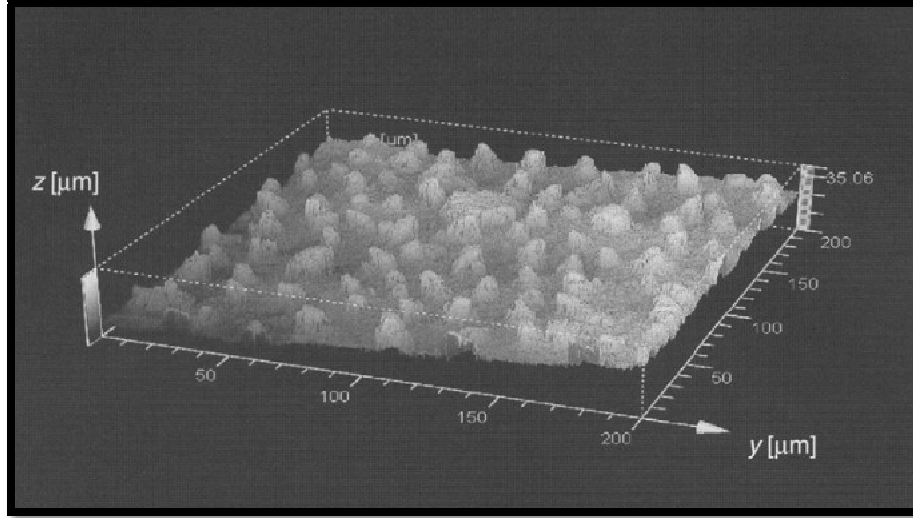
Şekil 2.4. Lotus yaprağı (a) ve lotus etkisi (b) [1]

Botanikte *Nelumbo Nucifera* olarak isimlendirilen Lotus, Hint mitolojisinde kutsal olarak addedilir. Hindistan'ın ulusal çiçeği olan Lotus ülkede, saflığı ve temizliği sembolize eder. Yaprığı ve çiçeği su tutmaz özelliğe sahiptir. Bitkiye düşen yağmur damlası bir boncuğa dönüşür ve yolu üzerindeki toz ve pis parçacıkları toplayarak dışarı yuvarlanır. Böylece bulanık sularda büyümesine rağmen Lotus yaprağının yüzeyi nispeten temiz kalır.



Şekil 2.5. Lotus yaprağının süper-hidrofobisinin ve memeler tarafından su damlasının temas alanının azaltılmasının görünümü (Karthick ve Maheshwari, 2009)

Lotus yaprağının yüzeyi incelendiğinde sözü edilen özelliklerinin, yapraklarının üzerindeki ~10 - ~100 nm boyutlarında mum kristallerle kaplanmış konveks çıkıntılar ya da memelerden (Şekil 2.6) ileri geldiği anlaşılmıştır. Bu memeler, su damlalarının yaprak yüzeyiyle temas alanını (Şekil 2.5) büyük oranda düşürmektedir (Karthick ve Maheshwari, 2009).



Şekil 2.6. Lazer taramalı mikroskobu ile elde edilmiş lotus yaprağının yüzeyinin bir görünümü (Meller vd., 2007)

Günümüzde lotus etkisi; teknik camlarda, otomotivde, optik sensör ve detektörlerde, giyim endüstrisinde ve hidrofobik yüzeylerin arzu edildiği birçok alanda kullanılmaktadır.

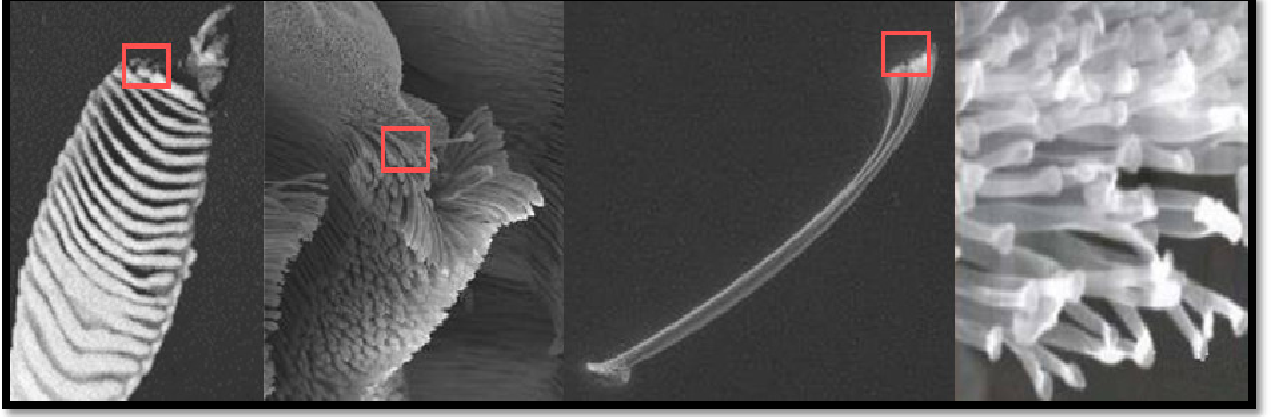


Şekil 2.7. Kendi kendini temizleme özelliği (a) [2] ve otomotiv camlarında hidrofobik özelliğin kullanımı (b) [3]

2.2.2. Gecko Etkisi

Geckolar ayaklarında, santimetre kare başına milyarlarca kıl bulundururlar. Her kıl 30-130 μm uzunluğunda olup her biri 0.2-0.5 μm uzunluğunda, yüzlerce spatula şeklinde yapı bulundurur. Kılların uçlarında bulunan nano ölçekteki her spatula, bir adezyon kuvveti meydana getirir (her kıl 100 nN gibi ufak bir kuvvet üretir ve milyonlarca kılın bir araya gelmesiyle, yaklaşık olarak 100 mm^2 'lik alana sahip olan bir ayak izi 10 N'luk adezyon

kuvveti oluşturur). Bu yüzden geckolar herhangi bir salgıya gerek duymaksızın yere dik yüzeylere ve tavanlara tutunabilmektedirler (Takahashi vd., 2006; Bhushan, 2007b).



Şekil 2.8. Sırasıyla gecko ayağı, ayak kılları, uç kısmında bulunan spatula şeklindeki yapılar, adezyon kuvvetini meydana getiren yapılar [1].



Şekil 2.9. Geckolardan esinlenilerek MIT araştırmacıları tarafından geliştirilmiş oldukça esnek, biyolojik olarak ayrışabilen bandın büyültülmüş ve normal boyuttaki görünümü [4]

Bu günlerde bilim insanları geckolardan ilham alarak; sentetik Gecko ayakları, Gecko etkisine sahip bantlar (Şekil 2.9), duvarlara tırmanabilen robotlar vb. üretmeyi hedeflemektedirler. Bu etkiye sahip, değişik alanlarda kullanılabilecek daha çeşitli mikro fiberlerin üretilmelerini de kapsayan konuyla ilgili araştırmalar, elde edilen ürün yelpazesine gün geçtikçe yenilerini katmaktadır.

2.2.3. Çöl Balığı Etkisi

Çöl balığı (*Scincus scincus*) Kuzey Afrika ve Arap yarımadası ölllerinde bulunan bir kertenkele türüdür. Bu hayvan, çöl kumu içerisinde yüzme benzeri hareketler yaparak yüksek hızda ilerlemesiyle bilinir. Çöl balıkları bu şekilde kendilerini hızlıca kuma gömerek tehlikeli hayvanlardan saklanırlar fakat kum içinde çok ilerleyemezler (Baumgartner vd., 2007).



Şekil 2.10. Çöl balığının kuma girişi (0.5 saniye) [1]

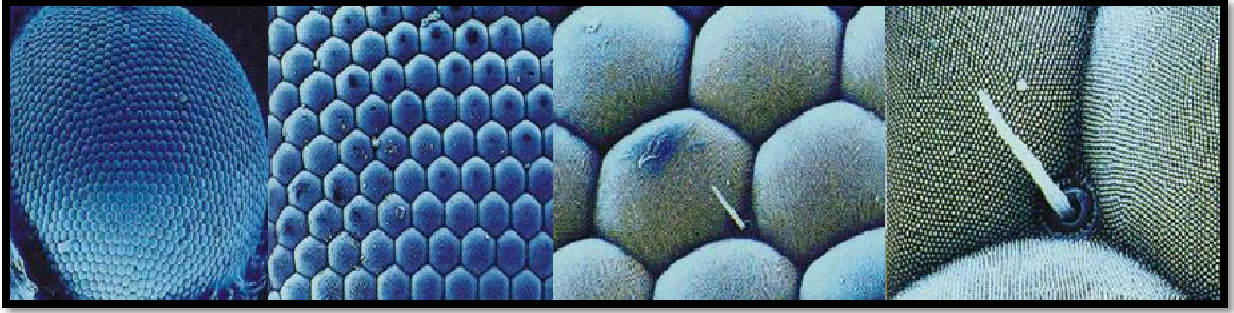


Şekil 2.11. Çöl balığı derisi üzerinde gerçekleştirilen dinamik sürtünme katsayısı deneyleri, (öl kumu akışı, 20°-21°) (Baumgartner vd., 2007; [1])

Çöl balığının derisi çöl kumu için diğer birçok malzemeye göre daha düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Bununla birlikte daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu çelik, cam, naylon, Teflon gibi malzemelere göre ince çöl kumuna karşı daha yüksek abrazyon direnci gösterir (Baumgartner vd., 2007; [1]). Günümüzde gerçekleştirilen araştırmalar benzer abrazyon direnci ve sürtünme katsayısı özelliklerine sahip, ilgili uygulamalarda gerekli tribolojik özellikleri sağlayabilecek malzemeler elde etmek yönündedir.

2.2.4. Gece Kelebeği

Gece kelebekleri, gözlerinde bulunan nano yapılar sayesinde gece görebilme yetisine sahiplerdir. Bu, söz konusu nano yapıların gelen ışının yansımalarını azaltma yoluyla görme organına giren ışık miktarını arttırması ile gerçekleşir. Günümüzde gece kelebeği etkisi birçok optik uygulamada ve organik güneş pillerinde kullanılmaktadır (Forberich vd., 2008; [5]).



Şekil 2.12. Sırasıyla 130X, 420X, 1050X, 4120X defa büyütülmüş, nano yapılı gece kelebeği gözünün görünümü [1]

Doğada yukarıda ifade edilmiş örnekler dışında birçok değişik nano etkinin var olduğu da unutulmamalıdır. İnsanoğlu nanoteknolojinin doğadaki örneklerini araştırarak ve onlardan esinlenerek, endüstriyel uygulamaları günden güne daha çok geliştirmektedir.

2.3. Değişik Alanlarda Nanoteknoloji Uygulamaları

Nanoteknoloji üzerine gerçekleştirilen bilimsel ve teknolojik araştırmalar, malzeme ve imalat, elektronik, sağlık ve ilaç endüstrilerinde ve ulusal güvenlik, biyoteknoloji, bilişim teknolojisi gibi alanlarda büyük buluşlar ve atılımlar vadetmektedir. Günümüzde genel kanı nanoteknolojinin bir sonraki endüstriyel devrim olacağı yönündedir. Nanoteknoloji araştırmalarının günümüzdeki önemine bir örnek olarak Amerika Birleşik Devletleri hükümetinin, 21. Yüzyıl Nanoteknoloji Araştırma ve Geliştirme Hareketi adı altında 2005 yılı itibariyle 4 yıllık süreyi kapsayan 3.7 milyar dolarlık bir yatırım paketini yürürlüğe koyması verilebilir. Bu, ülkenin uzay araştırmaları için ayırdığı kaynaktan sonra bilimsel araştırmalar için ayırdığı en geniş kapsamlı kaynaktır (Glenn, 2006).

Bununla birlikte, yukarıda bahsedilmiş olan büyük buluş ve atılımların çeşitli disiplinlerde gerçekleşecek ilerlemeler ile mümkün olacağı ifade edilmelidir;

- Nanometre ve nanometre altı düzeylerde yüzeyler ortaya koyabilen ultra yüksek hassasiyetteki işlemler, makineler ve kontrol sistemlerindeki gelişmeler,

- Nanometrik ve atomik ölçekte ölçüm, inceleme yapabilen ve 3 boyutlu görünümüler sağlayabilen yeni analitik teknikler,

- Tek molekül veya atomların tanımlanması, hareketi ve bir araya getirilmesini sağlayabilme yetisi,

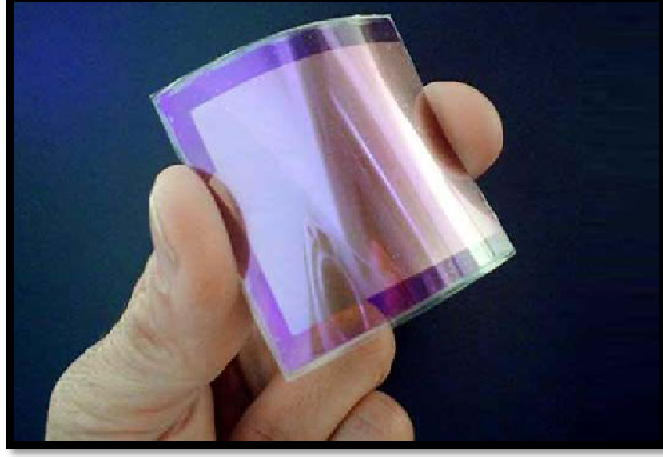
- Yeni malzemeler tasarlamayı mümkün kılacak ve bu malzemelerin mekanik, elektriksel, manyetik, optik ve kimyasal özelliklerini yüksek hassasiyette tahmin edebilecek bilgisayar donanımı ve matematik modelleme tekniklerindeki ilerlemeler,

- Disiplinler arası hızlı ve verimli teknoloji transferini mümkün kılan gelişmeler ve yaygın kullanımı (Corbett vd., 2000).

Bu çalışmada esas olarak ince kaplamalar (ince tabakalar, filmler), nano hassasiyette ölçülmeleri, malzeme ve üretimleri konuları üzerinde durulmasının yanında endüstride gün geçtikçe daha sık karşılaşılan nanoteknolojinin kullanımının görüldüğü diğer uygulamalar da anılacaktır.

Günümüzde nanoelektronik, tek molekül ve nanotüplerin kullanımıyla bilgisayar belleği, moleküler anahtarlar, moleküler veya nanotüp transistörler, nanotüp ince ekranlar, nano lazerlerin meydana getirilmesi ve nanotüplerin yakıt hücrelerinde elektrot olarak kullanılması gibi işlemlerin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır (Bhushan, 2007a).

Nanoteknoloji Dünya’da tüketilen enerjinin büyük kısmını oluşturan ve günden güne azalan fosil yakıtlara karşı üretilen alternatiflerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca fosil yakıtların çevreyi kirletici etkisi de unutulmaması gereken bir gerçektir. Bu yüzden tüm Dünya’da araştırmacılar yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesi üzerinde çalışmaktadırlar ve nanoteknolojinin yardımıyla üretimleri devam eden güneş pilleri çevre problemi açısından iyi bir alternatif niteliği taşımaktadır. Bu konuda nanoteknolojinin üstlendiği söz konusu rol; enerji üretmek üzere yeni yolların geliştirilmesi ve eldeki yöntemlerin verimliliklerinin artırılmasıdır. Günümüzde bu araştırmaların etkileri solar enerji piyasasının hızla büyümesi, yeşil binalarda kullanımlarının yaygınlaşarak artması ve bu tip enerjinin kullanımının daha ekonomik hale gelmesi sonucunu doğurmuştur [6].

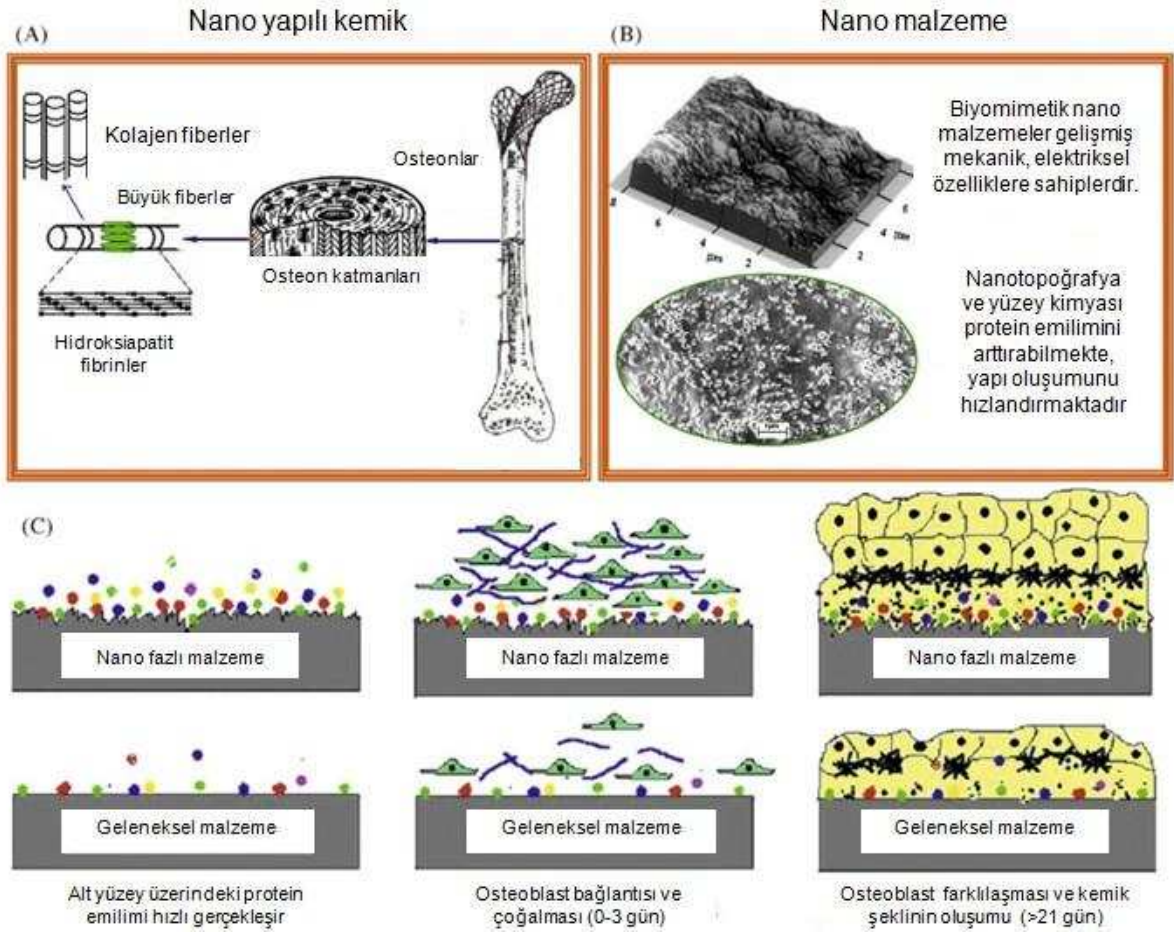


Şekil 2.13. İnce, esnek, güneş pili kaplaması; nanosolar [7]

Nanoteknolojinin ilk belirgin faydalarının sağlık endüstrisinde görüleceği tahmin edilmektedir. Bu tahminin yapılabilmesinin nedeni, araştırmacıların bu ölçekteki biyolojik yapıları idare ve kontrol edebiliyor olmalarıdır. Araştırmacılar nanoteknolojiyi yüksek hassasiyetlerdeki hastalık detektörlerinde, sadece hastalıklı bölgeyi hedef alan ve etrafındaki dokuları etkilemeyen ilaç iletim sistemlerinde, bazı darbe ve hastalık sonucu ortaya çıkmış işitme ve görme kayıplarının tedavisinde, daha çok biyouyumlu malzeme ve yüzeyin elde edilmesinde (Şekil 2.14) ve nano ölçekteki deriye, kemiğe ve/veya kıkırdak dokuya yardımcı blokların oluşturulmasında kullanmak düşüncesindedirler (Corbett vd., 2000; [7]).

Nanoteknoloji özellikle nano malzemeler ve tanelerin kullanımı ile askeri uygulamalar ve çevre araştırmalarında da geniş yer bulmaktadır. Muhtemel uygulamaları için önemli bir örnek, moleküler ve atomik ölçekte algılama yetenekleri sebebiyle nano alıcıların kullanımınıdır. Bunlar organizma içerisindeki hastalıkların başlangıç evresinde algılanmasını sağlarken, savunma uygulamalarında radyoaktif malzemelerin ve şarbon gibi toksinlerin tespit edilmesinde kullanılacaklardır. Çevre dostu nano malzemeler de yüksek verimliliğe sahip çevre dostu pillerin üretimiyle çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla kullanılacaklardır [7]. Yine nano malzemelerin kullanımlarıyla daha güçlü, daha sert, daha pürüzsüz ve/veya hafif üniforma ve teçhizat üretiminde kullanılabilirler (Glenn, 2006).

Nanoteknoloji çoktandır otomobil parçalarının seri üretiminde yerini almış bulunmaktadır. Otomotiv endüstrisindeki çeşitli uygulamalara örnek olarak; güç aktarma organları, daha hafif konstrüksiyonların oluşturulması, aşınmanın azaltılması, kirlilik algılaması ve kirliliğin azaltılması, enerji dönüşümü, iç mekân iklimlendirmesi, denetim ve kontrol sistemleri gibi daha birçok uygulama verilebilmektedir (Şekil 2.15) (Presting ve König, 2003).



Şekil 2.14. Nanoteknolojinin biyomimetik avantajları. (A) Kemiğin nano yapıli hiyerarşik bileşimi, (B) Nano fazda titanyum (üstteki görüntü, atomik kuvvet mikroskobu görünümü) ve nano kristalli HA/HRN hidrojel iskele (altta, taramalı elektron mikroskobu görüntüsü) (C) Nano malzemeleri klasik malzemelere göre üstün kılan mekanizmanın şematik gösterimi. (Zhang ve Webster, 2009)

Nanoteknolojinin çeşitli uygulamaları özetlenirken nano malzemelerin uygulamalarından da çokça bahsedilmiştir. Çünkü söz konusu malzemeler kullanımlarıyla, çok çeşitli alanlara yayılmış makro ölçekteki bileşen ve yapıların özelliklerini önemli miktarda geliştirebilmektedir. Nano malzemelerin geliştirdikleri bu özelliklere örnek olarak; sertlik, süneklik, mıknatıslanma, seçici emilim, elektronik ve optik cihazlardaki yüksek performans verilebilir (Corbett, vd. 2000).

Nano malzemelerin daha önce anılmamış bazı uygulamaları aşağıda ifade edilmektedir.

Yüksek güçteki mıknatıslar: Bir mıknatısın gücü, belli hacminin yüzey alanının artırılması ile artış gösterir. Nano tanelerden (nano kristal itriyum-samaryum-kobalt) oluşan mıknatıslar oldukça fazla olan yüzey alanlarına bağlı olarak olağanüstü manyetik özellikler

göstermektedirler. Yüksek güçteki mıknatısların bazı genel kullanım alanları; gemi motorları, ultra hassas analitik araçlar ve gereçler, otomobil alternatörleridir.



Şekil 2.15. Otomotiv endüstrisinde, toplumsal talepler doğrultusunda nanoteknolojinin katkı sağlayabileceği muhtemel alanlar (Presting ve König, 2003)

Piller: Sol-jel yöntemiyle elde edilen nano kristalli malzemeler, sıradan levhalara göre daha fazla enerji tutabilen aero-jel yapıları sayesinde yeni nesil pillerde ayırıcı tabaka, levha olarak kullanılabilirler.

Fosforlar: Televizyon ekranlarının çözünürlüğü geniş ölçüde piksellerinin boyutlarına bağlıdır ve sol-jel yöntemiyle üretilen nano kristallerin bazı türleri (çinko selenür, çinko sülfid, kadmiyum sülfid, kurşun telerür) ekranların çözünürlüklerini arttırmakta ve bununla beraber nano fosforların kullanımı yüksek çözünürlüklü televizyonların üretim masraflarını da azaltmaktadır (Wilson ve Kannangara, 2002).

İnce kaplama konusu, endüstride çok geniş kullanımı görülen bir başka nanoteknoloji uygulamasıdır. Organik veya inorganik olabilen ince kaplamalar ya da filmler, kullanıldıklarında aşınma dayanımı, istenen yön ve ölçüde kimyasal aktiflik gibi çok çeşitli ve üstün özellikler sağlayabilmektedirler.

İnce kaplamaların kullanıldıkları çeşitli uygulamalar; biyomalzemelerin yüzeyleri, optik yüzeyler, makine elemanları vb. Ama bunlar arasında tornalama, frezeleme, matkaplama gibi talaş kaldırma yöntemlerinin içinde buldukları uygulamalar, konunun temel ilgi alanlarındandır. Bununla birlikte çalışmanın ince kaplamaların yüzey kaliteleri üzerine gerçekleştirilmiş olması sebebiyle üretim ve ölçüm yöntemleri de ayrıca ifade edilecektir.

3. İNCE FİLM KAPLAMALAR VE ÜRETİMLERİ

3.1. Genel Bilgiler

Kaplamaların oluşturulması ya da biriktirilmesi neredeyse bir asırdır yoğun bir çalışma konusu olmuştur. Araştırmalar neticesinde birçok yöntem geliştirilmiş, bu yöntemler endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılmış, daha birçok iyileşme ve gelişme için itici güç olmuşlardır (Cao, 2007)

Günümüzde hızla gelişen teknolojiyle birlikte elde edilen kaplamalar da boyutları açısından daha keskin bir şekilde elde edilebilmektedir. Genellikle mikro/nano üretim yöntemleri ile gerçekleştirilen ince kaplamalar birçok yönleriyle kullanıldıkları altlıklara veya konstrüksiyonlara çok çeşitli avantajlar kazandırmaktadırlar. Bu yöntemler arasında çok yaygın olan buhar biriktirme yöntemlerinin ince film kaplamalar oluşturmak üzere kullanıldıkları değişik uygulamalara aşağıda yer verilmiştir.

- Aşınma ve erozyon dayanımı sağlayan kaplamalar,
- Tek veya çoklu iletken tabakalar,
- Yansıma ve iletim amaçlı oluşturulan optik tabakalar,
- Dekoratif kaplamalar,
- Dekoratif ve aşınma dayanımı sağlayan kaplamalar,
- Gaz ve nem nüfuziyetine karşı bariyerler,
- Korozyon dayanımı sağlayan kaplamalar,
- Mikro elektronik alanındaki yalıtım uygulamaları,
- Yüksek dayanımlı çeliklerin hidrojen kırılma hızına karşı kaplanmaları,
- Kayıt işlemleri için manyetik filmlerin oluşturulması,
- Elektriksel iletken kaplamalar,
- Kuru yağlayıcı tabaka ve filmler, (Lonardo vd., 2002; Ziaie vd., 2007).

Günümüzde nano hassasiyette, örneklenmiş olduğu gibi birçok amaç için farklı kaplama uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Fakat bu çalışma, talaşlı şekillendirme işlemlerinde kullanılan kesici takımların söz konusu hassasiyetteki yüzey pürüzlülüğü incelemelerini konu

aldığı için özellikle bu yönde kullanılan ve ince film kaplamalar konusunda kullanımları yaygın olan buhar biriktirme yöntemlerinden bahsedilecektir.

Çizelge 3.1. Yüzey tabakaları ve işlevleri (Lonardo vd., 2002)

Derinlik tipi	Derinlik	İşlevleri (örnekler)
Üst tek tabaka	~0,1 nm	Yüzey gerilimi, seçici geçirgenlik, kimyasal bağlanma, heterojen kataliz
İnce film tabakalar	~0,1 nm – 100 nm	Sürtünme kontrolü, korozyondan korunma, ısı iletkenlik, yansıtıcılık özellikleri, aşınma dayanımı
Yüzeğe yakın	~0,1 µm – 10 µm	Yarı iletken aygıtlar, yüzey sertleştirme, çeperler, fotografik filmler, aerosoller
Kalın tabakalar	>10 µm	Anti-korozif tabakalar, dış cephe kaplamaları, boyama

Buhar biriktirme yöntemlerinin bu kadar geniş alanlarda kullanılmasının önemli bir sebebi buhar fazından üretilen katı malzemelerin özelliklerinin, sıvı fazdan üretilen aynı malzemelerin özelliklerinden daha avantajlı olmasıdır. Çünkü ergitme teknikleriyle katı malzemeler denge özelliklerine yakın özelliklerle üretilebilirken, buhar fazından biriktirme şartlarında malzemeler denge dışı özellikleriyle elde edilebilmektedirler. Bu şekilde elde edilen kaplamalar, kaplanacak ana malzemenin özellikleri ile doğrudan bağlantılı olmadıkları için geniş bir kullanım sahasına sahiptirler. Bu yüzden buhar fazından elde edilen kaplama teknolojileri hızla gelişerek endüstriyel uygulamalarda önemli bir yere sahip olmuşlardır (Bunshah, 2000; Mattox, 2008).

Özellikle son 25 yıldan beri ince sert kaplama teknolojileri alanında büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Endüstriyel alanda ilk olarak 1960'ların sonunda ve 1970'lerin başlarında kimyasal buhar biriktirme (çökeltme) yöntemi kullanılırken, 1970'lerin ortalarından sonra buharlaşma ve püskürtme kaynaklı fiziksel buhar biriktirme tekniklerinde büyük gelişmeler elde edilmiştir. Bu kaplamalar ile metal yüzeyinde oluşan aşınma azaltılmış, alet kullanım ömrü 2-10 kez arttırılmıştır. Böylece; makine parçaları, talaşlı şekillendirmede kullanılan takımlar gibi özellikle otomasyonda kullanılan elemanlar için büyük bir problem olan aşınma sonucu maliyet kaybı da oldukça düşürülmüştür. Fakat endüstri, her geçen gün daha çok

dayanabilecek teknik donanımlara ihtiyaç duymakta ve bunun sonucu olarak da yöntemlerin gelişimi hızla devam ettirilmektedir.

Buhar biriktirme yöntemleri prensip olarak iki grupta incelenmektedir; fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD). PVD işlemleri; malzeme buharının kaplanacak malzeme üzerine çökeltilmesi prensibine dayanır. CVD işlemleri ise kimyasal reaksiyonların gerçekleştirilmesi yoluyla buhar fazındaki malzemeyi sıcak esas metal üzerine biriktirme şeklinde gerçekleştirilir.

Çizelge 3.2.'de temel CVD ve PVD yöntemlerinin karakteristikleri görülmektedir. Genellikle CVD yöntemi yüksek püskürtme gücü bulundururken, PVD yöntemi düşük sıcaklıklarda bu konuda daha üstündür.

Buhar biriktirme yöntemlerinin gerçekleştirilmesi genel olarak aşağıdaki sırayı izlemektedir;

1.Adım- Gaz fazındaki parçacığın üretimi: Malzemelerin buhar fazına ulaştırılma işlemleri (püskürtme, lazer vb. yardımıyla).

2.Adım- Buhar halindeki parçacıkların kaynaktan altlığa iletimi, atomlar ve moleküller arasında çarpışma ile ya da çarpışma olmaksızın gerçekleştirilebilir. İletim sırasında buhar halindeki taneciklerin bir kısmı plazma oluşturarak iyonize olabilirler.



Şekil 3.1. Kaplama oluşturma işlemindeki 3 adım

3.Adım- Altlık üzerinde tabaka büyümesi: Bu işlem, buhar fazındaki parçacıkların altlığın üzerine ulaştırılması ile başlar. Ulaşan parçacıkların bu bölgede önce çekirdeklenmesi sonra da büyümesi ile devam eder. Çekirdeklenme ve büyüme olayları bombardıman işleminden oldukça fazla etkilenir. Bu etkiler mikroyapı, bileşim, kalıntı gerilme ve saflılık gibi özellikler konusunda söz sahibidir (Bunshah, 2000).

Çizelge 3.2. PVD ve CVD işlemlerinin karakteristikleri (Bunshah, 2000)

	Buharlaşma	Püskürtme	Kimyasal buhar biriktirme
Biriktirilen parçacıkların üretim mekanizması	Termal enerji	Momentum transferi	Kimyasal reaksiyon
Biriktirme hızı	Çok yüksek olabilir	Saf metaller dışında düşük	Orta derecede
Biriktirilen parçacıklar	Atomlar ve iyonlar	Atomlar ve iyonlar	Atomlar
Püskürtülme hızı	Düşük yayılım (gaz savurması haricinde)	İyi	İyi
Metal biriktirme	Evet	Evet	Evet
Alaşım biriktirme	Evet	Evet	Evet
Refrakter bileşik biriktirme	Evet	Evet	Evet
Biriktirilen parçacıkların enerjisi	Düşük	Yüksek olabilir	Plasma destekli CVD olduğunda yüksek olabilir
Esas metalin bombardımanı	Normalde değil	Evet	Mümkün
Esas metal ısıtılması	Normalde evet	Genellikle hayır	Evet

3.2. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)

PVD işlemi; kaplama yapılmak istenen malzemenin, kaynak malzemedan veya hedeften bir altlığın üzerine iletilmesi ve biriktirilmesi prensibine dayanan, çoğunlukla kimyasal tepkime içermeyen bir işlemdir. Biriktirilecek malzemeyi kaplama malzemesinden ayırmak için çok çeşitli yöntemler ortaya konmuş ve geliştirilmiştir.

Biriktirilen malzeme kalınlığı angstrom mertebesinde milimetre mertebesine kadar değişebilmektedir. PVD yönteminde tipik biriktirme hızları saniyede 10–100Å (1–10 nm) civarındadır. Bununla beraber PVD, CVD işlemlerine kıyasla daha düşük sıcaklıklarda ve nispeten korozif ürünlerden yoksun gerçekleşir. Yöntemde kaplama işleminin 150- 550 °C gibi bir sıcaklık aralığında yapılması, altlık malzemesi seçimini geniş bir yelpazeye taşımaktadır. Yüksek hız çeliği ya da sıcak iş çelikleri gibi çeliklerin neredeyse bütün tipleri PVD yönteminde altlık malzemesi olarak kullanılabilir ve nispeten düşük kaplama sıcaklıkları sayesinde ek ısıl işlem gerektirmez. İnce tanelere, yoğunluğa ve yüksek aşınma dayanımına sahip arzu edilen birçok bileşimdeki kaplama, PVD yöntemiyle kolayca oluşturulabilmektedir (Hornyak vd., 2008). Ayrıca yöntemle, bileşiminde birden çok malzeme bulunan kaplamalar ve kademeli tipteki kaplamalar da gerçekleştirilebilir. Genel olarak PVD yöntemlerinin üstünlükleri aşağıda ifade edilmektedir;

- Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmesi,
- Yüksek yüzey kalitesi sağlanması,
- Yüksek kaplama hızı,
- Endüstrinin birçok alanında kullanılabilir olması,
- Yüksek yapışma yeteneği,
- Üst üste tabakaların oluşturulabilmesi olarak ifade edilebilir (Mattox, 2008).

Genellikle PVD yöntemleri, püskürtme (saçılma) ve buharlaştırma adı altında iki gruba ayrılır. Buharlaştırma yöntemlerinde biriktirilecek ya da kaplama olarak çökeltilecek malzeme, kaynak malzemedan ısıl etkilerle ile ayrılır. Püskürtme yöntemlerinde ise biriktirilmek istenen atom veya moleküllerin, katı hedeften enerji yüklü parçacıkların gücüyle koparılması söz konusudur. Her iki grup da kendi içinde kaplama malzemesinin aktifleştirilmesi, biriktirme şartları gibi etkenlere bağlı olarak alt teknikler barındırmaktadır (Cao, 2007)

PVD işlemlerinde kaplama malzemesi bir odacık içerisinde, altlık üzerine yoğunlaştırılmış bir atom veya molekül akışı sağlamak üzere buharlaştırılır veya püskürtülür. İşlemden kompozit bir hedefin veya bileşimde istenen elementleri bulunduran, ayrışarak ya da iyonize olarak biriktirilen malzeme ile tepkimeye girebilecek bir gazın (azot gazı, oksijen gazı, basit hidrokarbonlar vb.) kullanılmasıyla altlık üzerinde kimyasal bileşikler halinde kaplamalar da elde edilebilir (Hornyak vd., 2008). PVD yöntemlerinden; katodik ark (CAE) , elektron ışını

(demeti) gibi buharlaştırma araç ve yöntemlerini ve plazma, iyon demeti (IBS) , darbeli lazer (PLD) püskürtme yöntemleri ayrıca anılacaktır.

3.2.1. Buharlaştırma Yöntemi

Yöntem; istenilen malzemenin, kaynaktan bir buharlaştırma aracı ile buharlaştırılması ve kaynağa uygun uzaklıkta ve konumda yerleştirilmiş olan altlık üzerinde biriktirilmesi ile gerçekleştirilir. Buhar, kaynak olarak yerleştirilen malzemenin değişik metotlarla ısıtılması suretiyle elde edilir. Parça doğrudan ısıtılabilir veya ark, elektron demeti, lazer gibi uygun ısıtma araçları kullanılabilir. Buharlaşma işlemi 10^{-5} - 10^{-10} torr'luk vakum ortamında gerçekleştirilir. Vakum altında kaynak malzeme daha uçucu bir hale gelmiş olur (Mattox, 2008) ve buna bağlı olarak işlem, elementlerin çeşitliliği açısından daha saf bir ortamda gerçekleştirilebilir. Moleküllerin ortamda çarpışmalarının en aza indirilmiş olması, kaplamanın doğrudan altlığa ulaşmasını ve kaplamanın daha yoğun, üniform olmasını sağlar. Bununla beraber, yöntemin iyileştirmesi amacıyla kaplama sırasında buharlaşan malzemeye eşlik etmesi için ortama 5-200 mtorr basınç ile soy gaz gönderilebilir. Bu şekilde kaplama kalitesi artırılır (Bunshah, 2000).

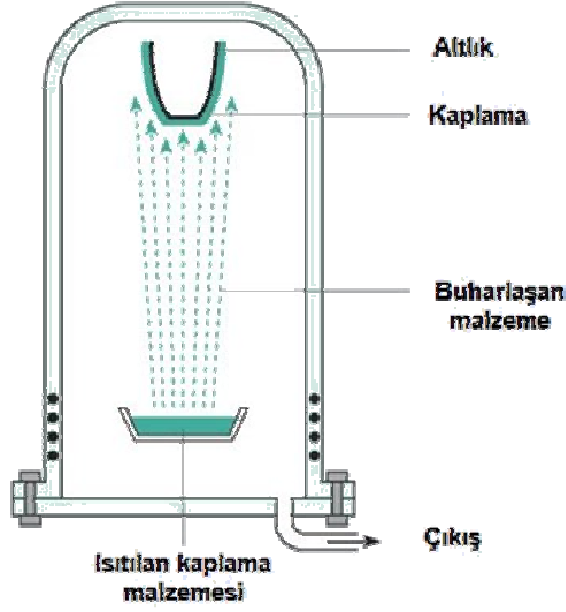
Buharlaştırma yönteminin diğer PVD yöntemlerine göre önemli avantajları ve sınırlamaları aşağıda ifade edilmiştir;

Avantajları:

- Yüksek biriktirme hızları elde edilir.
- Biriktirme işlemi kolayca izlenebilir.
- Buharlaşma kaynak metali birçok formda olabilir (iri parçalar, teller, tozlar halinde)
- Yöntemin maliyeti diğer PVD yöntemlerine göre düşüktür.
- Kaplama saflığı yüksektir.

Sınırlamaları:

- Geniş bir alaşım ve bileşim kaplayabilme yelpazesine sahip değildir.
- İşlem süresince çok yüksek radyasyon ısısı yüklenir.
- Buharlaştırılan malzemenin kullanımı düşüktür (Mattox, 1998).



Şekil 3.2. Buharlaştırma yöntemi ile kaplama işlemi [8]

Yöntemin kullanımının görülebildiği örnekler;

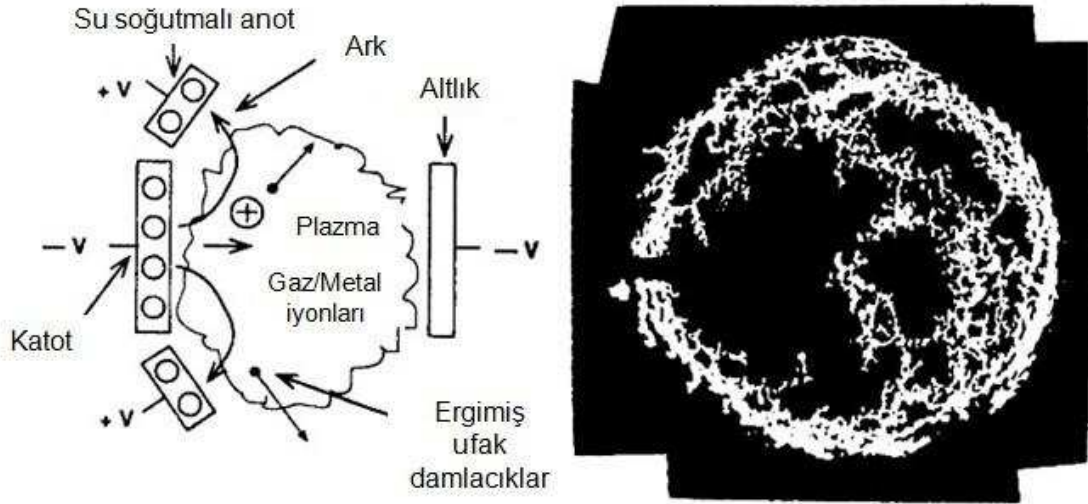
- Optik kaplamalar (yansıtıcı ya da yansıtıcı olmayan çok katlı kaplamalar, ısıt camlar, abrazyon dayanımı sağlayan üst kaplamalar vb.),
- Elektriksel iletken kaplamalar (Ti-Au, Ti-Pd-Au, Al, Al-Cu-Si, Cr-Au, Ti-Ag vb.),
- Dekoratif kaplamalar (plastik malzeme üzerine Al veya altın gibi),
- Nem ve oksijen nüfuzunun engellenmesi amaçlı uygulamalar (polimer çevresine Al veya SiO kaplama gibi),
- Korozyon dayanımı sağlayan kaplamalar,
- Kesici takımların yüksek sertlik, korozyon dayanım gibi çok yönlü özelliklerinin artırılabilmesi için gerçekleştirilen kaplamalar (TiN, ZrN, CrN, AlTiN gibi) Ayrıca bu tip kaplamalar katodik ark buharlaştırma yöntemi gibi yöntemlerin kullanımıyla çok katmanlı ve yüksek hassasiyette elde edilebilmektedirler (Mattox, 1998).

Katodik Ark Buharlaştırma (CAE) Yöntemi; 10 yıldan fazladır CAE yöntemi ısıya ve aşınmaya dayanıklı, kesme takımlarında kullanılan Ti-Al-N ve türevleri, otomotiv uygulamalarında kullanılan CrN gibi çeşitli kaplamaların oluşturulmasında kullanılmaktadır. CAE yönteminde yüzlerce amper büyüklüğündeki doğru akım, metalik katot yüzeyi üzerine hedeflenir ve temas bölgesindeki yüksek güç yoğunluğu sonucunda katottaki malzeme yani kaplama malzemesi buharlaştırılır. Ark elektrodları üzerindeki yüksek güç yoğunluğuna bağlı

olarak CAE yöntemi yüksek biriktirme hızına sahiptir. Kaplama malzemesi için ise yüksek bir iyonlaşma oranı ($\geq 90\%$) ve iyon enerjisi (20-150 eV) söz konusudur. İfade edilen bu özellikler sayesinde yöntem ile yoğun, altlık ile iyi bağlanmış metal ve bileşiklerin çok yönlü uygulamalarda biriktirilmeleri gerçekleştirilebilmektedir. Yüksek akım ve vakum altında ark boşalması işleminin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için hedef olacak malzemenin iyi bir elektriksel iletkenliğe sahip olması, çok yüksek ya da çok düşük ergime sıcaklıklarına sahip olmaması ve zayıf mekanik özelliklere sahip olmaması gerekmektedir (Hornyak vd., 2008). Bunlara ek olarak yöntemde dezavantaj olarak ifade edilebilecek bir durum mikro damlacıkların oluşmasıdır. Kaplamanın üniformluğunu bozarak fonksiyonunu yerine getirmesine engel olan bu damlacıkların oluşumu çeşitli ek işlemlerle azaltılabilmektedir.

Katodik ark buharlaştırma yönteminin çeşitli üstünlükleri;

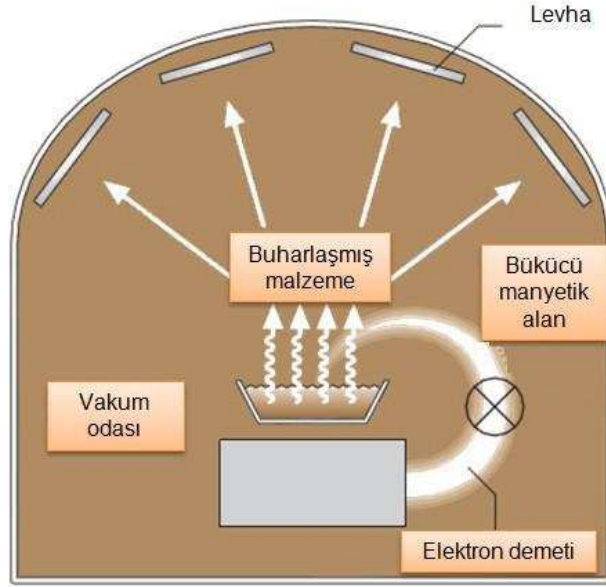
- Yüksek biriktirme hızı sağlanabilmektedir.
- Kaplama malzemesi çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmak zorunda değildir.
- Bileşik kaplamalar rahatça üretilebilir (TiAlN).
- Kaplama kalitesi yüksektir.
- Elde edilen kaplamalar üniformdur (Mattox, 1998).



Şekil 3.3. Bir tip (rastgele) katodik ark buharlaştırma uygulaması ve arkın hareketinin görünümü (Mattox, 1998)

Elektron ışın buharlaştırma tekniği: Daha önce de belirtilmiş olduğu gibi buharlaştırma işlemlerinde buhar, kaynak olarak yerleştirilmiş malzemedен laser, ark ya da elektron ışını gibi birçok ısı kaynağı yoluyla elde edilebilmektedir.

Elektron ışını ile buharlaştırma işleminin iki temel avantajı vardır. Birincisi, buharlaştırma hızını çok yüksekten çok düşüğe kadar birçok hız aralığında ayarlayabilmeyi sağlayan yüksek güç yoğunluğudur ve bunun yanında, elektron ışınları bir bölgeye odaklandırılabilir-odaklandırılmayabilir, hızlandırılabilir ya da yavaşlatılabilir ve darbeli gönderilebilir. Bu özellikler sayesinde hedefe uygulanan gücün değiştirilebilmesi biriktirme işleminin dakikada bir nanometreden, dakikada bir kaç mikrometreye kadar yüksek hassasiyette gerçekleştirilebilmesini sağlar. İkincisi ise, buharlaştırılacak malzemenin su soğutmalı bakır bir haznede bulundurulması pota kirliliği problemini ortadan kaldırır (Bunshah, 2000; Hornyak vd., 2008). Yöntem genellikle metallerin biriktirilmesinde kullanılsa da yalıtkan malzemelerin biriktirilebilmesinde de söz konusudur.



Şekil 3.4. Elektron ışın buharlaştırma tekniğinin şematik gösterimi (Ziaie vd., 2007)

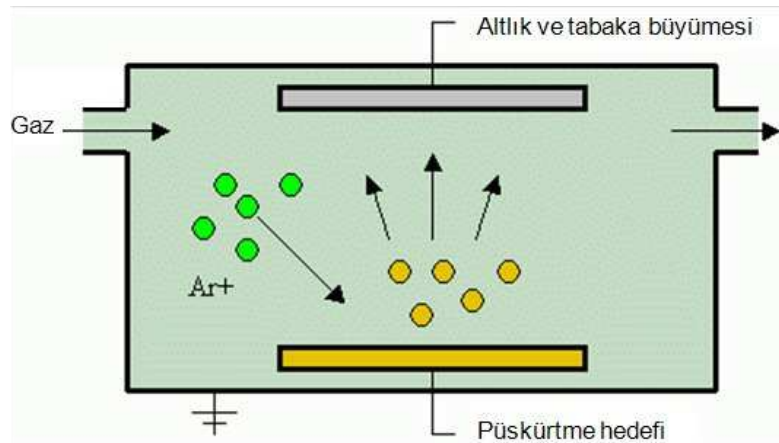
Bu tür buharlaştırma teknikleri için verilebilecek örneklere, *darbeli lazer biriktirme (PLD) yöntemi* de eklenebilir. PLD yönteminde, yüksek vakum altında kısa ve çok güçlü lazer darbeleri ile hedef üzerine yoğun enerji gönderilmesi prensibi söz konusudur. Bu şekilde hedef yüzeyinden buharlaştırılan malzeme, altlık üzerine ince bir film tabaka şeklinde biriktirilir. PLD yöntemi son yirmi yıldır, alışlagelmiş yöntemlerle biriktirilmeleri zor olan

özellikle çok elementli oksitler, seramikler gibi karmaşık stikiyometriye sahip malzemelerin biriktirilmesini kolayca gerçekleştirebildiği için büyük ilgi toplamıştır (Hornyak vd., 2008). Bununla birlikte lazer ile buharlaştırma, kesici takımların kaplanması için kullanılan hidrojenen tamamen arındırılmış elmas benzeri karbon kaplama uygulamalarında geniş alanda kullanılmaktadır (Mattox, 1998).

3.2.2. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi, enerji yüklü bir parçacığın hedef yüzeyine momentum iletimi sağlaması ve bu şekilde sıvı ya da katı olabilecek hedef yüzeyinden atom veya moleküller koparması suretiyle gerçekleştirilir.

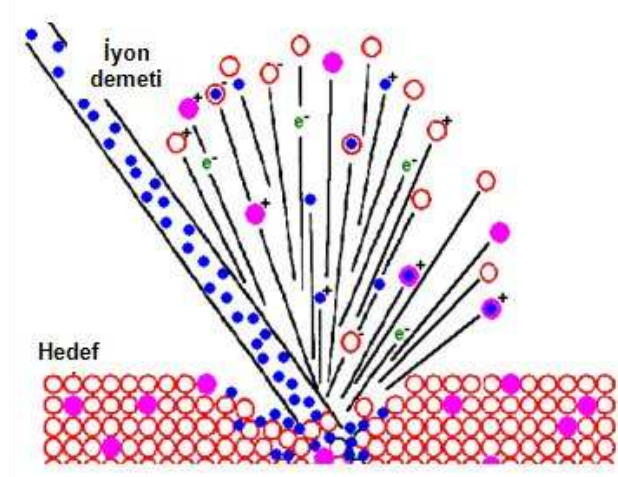
Püskürtme ile biriktirme işlemlerinde hedef yani kaplama malzemesinin kaynağı ve altlık genellikle 10^{-4} - 10^{-7} torr'luk basınca sahip bir vakum odasına yerleştirilir (Bunshah, 2000). Hedef, yüksek enerjiye sahip soy gaz atomları tarafından bombardıman edildikten sonra altlık; hedeften kopan atom veya moleküller ile kaplanmış olur. Günümüze kadar çok çeşitli püskürtme ile biriktirme teknikleri ortaya konmuş olsa da hepsinin prensibi temelde belirtilen çevrede gerçekleşir (Cao, 2007). Çalışmada sözü edilen çeşitli püskürtme ile biriktirme yöntemlerine örnek olması açısından iki bilinen yöntem; İyon Demeti Püskürtme (IBS) Yöntemi ve Plazma Püskürtme Yöntemi örneklenecektir.



Şekil 3.5. Püskürtme yönteminin şematik gösterimi [9]

İyon Demeti Püskürtme Yönteminde (IBS), iyonlar ayrı bir odacıkta oluşturulur ve daha sonra püskürtme odasına yöneltilerek, yüksek vakum ortamındaki hedef ile buluşturulur (Mattox, 1998). Ardından yüksek enerjiye sahip parçacıkların hedefe çarptırılması ile istenen kaplama

malzemesi birikmek üzere serbest kalmış olur. Bu teknikle yüksek adezyona sahip, işlem süresince sağlanan oldukça düşük basınç sayesinde yüksek saflıkta bir kaplama sağlanır.



Şekil 3.6. İyon demeti püskürtme yönteminin prensibi [10]

Plazma Püskürtme Yöntemi; plazma demetleri iyonlar ve elektronlar ayrılmadan gerçekleştirilebilir. Elektronların yönlerinin manyetik ve elektrostatik alan yardımıyla saptırılması ve iyonların onlar ile hareket etmesi plazma demetlerinin önemli bir avantajıdır.

Bu tip yöntemler yüksek vakum ve pompalama hızının varlığı ile gerçekleştirirler. İşlemin hassas bir ortamda gerçekleştirilmesinin yanında kullanılan bombardıman parçacıklarının akışı ve enerjisi kolayca izlenip kontrol edilebilmektedir. Yöntemin kısıtlamaları için ise; elde edilen demetlerin ufak çapları ve diğer yöntemlere nispeten pahalı oluşları ifade edilebilir.

Yöntemin avantajları;

- Her türlü malzeme üzerinde püskürtme yöntemi ile biriktirme işlemi yapılabilir.
- Püskürtme yönteminde hedef sabit ve uzun ömürlü bir kaynak niteliğindedir.
- Katı bir yüzeyden buharlaşma her yöne olabilir.
- Bazı uygulamalarda hedef çok geniş bir biriktirme yapılabilmesine izin verir.
- Buharlaşma yöntemine göre oldukça az bir radyasyon ısısı söz konusudur.
- Hedef, biriktirme işleminin uygulanacağı malzemeye uygun olarak konik veya küresel yapılabilir.
- Püskürtülen malzemenin kullanımı yüksektir.

Sınırlamaları;

- Tasarım işlemleri özenle gerçekleştirilmelidir.
- Püskürtme enerjisinin çoğu ısı olarak hedefe yayılır ve bu yüzden hedefin soğutulması ihtiyacı ortaya çıkmış olur.
- Püskürtme ile biriktirme işlemi, termal buharlaşma yöntemlerine göre daha yavaştır.
- İşlem enerji bakımından verimli değildir.
- Yöntemde kullanılan hedefler çoğu zaman pahalıdır.
- Hedef malzemenin kullanımını düşük olabilmektedir (Mattox, 1998).

3.3. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD)

Kimyasal Buhar Biriktirme yöntemi, buhar fazındaki aktif kimyasal bileşenlerin ısıtılan altlık üzerinde (veya yakınında) reaksiyona girip birikerek, kaplama oluşturması şeklinde gerçekleşir. CVD işlemi çok sayıda değişik kullanımları olan ve çok tipte malzemeye uygulanabilmektedir. Yöntemin çeşitli kullanım amaçları; aşınma dayanımı sağlama, pasif tabaka oluşturma, yüksek sıcaklık oksidasyonundan ve oksidasyondan korunmadır. Ayrıca yöntem; tozların, fiberlerin imalatı için de uygun olabilen çok yönlü bir yöntemdir (Pierson, 1999). Çok sayıda element ve bileşik kaplama malzemesi olarak kullanılabilirken elde edilen kaplamalar saf ve yüksek kalitededirler (Bunshah, 2000).

CVD işleminde kimyasal tepkimeye girecek maddeler, geleneksel yöntemlerle veya diğer yöntemlerin (örneğin: plazma destekli CVD, lazer indüklemeli CVD) kullanımlarıyla ısıtılarak aktive edilebilirler. İşlem sonucunda karmaşık şekle sahip olan parçaların dahi uniform kalınlıkta ve düşük poroziteye sahip halde kaplanmaları mümkündür (Bunshah, 2000). CVD yönteminin çeşitli üstünlük ve sınırlamaları aşağıda ifade edilmektedir.

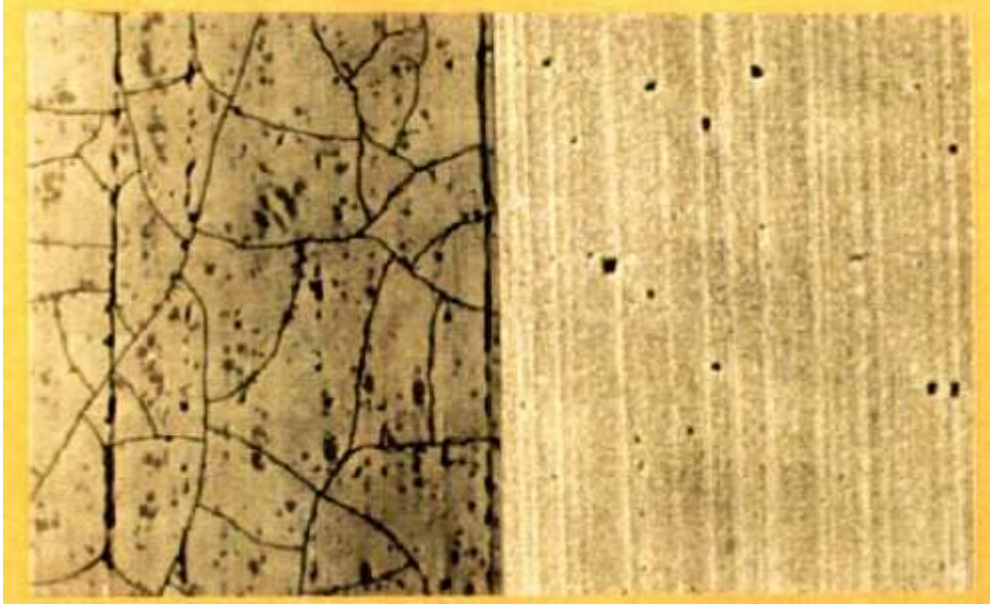
Yöntemin çeşitli üstünlükleri:

- İç kısımlarında delikler, boşluklar gibi kaplama işlemi açısından üç boyutlu boyutsal ya da geometrik zorluklar bulunduran altlıklar diğer yöntemlere oranla daha kolay kaplanabilmektedir.
- Biriktirme hızı yüksektir ve bazı durumlarda santimetre mertebesine kadar ulaşabilen kalın kaplamalar rahatlıkla gerçekleştirilebilir. Yöntem bu tip özellikleriyle PVD yöntemleriyle yarışabilir durumdadır.

- CVD işlemleri için ultra yüksek vakuma ihtiyaç duyulmaz ve kaplama tertibatı genellikle çok çeşitli kaplama işlemleri için kullanılabilir. Yöntemin esnekliği kaplama için kullanılan bileşimlerin üzerinde rahatça değişiklik yapılabilmesini sağlar.

Yöntemin çeşitli sınırlamaları:

- CVD yönteminin temel bir sınırlaması kaplamanın gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan ve genellikle 600°C üstünde olan yüksek işlem sıcaklıklarıdır. Çünkü birçok altlık malzemesi söz konusu sıcaklıklarda aktifleşebilmektedir.



CVD ile gerçekleştirilmiş kaplama PVD ile gerçekleştirilmiş kaplama

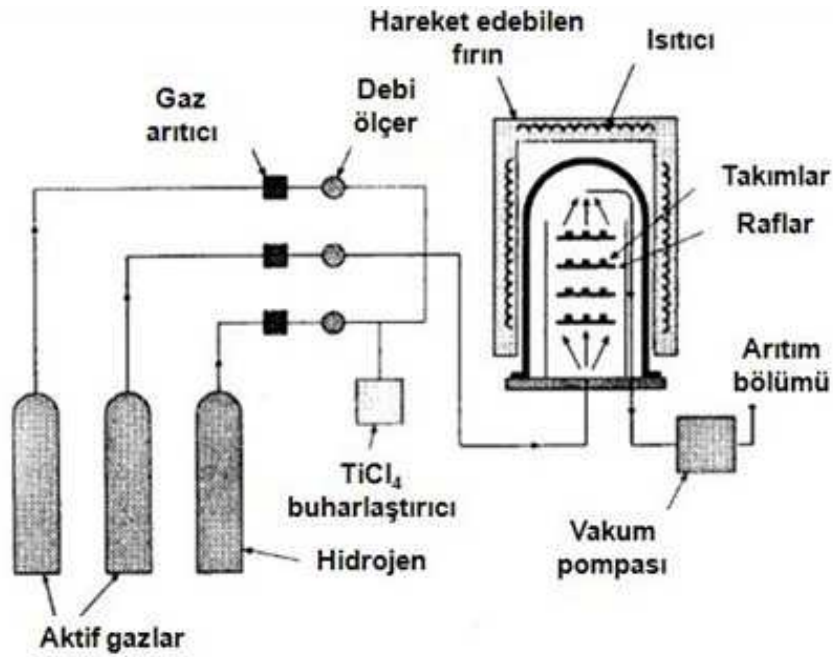
Şekil 3.7. CVD ile oluşturulmuş kaplamadaki ısıl çatlaklar ve PVD ile oluşturulmuş kaplamanın çatlaksız görünümü [11]

- Kaplama işlemiyle ortaya çıkan yan ürünler zehirli ve koroziftir. Nötralizasyon işlemleri de oldukça maliyetli olmaktadır.

Elektronik, optik, kesici takım imalatı ve kimya endüstrilerinde sıkça kullanılan CVD yöntemleriyle elde edilen çeşitli ürünler aşağıda ifade edilmiştir:

- Yarı iletkenlerde difüzyonun engellenmesi için metalorganik biriktirilmiş TiN tabakalar (MOCVD).

- Kesici takımlar için elmas benzeri karbür kaplama uygulamaları.
- Karbür takımlar için oluşturulan titanyum karbür ve titanyum nitrür kaplamalar.
- İridyum kaplamaların oluşturulmasıyla, 2000°C sıcaklığa ulaşabilen roket nozullarının dayanımının sağlanması.
- Elektronik endüstrisinde sıkça kullanılan pirolitik bor-nitrür potalar.
- Yüksek ısı iletkenlik istenen yerlerde kullanılan CVD-elmas koruyucu tabakalar.
- Yarı iletken malzemelerde ve diğer elektriksel bileşenlerde, takımların, mil yataklarının kaplanmasında, yine birçok aşınma dayanımı istenen makine parçalarında kullanılmaktadır (Pierson, 1999).

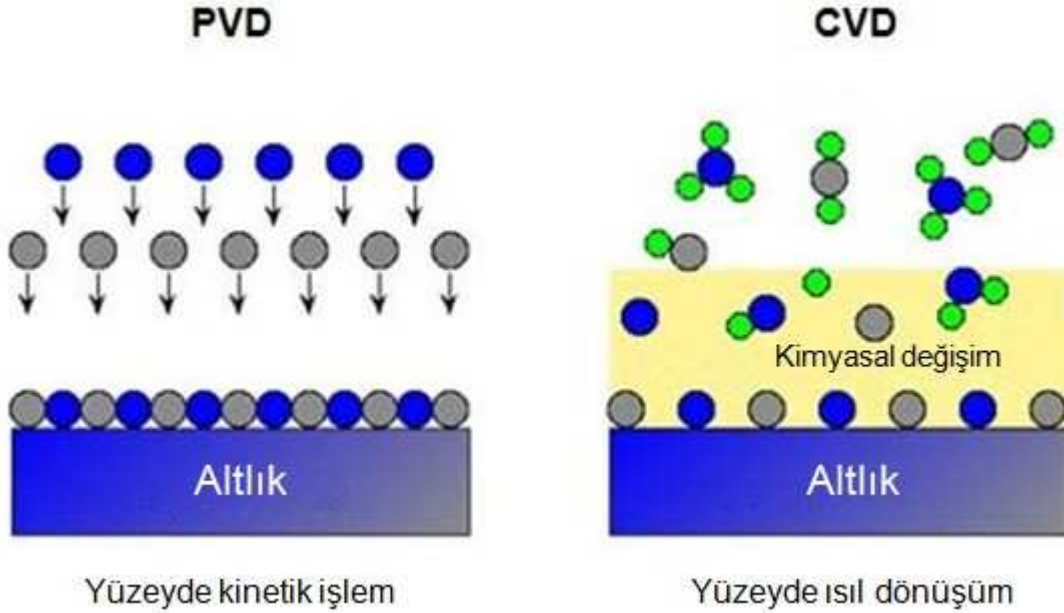


Şekil 3.8. CVD yöntemi ile kesme takımlarının kaplanması işleminin görünümü (Pierson, 1999)

Temel CVD işlemi şu adımlardan oluşur; tepkimeye girecek maddelerin altlığa doğru difüzyonu, altlık yüzeyi tarafından emilimi, yüzeyde gerçekleşen ve birikme işlemi sağlayan kimyasal tepkimeler, yan ürünlerin alımı ya da ortama verilmesi (Hornyak, 2008). CVD yöntemi genel olarak yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilse de (>900 °C), plazma gibi bazı ek kaynakların yardımıyla (plazma aktivasyonu) bazı uygulamalarda daha düşük sıcaklıklarda da (300-500 °C) gerçekleştirilebilmektedir (Pierson, 1999).

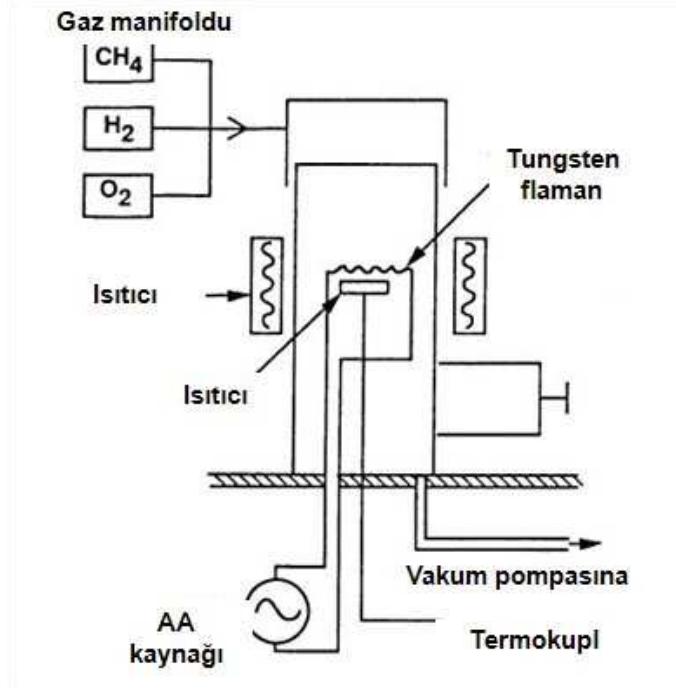
CVD yönteminin de diğer yöntemler gibi çeşitleri tipleri mevcuttur; düşük basınç CVD (LPCVD), atmosferik basınç CVD (APCVD), metal-organik CVD (MOCVD), plazma

destekli CVD (PACVD), sıcak-flaman CVD, lazer indüklemeli CVD (LCVD). Bunlar arasında sıcak-flaman CVD ve PACVD yöntemleri çalışmanın konusu ile yakından ilgili olduğu için, değişik tipteki CVD yöntemlerinin ifadesi açısından örneklenecektir.



Şekil 3.9. CVD ve PVD yöntemlerinin beraber gösterimi [12]

Sıcak-Flaman CVD Yöntemi'nde; altlığa yakın tutulan bir flamanın (genellikle Tungsten), sıcaklığı 2400°C gibi yüksek sıcaklıklara çıkartılması ve bu şekilde istenen kimyasal tepkimelerin ardından biriktirme işleminin gerçekleştirilmesi söz konusudur. Yöntemle yüksek hızlarda, düşük hidrojen yoğunluğuna sahip kesici takımlarda da kullanılan Si_3N_4 biriktirilmesi işlemi de gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca günümüzde kullanımı oldukça yaygın olan elmas kaplamaların oluşturulması için de sıkça uygulanmaktadır. Elmas film kaplamalarının oluşturulması yine tungsten ya da tantaldan yapılmış olan tel ya da tüpün ısıtılması yoluyla plazmanın gerçekleştirilmesi şeklinde olur (Pierson, 1999). Biriktirme hızı, kaplamanın bileşim ve yapısı, işlem sırasında var olan sıcaklığın ve flaman-altlık arasındaki mesafenin fonksiyonlarıdır.



Şekil 3.10. Elmas biriktirme işlemi için kullanılan bir sıcak-flaman aparatının görünümü (Pierson, 1999)

Plazma CVD Yöntemi olarak da anılan Plazma destekli CVD Yöntemi'nde tepkime için aktivasyon bir plazma ile sağlanır ve biriktirme sıcaklığı oldukça düşüktür. Kullanılan kısmi düşük sıcaklık sayesinde çok çeşitli altlık malzemelerine uygulanabilir. Takım çeliklerinin temperlenme sıcaklığının altında kaplanabilmesi, altlık için istenen mikroyapının ve özelliklerin sağlanması, distorsiyonun azaltılması konusunda büyük önem taşır (Bunshah, 2000; Hornyak vd., 2008).

Yöntem için ifade edilmesi gereken önemli bir nokta CVD reaksiyonlarının çoğu zaman zehirli ve korozif olmasıdır. Bu yüzden pahalı nötralizasyon işlemleri gerekebilmektedir. Geleneksel CVD işlemlerinin çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi, bu durumun takım çeliklerinin mikroyapılarında olumsuz etkiler göstermesi ve distorsiyonlara sebebiyet vermesi tekrar ifade edilmesi gereken önemli bir noktadır.

Çizelge 3.3. Kesme takımları için CVD ve PVD teknikleri (Pierson, 1999)

	CVD	PVD
Kaplama sıcaklığı, C°	850-110	<500
Adezyon derecesi	Mükemmel	Ortalama
Kaplamanın tane yapısı	İnceden kalına	İnce
Altlık üzerindeki etki	Metallerde belirgin	Belirgin değil
Kaplama gerilimi	Ortalama	Yüksek
Keskin kesme kenarları	Ortalama	İyi

4. İNCE FİLM KAPLAMALARIN ÖLÇÜMÜ

Bu bölümde, literatürde özellikle kesici takımların üzerinde oluşturulmuş ince film tabakaların yüzeylerinin nano ölçekte araştırılması için günümüz teknolojisinde sıklıkla kullanılan yöntemler incelenecektir.

4.1. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

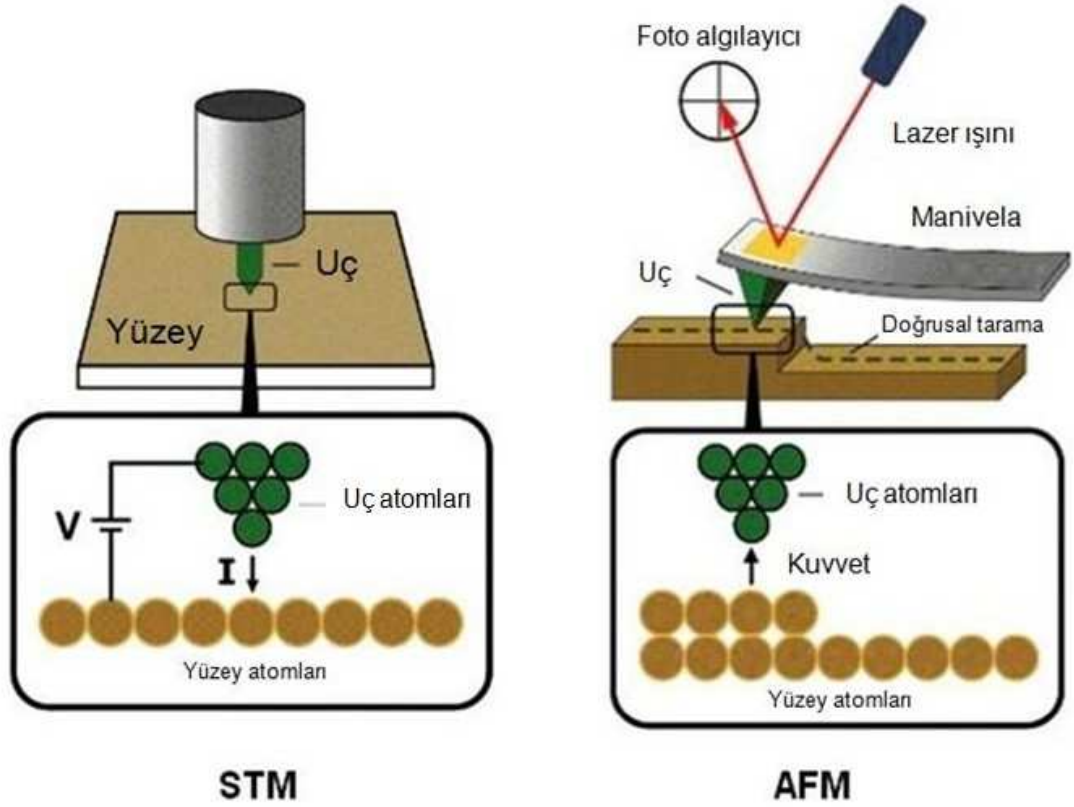
4.1.1. Yöntemin Prensibi ve Genel Bilgiler

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM), Taramalı Tünelleme Mikroskobu (STM) gibi Taramalı Prob Mikroskopları (SPMs) grubu içerisinde anılmakta olan ve günümüzde nano ölçekte gerçekleştirilen bilimsel uygulamalarda sıklıkla kullanılan bir araçtır.

SPM tekniklerinde genel olarak, ilgilenilen yüzeyin üzerinde tarama yapacak çok sivri bir prob söz konusudur. Prob ve yüzey arasındaki etkileşimler çok yüksek çözünürlükte (kullanılan probun sivrilğine bağlı olarak nano ölçek altındaki görünümlere kadar) görüntüler elde etmek amacıyla işlenir (Johnson vd., 2009). SPM teknikleri, atomik ölçekte araştırma ve işlem yapılmasına olanak sağlayabildiği zamandan bu yana, nano ölçekteki araştırmalara ve nanoteknolojiye olan ilgiye paralel olarak günden güne popülerleşmektedir. Bu teknikler yardımıyla atomik ve moleküler düzeydeki ayrıntılar konusunda bilgi sahibi olunmakta, malzeme bilimi, biyoteknoloji ve biyofizik gibi birçok alanda ilerlemeler kaydedilebilmektedir.

SPM tekniklerinin atası olarak ifade edilen STM tipi mikroskoplar, çalışmaları Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülen Gerd Binnig and Heinrich Rohrer tarafından icat edilmiş, daha sonra AFM de, Zurich IBM'de Binnig ve diğerleri tarafından 1986'da ortaya konmuştur (Giessibl vd., 2007).

AFM, atomik boyuta kadar, temas edilebilir veya temas edilemeyen yüzeylerin yüksek çözünürlükte topografik analizlerinin ve STM yöntemiyle gerçekleştirilemeyen çeşitli etkileşim bilgilerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır (Ralston vd., 2005). Bununla birlikte AFM, STM gibi sadece iletken malzemeler için değil tüm katı malzemeler için kullanıma uygundur (Yalamanchili vd., 1998). Bu şekilde AFM ile vakum altına alma zorunluluğu ve sadece iletken numunelerin incelenmesi problemleri aşılmıştır.



Şekil 4.1. Taramalı Tünelleme Mikroskobu (STM) ve Atomik Kuvvet Mikroskobu'nun (AFM) prensiplerinin şematik gösterimi (Clemente ve Gloystein, 2008)

AFM yöntemi gerek görüntüleme gerek yüzey karakterizasyonu gibi yüzey araştırmalarında ve yüzeyler, moleküller arası etkileşim kuvvetlerini inceleyen diğer uygulamalarda gün be gün daha etkin rol oynamaktadır. AFM'nin elektron mikroskobu tekniklerine göre, yüksek vakum dışında hava ve sıvı ortamlarda dahi ölçümler yapabilmek gibi üstünlükleri vardır ki; bu da biyolojik ve polimerik numunelerin tabii halleriyle görüntülenmesini mümkün kılar (Johnson vd., 2009).

AFM aşağıdaki örnekleri de içeren çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilir;

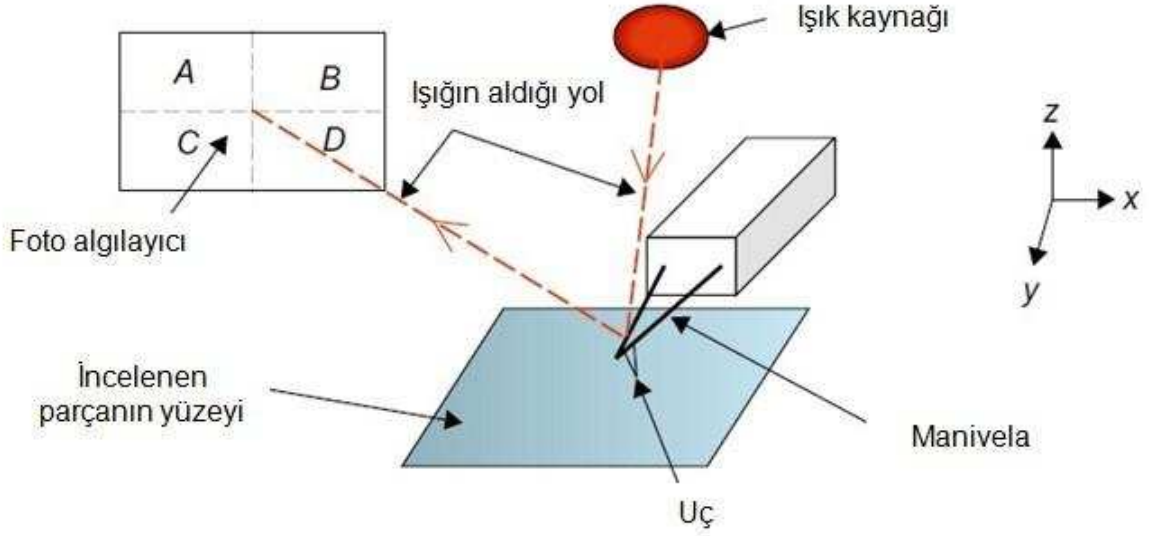
- Yalıtkan, yarı iletken, iletken olan neredeyse tüm katı malzemelerin incelemelerinde,
- Hava, sıvı ve ultra yüksek vakum altında yüzey incelemelerinde,
- Sıvılarda parçacık arası kuvvetlerin ölçülmesinde,
- Elektrokimyasal işlemlerin gerçek zamanlı ve atomik çözünürlükte araştırmalarında,
- Manyetik malzemelerin yapı ve etki alanları ile ilgili incelemelerde (Yalamanchili vd., 1998).



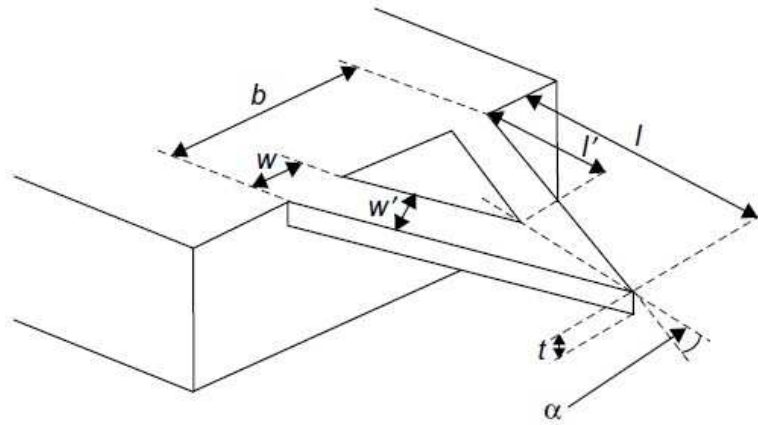
Şekil 4.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu [13]

Yöntemin görüntüleme prensibinde; araştırılacak örnek, oldukça hassas bir manivela yayı tutturulmuş bir veya birkaç atomdan oluşan çok keskin bir ucun hemen altında bulunan piezoelektrik bir konumlayıcıya yerleştirilir. Yüzeydeki dalgalanmalar, optik olarak izlenen ve kontrol edilen yayın salınımına sebep olur. Genellikle, yay salınımını sabit tutan bir geri besleme döngüsü kullanılır ve piezoelektrik konumlayıcı uca göre, eş hareket eder. Böylece görüntünün elde edilmesini sağlar (Ralston vd., 2005).

Belirtilmiş olduğu gibi AFM, örneklerin yüzeylerini bir manivela yayı üzerine tutturulmuş çok keskin bir uç ile inceler. Ucun formu genellikle kare tabanlı piramit veya konik olur (Şekil 4.5) ve her manivela değişik özelliklere ve şekle sahiptir. Dikdörtgensel ve V-şekilli manivelalar kullanımı en yaygın olanlarıdır. Bu tipler düşey yöndeki bozulma ve hareketlere daha az, yanal bozulmalara ve burulmalara ise daha yüksek mekanik direnç gösterirler. Manivelaların genel boyutları; boy (l) için 100-200 μm , en (b) için 10-40 μm ve kalınlık (t) için 0.3-2 μm 'dir (Clemente ve Gloystein, 2008). Manivelalar genellikle Si_3Ni_4 veya Si ile imal edilirler. Bu iki malzeme genel olarak yüksek akma dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özelliklerinin çok uygun olmaları sebebiyle seçilirler (Johnson vd., 2009).



Şekil 4.3. AFM prensibinin şematik gösterimi (Ralston vd., 2005)

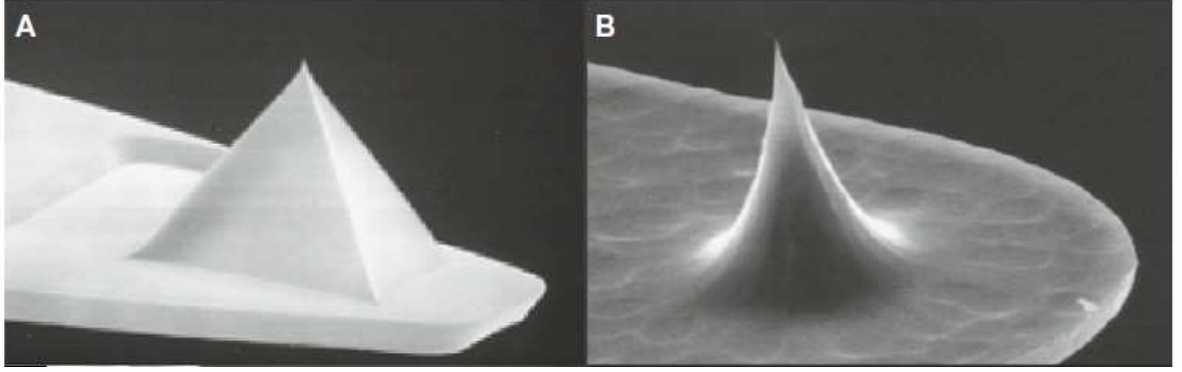


Şekil 4.4. Bir manivelanın boyutlarının ifadesi (Johnson vd., 2009)

Mikroskobun temas modu (ileride ifade edilecektir) incelemelerinde, manivelanın sonundaki keskin uç örnek malzemenin yüzeyi ile temas ettirildiği zaman kuvvetler 10 nN ile 1 pN'a kadar değişim gösterir ki; bu kuvvetler sonucu gerçekleşen konum değişimi veya esneme 0.01 nm hassasiyetinde ölçülebilmektedir (Bhushan ve Marti, 2007). İşlemlerdeki hassasiyet ve keskinlik malzeme seçimini oldukça önemli kılmaktadır. Bununla birlikte, manivelanın üst kısmı yani ucun ters tarafı altın (Au) veya alüminyum (Al) gibi ince yansıtıcı bir yüzey ile kaplanır.

Esneyebilen manivelanın, keskin ucun ölçümü sırasında maruz kaldığı her hangi bir etkileşim sonucu yaptığı salınım hareketi bir lazer ışını ile ölçülür. Bu işlem gönderilen lazer ışınının manivelanın arkasından yansıyıp bir foto diyotta toplanması ile gerçekleşir. Söz konusu diyot dört kısma ayrılmıştır (Şekil 4.3). Lazer ışınının üst bölümdeki (A-B) ya da alt bölümdeki (C-D) kısımlarına geçmesi, yüzey topografyasına bağlı olarak manivelada bir eğilme olduğu anlamına gelmektedir.

Örnek parça piezokristal üzerinde konumlandırılabilceği gibi bizzat manivelanın piezokristal üzerinde olduğu sistemler de mevcuttur. Burada piezokristal üzerindeki uç, yüzeye göre hareket ettirilir. İşlemin devamı yine, piyezokristalin ucun etkileşimine bağlı olarak hareketi ve bu hareketin kaydedilmesi şeklinde gerçekleşir. Yüzeydeki değişikliklerden ileri gelen manivela hareketi ve bozulması, uç ile yüzey arasındaki etkileşim kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılabilir (Johnson vd., 2009).



Şekil 4.5. Kare tabanlı piramit (A) ve konik (B) AFM uçlarının SEM görüntüleri (Johnson vd., 2009)

AFM çok çeşitli uygulamalarda, çok çeşitli malzemeler için kullanılabilmekte ve incelenen yüzeyler hakkında çok farklı bilgiler elde edilebilmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda AFM işlemlerinde çeşitli modlar kullanılmaktadır.

4.1.2. AFM İşlem Modları

4.1.2.1. Temas Modu

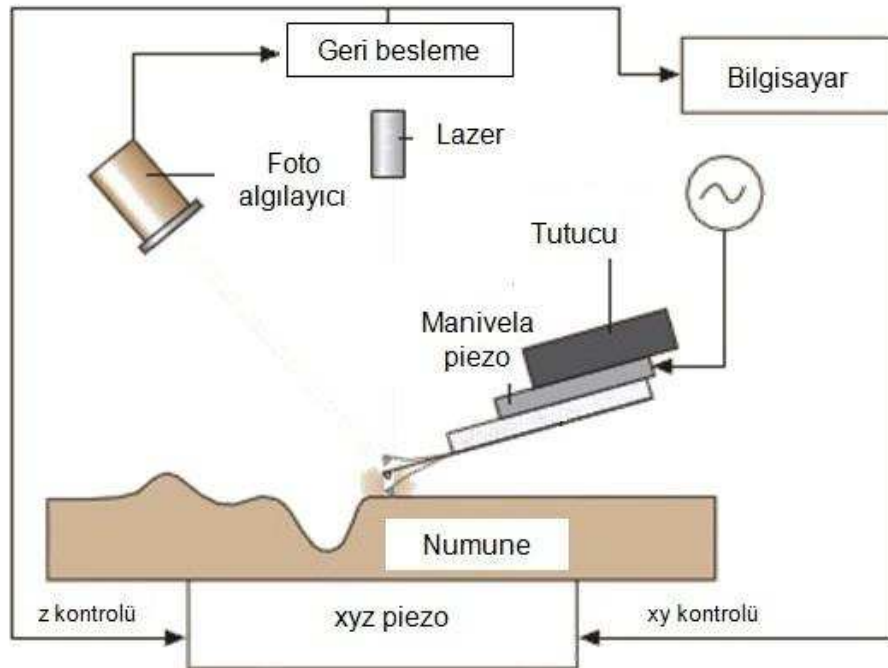
Temas modunda uç, araştırılan örnek parçanın yüzeyiyle sürekli fiziksel temas içerisindedir. Bu mod aynı zamanda uç ve yüzey arasındaki etkileşimin rejimi açısından statik ve itici mod olarak da bilinir (Bhushan ve Marti, 2007). Çünkü ilk temasta, ucun en önündeki atom veya

atomlar, incelenen yüzeydeki atomlardan elektriksel çakışmaya bağlı olarak çok düşük itici bir kuvvet alırlar. Manivelanın duruşunda meydana gelen bu kuvvetin sebep olduğu sapma veya bozulma yaklaşık ± 0.02 nm'dır. İşlem için basit bir örnek verilmesi gerekirse; tipik bir manivela yayının yay sabitinin 10N/m olduğu dikkate alındığında, hesaplanan kuvvet 0.2 nN olacaktır (Bhushan, 2001). Hesap Hook yasasına, $F = -k \cdot \Delta x$, göre; yay sabiti k ve manivela yayındaki bozulma Δx iken gerçekleştirilir. Bunlara ek olarak temas modunun sabit kuvvet ve değişken kuvvet esaslı kullanımları da vardır.

Ölçüm sırasında kolay deforme olabilecek ya da zarar görebilecek yüzeyler için temassız veya aralıklı temas modları gibi dinamik görüntüleme modları kullanılmaktadır.

4.1.2.2. Aralıklı Temas Modu

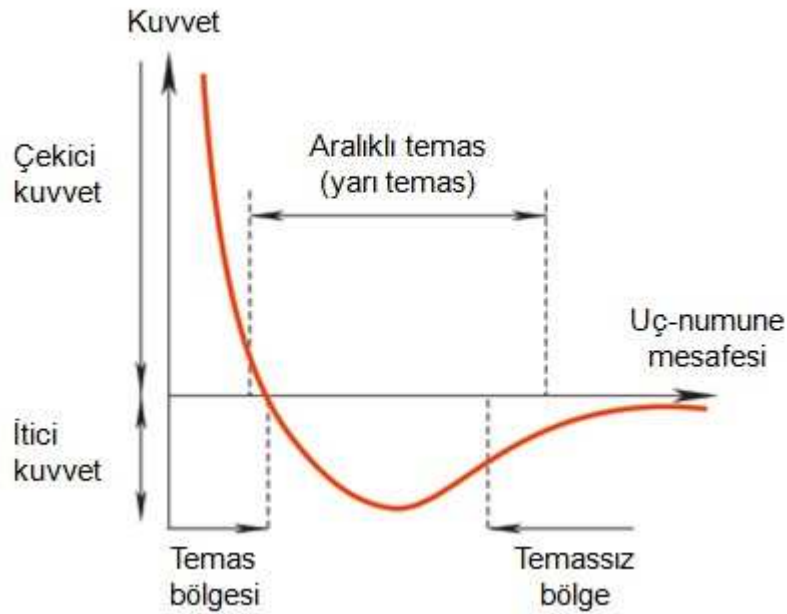
Aralıklı temas modu, aynı zamanda tıklatma (tapping) modu olarak da anılmaktadır. Yöntemde manivela yayına rezonans frekansına çok yakın bir frekansta ($70\text{--}400$ kHz) salınım yaptırılır ve elektronik geri besleme çevrimi salınım genliğini ($20\text{--}100$ nm) istenildiği miktarda sabit kalacak şekilde korur. Uç, ölçülen örneğin yüzeyine yaklaştığında daha önce de anılmış çeşitli kuvvetlerin etkisi altına girer. Bu durum, genlik ve rezonans kayıtları altına alınan değişikliklere sebep olur ve ölçüm gerçekleştirilir (Bhushan ve Marti, 2007; Johnson vd., 2009).



Şekil 4.6. Aralıklı temas modu (Bhushan ve Marti, 2007)

4.1.2.3. Temassız Mod

Aynı zamanda çekici mod olarak da anılan bu yöntemde, uç kendisini çeken bir kuvvet altında işlem görür. Uç ve yüzey arasındaki etkileşim en aza indirilmiştir ve diğer bir AFM modu olan temas modunun aksine uç, yüzey ile temas halinde değildir. Bu tipte, ölçüm sırasında manivela özellikle titreştirilir veya salındırılır (Giessibl vd., 2007). Uç incelenen örneğin yüzeyine yaklaştıkça, uç üzerindeki atomlar ve yüzey atomları arasında Van der Waals ve çeşitli elektrostatik kuvvetler gibi kuvvetlerle karşılaşılır. Bu durum manivelanın salınımında fark edilebilir bir değişikliğe sebep olur. Salınımında meydana gelen frekans değişikliğinin algılanması sistemin geri besleme mekanizması yoluyla z koordinatındaki mesafeyi, ucun yüzeye değmeyeceği şekilde sabit tutmasını sağlar (Johnson vd., 2009).



Şekil 4.7. Kuvvet ve mesafe diyagramı [14]

Şekil 4.7'de görülen kuvvet ve mesafe diyagramı AFM'nin üç temel modunu ifade etmektedir. Temas modunda, uç ve örnek parçanın yüzeyinin arasındaki etkileşim, çok yakın mesafelerdeki (birkaç angstromdan daha az) atomlar arası kuvvetlere bağlı olarak itici niteliktedir. Temassız mod için ise nispeten uzun mesafelerde etkili olan kuvvetlere bağlı olarak uç ve örnek parça yüzeyi arasındaki etkileşim çekici niteliktedir. Son olarak aralıklı temas modundaki etki ise sınırları ile üstteki grafikte görülmektedir [14].

Çizelge 4.1. AFM'nin temel işlem modları (Clemente ve Gloystein, 2008)

İşlem modu	Temas modu	Temassız mod	Aralıklı temas modu
Uç kuvveti	Düşük → yüksek	Düşük	Düşük
Numune yüzeyi ile temas	Var	Yok	Aralıklı
Numuneye etki	Var	Yok	Var
Ucun kirlenmesi	Evet	Hayır	Evet

4.1.3. AFM İşlem Modlarının Üstünlük ve Sınırlamaları

a. Temas modunun üstünlükleri ve sınırlamaları:

Üstünlükleri;

- Yüksek hızda tarama yapılabilir.
- Atomik çözünürlük mümkündür.
- Yüzeylerindeki boyut değişiklikleri yüksek olan pürüzlü yüzeylerin daha kolay elde edilebilir.

Sınırlamaları;

- Yatay kuvvetler görüntüde bozulmalara yol açabilmektedir.
- Sıvı tabakalardan gelecek kapiler kuvvetlerin, uç ve ölçülecek yüzey arasındaki etkileşim kuvvetlerini arttıracak etkide bulunabilmektedir.
- Bu kuvvetlerin bileşimi üç boyutlu görüntülerde problemlere yol açar ve yumuşak yüzeylere zarar vermesi olarak ifade edilebilir.

b. Temassız modun üstünlükleri ve sınırlamaları:

Üstünlükleri;

- Ölçülen yüzey üzerine çok düşük kuvvetler etki eder ve bu yüzden yumuşak yüzeyli yüzeylerde zarar söz konusu olmaz.
- Sınırlamaları;
- Uç ile ölçülen yüzey arasında temas olmadığı için nispeten düşük çözünürlük elde edilir.

- Sıvı tabakalarla temastan kaçınmak için düşük tarama hızları söz konusudur.
- Genellikle yüksek hidrofobi özelliği barındıran sıvı tabakalarında kullanılır.

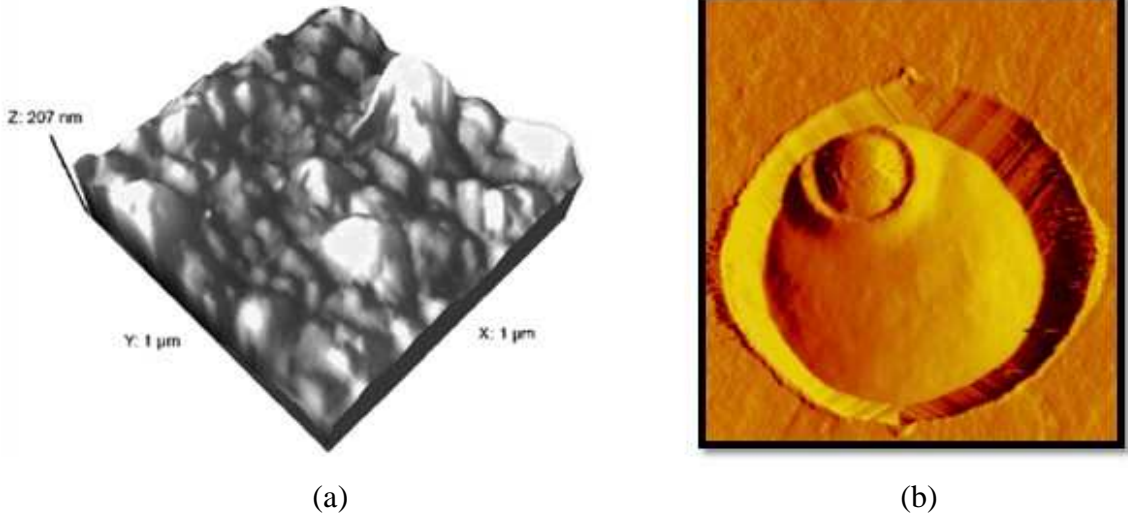
c. Aralıklı temas modunun üstünlükleri ve sınırlamaları;

Üstünlükleri;

- Yüksek üç boyutlu çözünürlük sağlar.
- Uyguladığı düşük kuvvetler sebebiyle yumuşak yüzeylere daha az zarar verir.
- Yanal kuvvetlerin etkisi neredeyse yoktur.

Sınırlamaları;

- Temas moduna göre düşük tarama hızına sahiptir (Clemente ve Gloystein, 2008).



Şekil 4.8. (a) Bir kesme takımı üzerine oluşturulmuş bir NCD kaplamanın AFM ile edilmiş yüzey görünümü (Torres vd., 2009). (b) Sıvı bir çözeltinin içerisinde tutulan ve etrafı gözenekli bir polimer ile çevrelenmiş, bir *Saccharomyces cerevisiae* hücresinin AFM ile edilmiş görünümü. AFM ölçümleri bu uygulamalarda hücrelerin yüzey hidrofobisi, moleküller arası etkileşimler, makromoleküler elastiklik gibi fiziksel özelliklerinin araştırılması için de kullanılabilir [15].

4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu

4.2.1. Yöntemin Prensipleri ve Genel Bilgiler

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntü elde etmek için ışın yerine elektronları kullanan, nanometreden mikrometreye, organik ve inorganik malzemelerin incelemelerini ve nitelendirilebilmelerini sağlayan bir ölçüm metodu ve aracıdır (Goldstein vd., 2003). SEM Dünya’da kullanımını en yaygın ve çok yönlü olan elektron ışın araçlarından biridir. Bu cihaz ününü ürettiği kolay yorumlanabilen mikro görünümlere, ürettiği bilgilerin türlerinin çeşitliliğine, verdiği görüntülerin yüksek çözünürlüklerine ve gerçekliklerine borçludur (David, 1997).

SEM benzeri diğer yöntemlere göre daha eskidir. İlk olarak, 1930’larda Knoll ve Ruska tarafından ortaya konan Geçirimli Elektron Mikroskobundan (TEM) sonra ilk taramalı mikroskop, Knoll tarafından 1935’te oluşturulmuştur (Bogner vd., 2007). 1938’de ise von Ardenne şu an bilinen haliyle SEM’in prensibini ortaya koymuştur. Bu yüzden, bu yöntem günümüzde de oldukça yaygın ve sık tercih edilen bir yöntemdir (Joy, 1997).



Şekil 4.9. Bir SEM cihazı görünümü [16]

Yöntemde elektronlar, anot ve katot arasında 0.5-30 kV’lık bir potansiyel ile hızlandırılır. Elektron lens sistemleri tarafından yönetilen, küçültülen elektron ışın çapı değerlerinin en düşükleri termiyonik elektron tabancalarında 10-50 μm ve emisyon tabancalarında 10-100 nm

aralığındadır (Reichelt, 2007). Bunlarla numune üzerinde 10^{-10} - 10^{-12} A'lık bir akıma sahip olan bir elektron probu oluşturulur. Daha sonra ise oluşturulan probun numune boyunca gezdirilmesi ile görüntü elde edilir. Prob, en fazla birkaç mikrometre (Reimer, 1998) kalınlığındaki ince bir tabaka içinde etkileşime girer. Gönderilen elektronlar ve numune arasındaki etkileşimler sonucunda meydana gelen radyasyon algılanır, yükseltilir ve bir katot ışın tüpü görüntüsü (Joy, 1997) elde edilmesi amacıyla kullanılır. Elde edilen görüntünün görünümü etkileşimin içeriğine, kullanılan detektöre ve sinyal işlemeye bağlıdır (Sawyer vd., 2008).

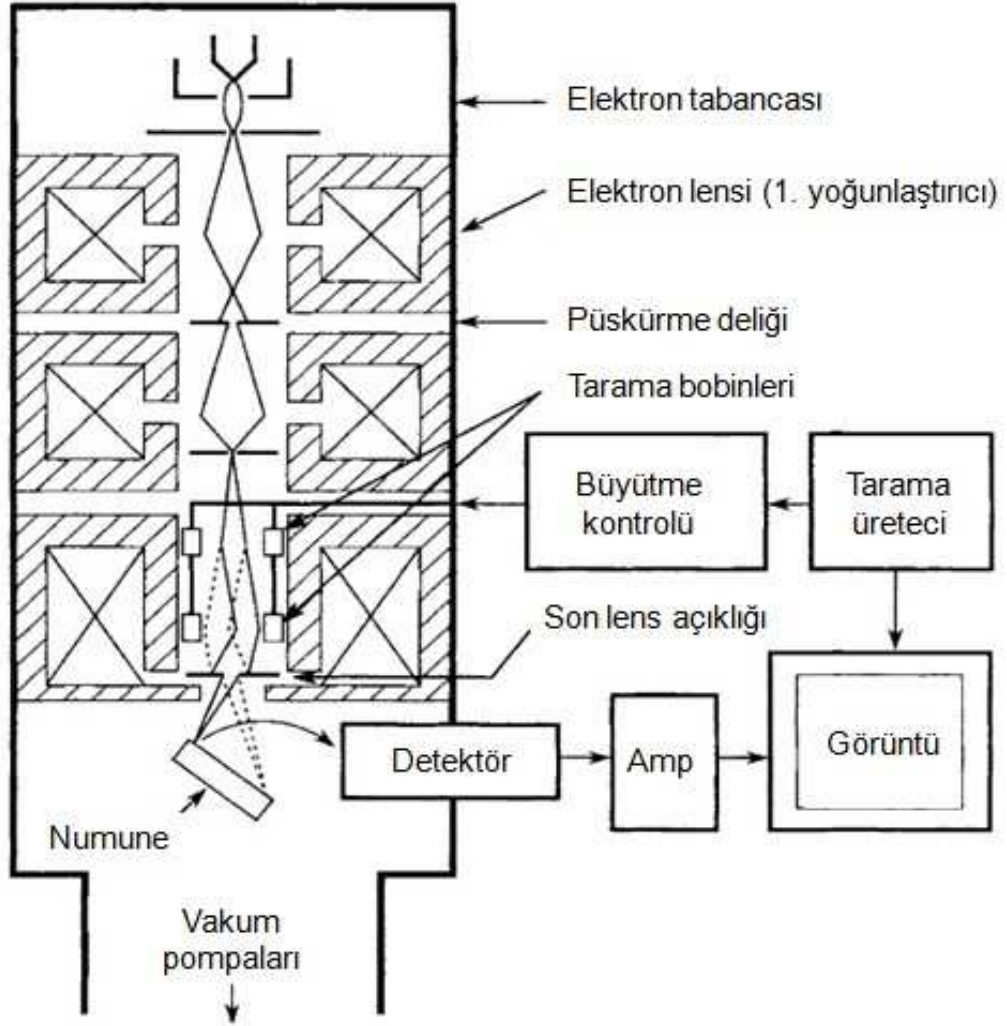
SEM'in yapısı iki ana bölümden oluşur; elektron optik ve detektör sistemleri olarak da anılan mikroskop kolonu ve elektronik konsolu (tarama-işleme-görüntüleme sistemi). Mikroskop kolonu;

- Elektron tabancası,
- Yoğunlaştırıcı lensler,
- İki çift ışın saptırma bobini,
- Objektif lensi ve çeşitli aparatlar,
- Numune bölümü ve elektron-numune etkileşimleri sayesinde oluşturulan sinyaller için kullanılan, kolonun alt kısmındaki detektörlerden oluşur.

Mikroskop kolonu ve numune odası ön vakum ve yüksek vakum cihazlarının kombinasyonu kullanılarak boşaltılır. Numune odasındaki tipik basınç miktarları, elektronların numuneye kadar aldığı yolda ortamdaki gazdan en az şekilde etkilenmesi amacıyla azaltılmıştır ve 10^{-4} Pa civarındadır.

Elektronik konsol ise;

- İvmelendirme potansiyeli için kullanılan elektrik güç kaynakları,
- Tarama jeneratörü,
- Değişik sinyaller için kullanılan elektronik yükselticilerden oluşmaktadır (Reimer, 1998) (Sawyer vd., 2008).



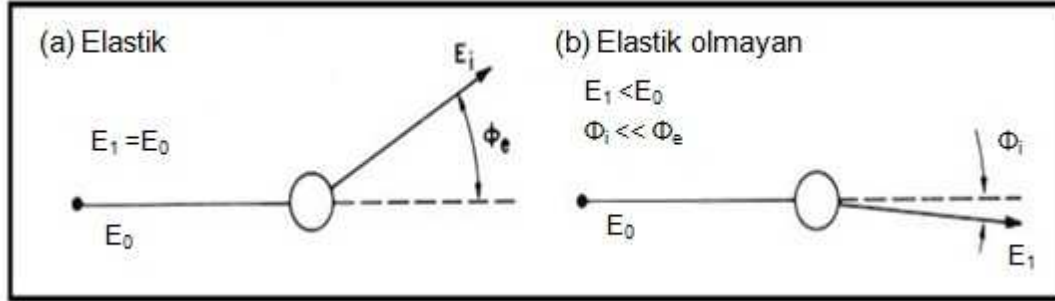
Şekil 4.10. Elektron mikroskobunun şematik görünümü. İki çift tarama bobini kolon bölümünde gösterilmiştir. Söz konusu çift saptırma işlemi tarayıcı demeti son açıklığa kadar getirir. X ve Y yönleri için, çift kırılma sağlamak açısından aslında dört çift kullanılmaktadır (Sawyer vd., 2008).

4.2.2. Elektron-Numune Etkileşimleri

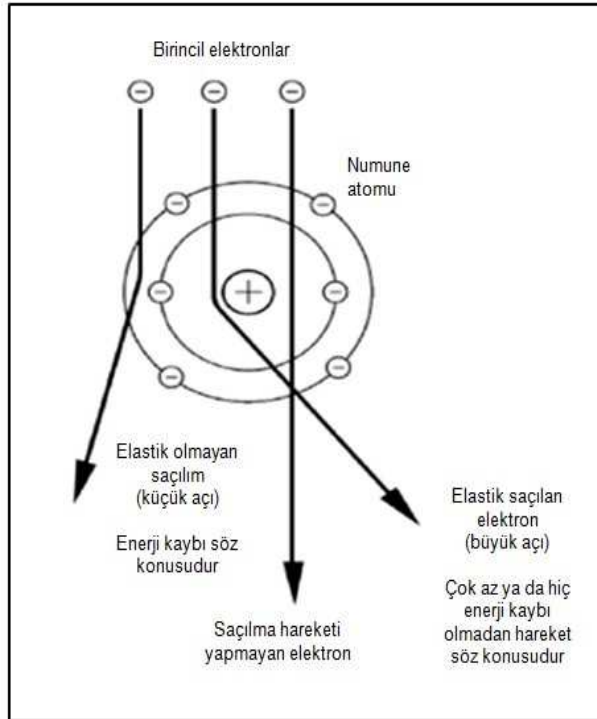
Elektronlar numune yüzeyinden girdiğinde numune atomlarıyla etkileşime girerler ve böylelikle yöntemle görüntü alma işlemi gerçekleşir. Bu yüzden bu etkileşimler nitelikleri ve türleri bakımından önem arz ederler. Söz konusu etkileşimler son sinyalin alınımını sağlayan temel atomik etkileşimlerdir ve elastik, elastik olmayan saçılımlar şeklinde gerçekleşirler.

Elektronların elastik saçılımı pozitif yüklü çekirdeğin elektriksel alanı sebebiyle gerçekleşir ve elektron ışınında bir kırılma meydana getirir. Böylece elektronun doğrultusu değişmiş olur (0-180° arasında). Bununla beraber elastik saçılım yapan elektronun kinetik enerjisinde neredeyse hiç bir kayıp olmaz.

Elastik olmayan saçılma tipinde ise meydana gelen etkileşim, elektronun karşılaştığı atomun elektronları ile meydana gelir. Elastik olmayan saçılmadan sonra elektron az miktarda sapma gösterir (genellikle sadece birkaç miliradyan) ve kinetik enerjisi azalır (Reichelt, 2007)



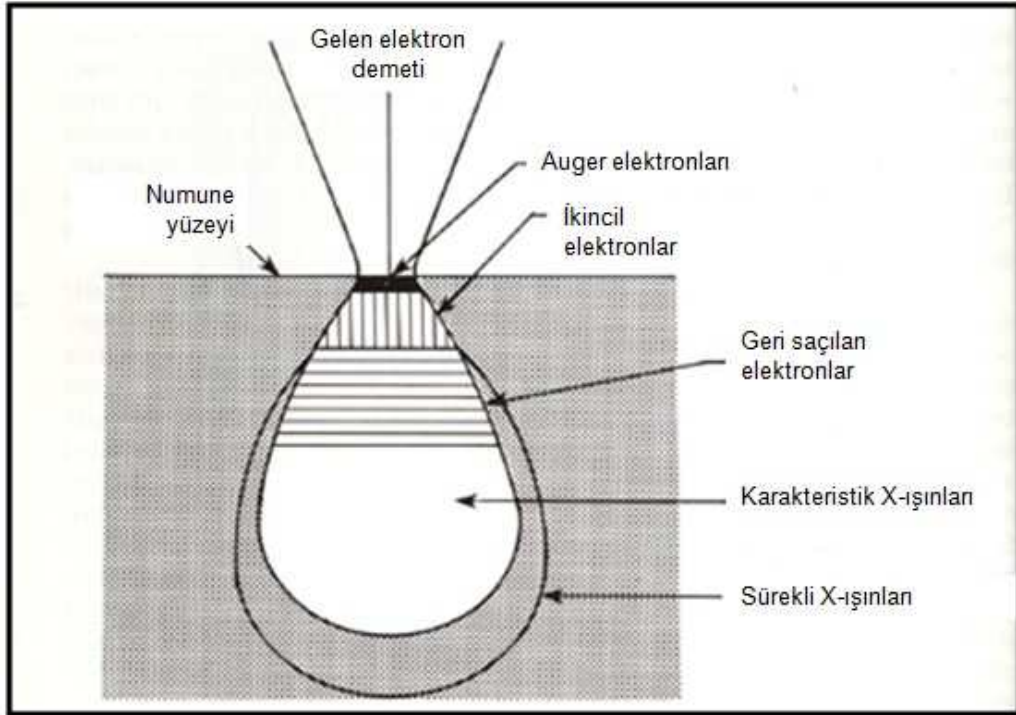
4.11. Elastik ve elastik olmayan saçılımda açısal değişimler ve enerji değişimleri [17]



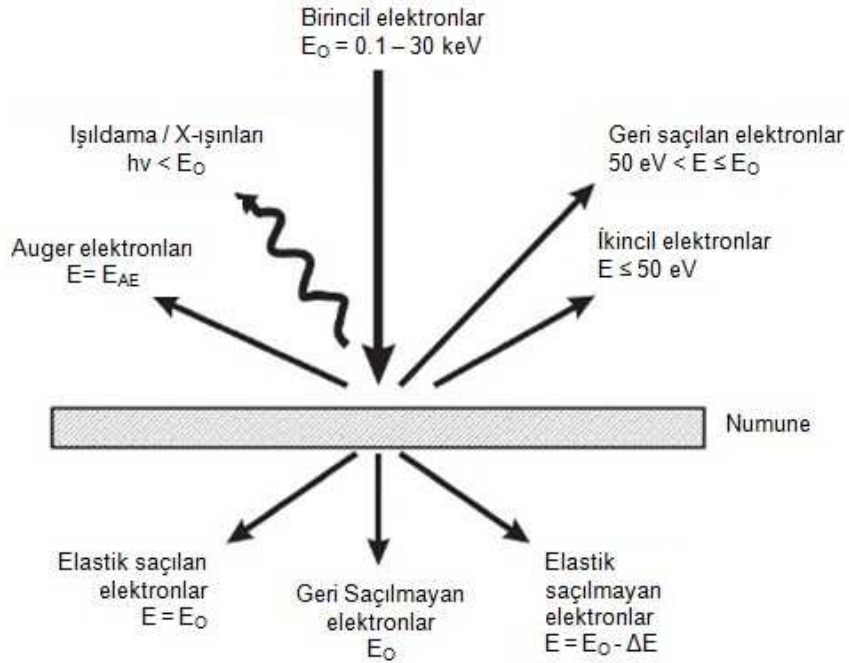
4.12. Elastik ve elastik olmayan saçılımın görünüşleri [17]

Elektron ışının yüzeye girişi ile büyük bir elektron enerjisi kaybı söz konusu olur. Elektron enerjisindeki büyük düşüşün sonucu, numune içinde sınırlı ilerlemesidir. Bu menzil elektron enerjisine ve hedefin yoğunluğuna bağlı olarak 10nm-10µm arasında değişim gösterir. Bu yüzden elektron hareketlerinin derinliği, yanal eksen boyunca yayılımı, etkileşimi olduğu bölgeler hakkında bilgiler verebilmektedir ki; bu şekilde yüzeyler hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir (Reimer, 1998). Etkileşimlerden sonra temel olarak; ikincil elektronlar (SE),

geri saçılan elektron (BSE), Auger elektronları (AE), katot ışıltaması (fotonlar, IR, UV) karakteristik X-ışınları, ısı ve ışık ortaya çıkar.



Şekil 4.13. Gönderilen elektronların numune ile etkileşiminin sonucunun şematik görünümü [18].



Şekil 4.14. İnce bir numune için, elektronlar tarafından oluşturulan sinyallerin şematik gösterimi. E_0 ; ışın elektronlarının enerjisi, E ; Sinyal elektronlarının enerjisi; E_{AE} , Auger elektronlarının enerjisi; elastik olmayan saçılım sonrası enerji kaybı, $h\nu$; radyasyon enerjisi (Reichelt, 2007).

Numuneden gelen iki tip sinyal, geri saçılan elektronlar ve ikincil elektronlar istenen SEM görüntülerinin elde edilmesi açısından oldukça önemlilerdir ve aşağıda görüntü alma modları olarak ifade edilecek, tanımlanacaklardır.

4.2.3. Görüntü Alma Modları

İkincil elektronlar: İkincil elektronlar (SE) ile görüntü alma modu görüntülerin nispeten kolay oluşturulması açısından önemli bir rol oynar ve kullanımı en genel işlem modudur. SE'ler, detektör tarafından kolay algılanabilir düşük enerji miktarına (<50 eV) sahiptir. Buna bağlı olarak, hepsinin rahatça toplanabilmesi söz konusudur ve bu da işlemi daha verimli kılar.

Düşük enerjileri sebebiyle söz konusu elektronlar numune içinde nispeten daha kısa mesafeler alırlar (birkaç nanometre) (Sawyer vd., 2008) böylece numunenin altından oldukça sığ bir görüntü elde edilmiş olur.

İkincil elektronlar (SE) numune içerisindeki hareketleri ve aldıkları mesafeye göre iki tip olarak ifade edilebilirler. Bunlar; yüksek çözünürlükte bilgi taşıyan SE1'ler ve düşük çözünürlükte bilgi taşıyan SE2'lerdir.

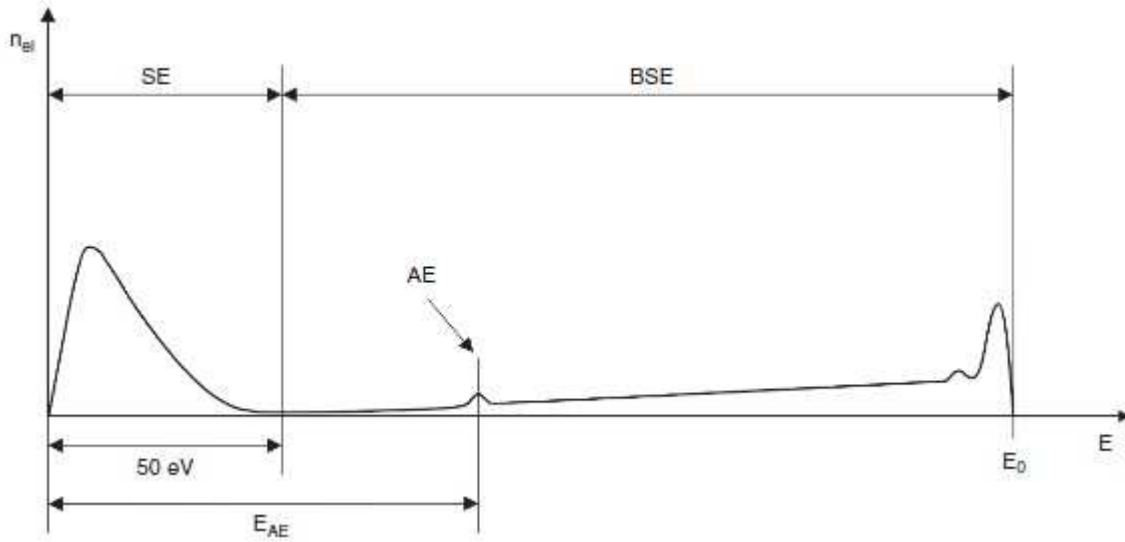
SE ile görüntü alma yönteminin üstünlükleri;

- Toplanmaları kolaydır.
- Yüzey topoğrafyasıyla ve numune ile ilgili birçok bilgi taşırlar. Yüzey kimyası, manyetik ve elektriksel alanlar da numune ile ilgili olarak elde edilebilen bilgilerdendir.
- SE görüntüleri, birçok durumda, özel bir bilgiye sahip olunması gerekmeksizin hızlıca yorumlanabilir.
- Elde edilen görüntüler 1 nm veya daha uygun şartların sağlanması durumunda daha iyi çözünürlüklerde bilgi veririler (Joy, 1997).

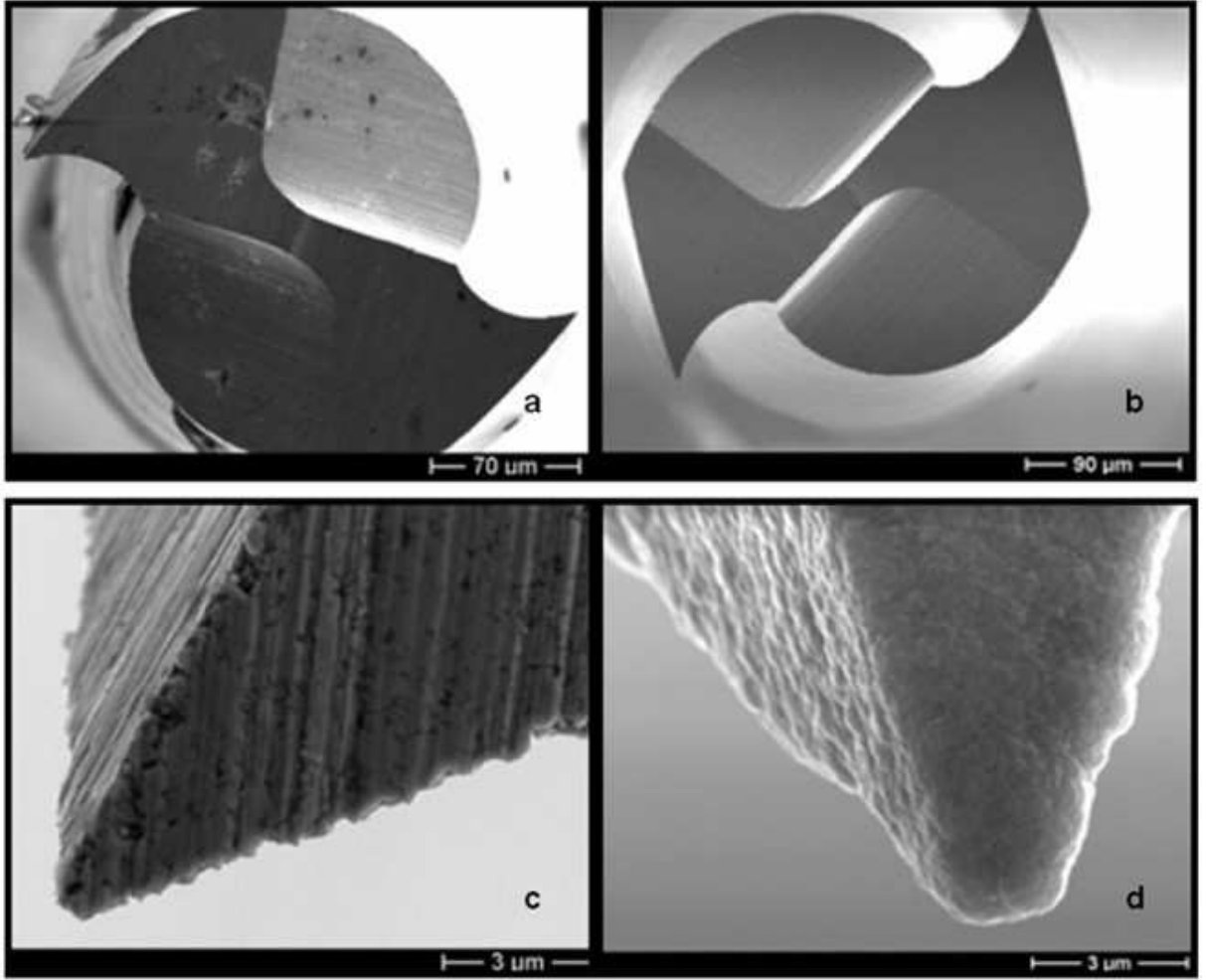
Geri Saçılan Elektronlar: Geri saçılan elektronlar (BSE) elektron ışınının, numune atomlarının çekirdekleri tarafından etkilenip elastik saçılım hareketi yapan ve tekrar yüzeyden numuneyi terk eden elektronlarıdır (Sawyer, vd. 2008). Bu elektronlar, SE'lere benzemeyen bir şekilde, düz bir yörüngede hareket ederler ve elektro-statik toplama bölgeleri tarafından etkilenmezler. Bu yüzden detektörler geniş bir toplama açısına sahip olacak şekilde konumlandırılmalıdırlar (Reimer, 1998).

Geri saçılan elektronlar ile görüntüleme (BEI) elektronların numune içerisinde aldığı yol ve hacim dolayısıyla numune derinliklerinden taşıdığı önemli bilgileri yüksek yoğunlukta ortaya koymaktadır. Yüksek enerjiye sahiptirler ($50 \text{ eV} < E_{\text{BSE}}$) ve numune içerisinde $1 \mu\text{m}$ veya elektron ışın potansiyeline göre daha derinlere kadar ilerleyebilmektedirler. Daha sonra numuneyi atom numarası ile ters orantılı olacak şekilde geniş bir yüzeyden terk ederler. BSE'lerin ifade edilen bu özellikleri elde edilecek görüntülerin düşük çözünürlükte olacağı anlamına gelmektedir fakat; bu konu üzerinde elektron ışın potansiyeli ve numune bileşimi büyük önem taşır. Daha iyi topoğrafik ve yoğunluk ve çözünürlük elde etmek için özel detektörler ve metodlar kullanılır (Robinson detektörleri, BSE'lerin filtrelenme işlemleri vb.) (Reichelt, 2007).

Bunlarla beraber yöntemde, numunelerin bölgesel olarak kimyasal bileşimlerinin tespiti için BEI ve X-ışınlarının beraber kullanımları gibi çeşitli uygulamalar da mevcuttur (Reimer, 1998).



Şekil 4.15. E_0 enerjisi ile bombardıman edilmiş ve yüzey tarafından yayılmış elektronların enerji dağılımının şematik gösterimi. AE; Auger elektronları, BSE; Geri saçılan elektronlar, SE; ikincil elektronlar, E_{AE} ; AE'lerinin enerjileri; n_{e1} , enerjiye bağlı olarak, geri yayılan elektronların sayısı (Reichelt, 2007)



Şekil 4.16. Kaplanmamış (a,c) ve nano kristalli elmas kaplanmış (b,d) kesici takımlar ve kesme kenarlarının görünümü (Torres vd., 2009)

4.3. Beyaz Işık İnterferometresi

Optik yöntemler son yıllarda sensörler, algoritmalar ve bilgisayar teknolojisinin de hızlı gelişimiyle beraber geniş alanda uygulama alanı bulmuşlardır. Beyaz Işık İnterferometresi'nin (WLI) temas halinde ölçüm yapan diğer yöntemlere nazaran; yüksek hızı, üç boyutlu profilleri tek seferde ölçebilmesi ve işlemin temassız yapılması gibi birçok üstünlüğü vardır. Bu özellikler, yöntemi şekil ve yüzey pürüzlülüğü uygulamalarında oldukça çekici kılmıştır. Geliştirilen cihazlar ile tam otomatik şekilde yüksek çözünürlükte ölçümler yapılabilmektedir (Viotti, vd. 2007). Sonuç olarak bahsi geçen özellikleri sayesinde WLI, mühendislik yüzeylerinin ölçümleri için gerçekleştirilen pratik uygulamalarda çok önemli bir yere sahiptir.

WLI'nin prensibinde, gelen beyaz ışık bir ışın demeti ayırıştırıcısından geçer ve numune yüzeyine ve iç referans aynasına doğru olmak üzere iki ayrı yola ayrılır. Işımlar bu yüzeylerden yansıdıktan sonra yeniden birleştiklerinde girişim modeli "saçakları" oluşur.



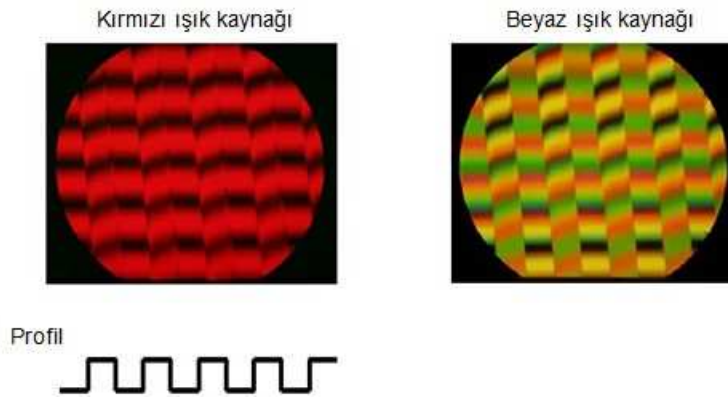
Şekil 4.17. Yüzeý topoğrafyasý ve ince kaplamaların kalınlık ölçümlerini gerçekleştirebilen bir tarayıcı Beyaz-Işık İnterferometre cihazının görünümü [19]

En yüksek saçak yoğunluğu yüzeý üzerinde verilen her nokta için en iyi odaklanma meydana gelir. Yöntemde kullanılan beyaz ışığın özelliği sayesinde girişim saçakları yüzeý üzerindeki çok sığ derinliklerde bile üretilmiş olur. Test edilen yüzeý her noktada dikey olarak taranır ve odaktan geçirilir. Tarama süresince eşit aralıklarla, girişim saçağı verileri bir video kamera ile görüntülenir, yakalanır ve işlenir. Sistem yüzeý üzerindeki her noktanın nanometre altı çözünürlükte, tam dikey pozisyonunu kaydetmek amacıyla ileri bilgisayar algoritmaları kullanır (Devillez vd., 2004; [20]).

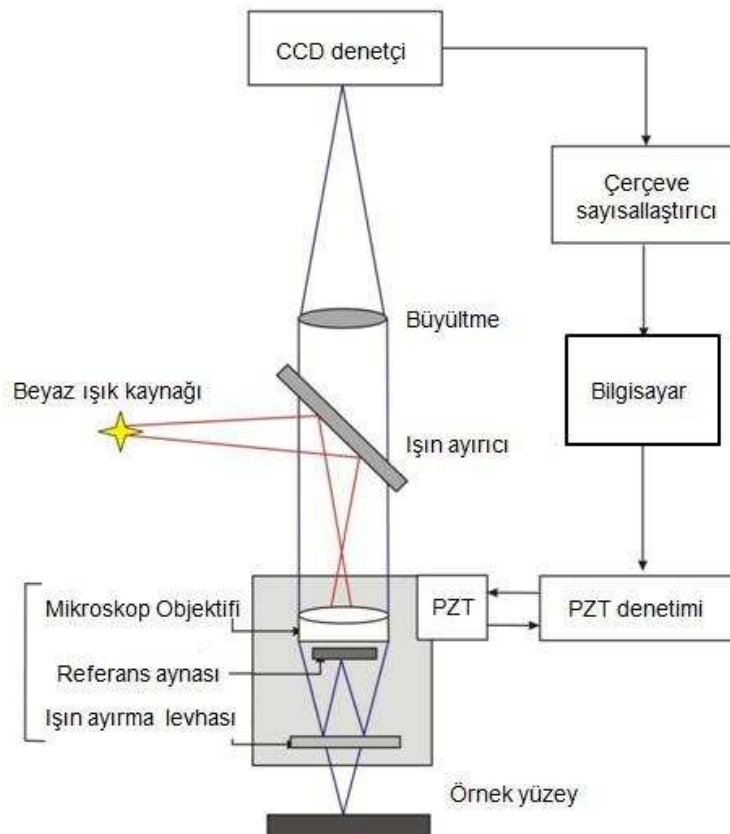
Daha önce de ifade edilmiş olduğu üzere WLI oluşan saçakların geçiş, değişim veya bağdaşım derecelerinin ölçümlerini içerir. Saçak yoğunluğu yüzeý yükseltilerinin tanımlanması için kullanılır. Geleneksel, lazer esaslı interferometreler için interferometrik belirsizliklere yol açabilen, değerlendirilmesi zor veya imkansız olan kesikli yükseklik değişimleri veya yüzeý pürüzlülükleri WLI ile verimli bir şekilde çözülebilmektedir. Bununla beraber yöntemin değişik tipte ticari uygulamaları ve cihazları mevcuttur. (Groota ve Deck, 1995; Bhushan, 2001)



Şekil 4.18. Beyaz ışık girişim saçakları



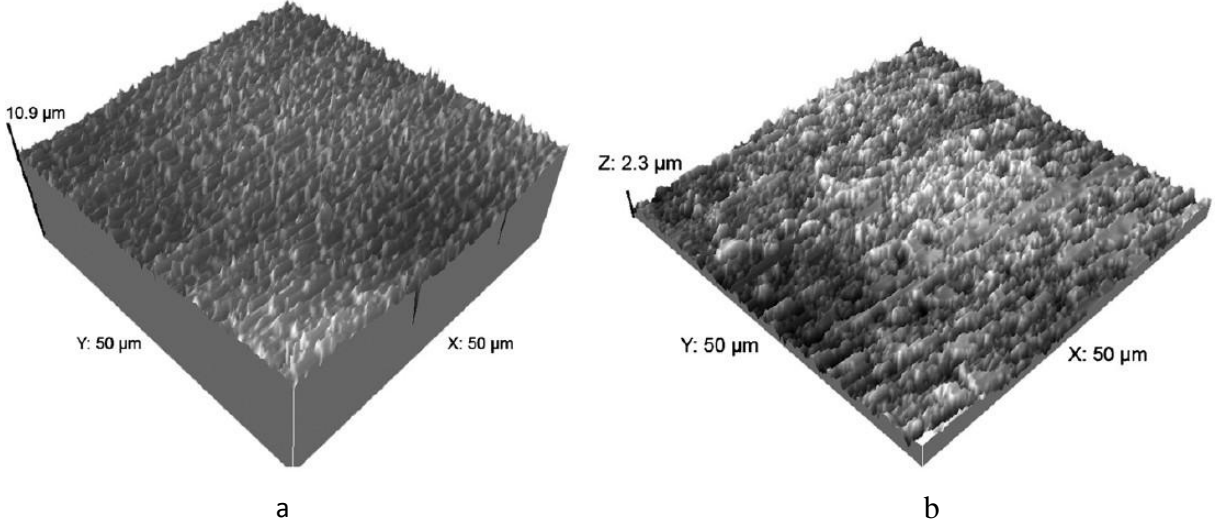
Şekil 4.19. Örnek olarak verilmiş profilin kırmızı ışık ve beyaz ışık kullanılarak elde edilen görünümü (Wyant, 2002)



Şekil 4.20. Bir Dikey Tarama İnterferometresi görünümü [20]

Yüzey özelliklerinin, en yüksek saçak yoğunluğunun kullanılması yoluyla tanımlanmasının da daha önce ifade edilmiş olan üstünlükleri gibi çeşitli sınırlamaları da mevcuttur. Bu sınırlamalar için verilebilecek en temel örnek; çok fazla hesap yapılmasıdır. Yoğunluk metodunun gerçekleştirilmesi süresince tek bir final noktasının seçilip elde edilmesine kadar yapılan birçok hesap içinden, sadece bir veya birkaç nokta elde edilir ve hesabı yapılmış diğer tüm veriler elenir. Bu durum da işlemi bu açıdan verimsiz kılar (Groota ve Deck, 1995).

Günümüzde WLI yöntemi; yarı iletken üretimi, iletişim, mikro işlemler ve yüksek hassasiyette gerçekleştirilen diğer mühendislik işlemlerini de içine alan endüstrinin birçok dalında kullanılmaktadır. Ayrıca yöntem yansıtma özelliğine sahip malzemelerin üzerlerinde oluşturulmuş ince kaplamaların kalınlıklarının tespitinde de kullanılabilir. Yöntemin kullanımının görüldüğü temel uygulamalardan bazıları ise; yüzey profilinin elde edilmesi, yüzey pürüzlülüğü tespiti, şekil araştırmaları, mikro yapı ve nano metroloji alanında ilgilenilen birçok yüzey özelliğinin tespiti olarak ifade edilebilir (Damian vd., 2008).

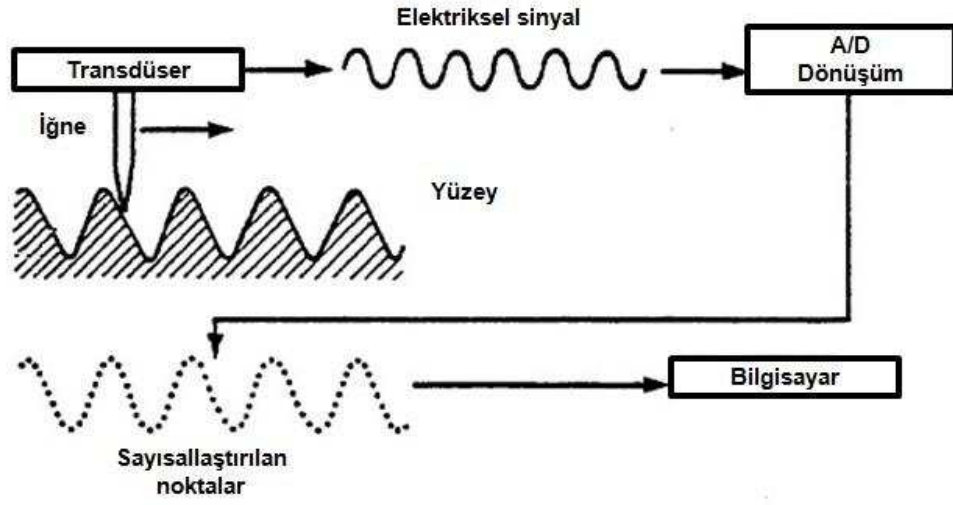


Şekil 4.21. Beyaz ışık interferometresi ile elde edilmiş yüzey görünümleri; (a) ince yapılı ve (b) nano kristalli elmas kaplanmış iki kesici takım (Torres vd., 2009)

4.4. Profilometre

Profilometre cihazı yüzey yapısı ve kalitesinin tespiti için kullanılan en yaygın yöntemlerdendir. Günümüzde bilim ve teknolojinin hızlı gelişimi ile söz konusu cihazların hassasiyeti nanometre seviyesine ve hatta daha azına indirebilmektedir.

Profilometre cihazları; ölçülmesi istenen yüzeyin üzerinde sabit bir hızda hareket eden, yüzeye dik elmas uçlu bir iğnenin yüzeye göre gerçekleştirdiği hareketlere göre ölçüm yapan cihazlardır (Whitehouse vd.,1997; Bhushan, 2001). Cihazın iğnesi hareket ettiği yüzeyin çukur ve tepelerine rastladıkça dikey bir hareket yapar. Bu hareket yani mekanik değişim transdüser tarafından elektriksel sinyale çevrilir. Elde edilen elektriksel sinyaller bilgisayar yardımı ile analiz edilir ve ardından yüzeydeki pürüzlülük, dalgalılık değerleri ve özellikleri gibi kullanılabilir verilere dönüştürülür (Vorbuger ve Raja, 1990). Cihazlarda genellikle LVDT, endüktif, piezoelektrik transdüserler kullanılır.



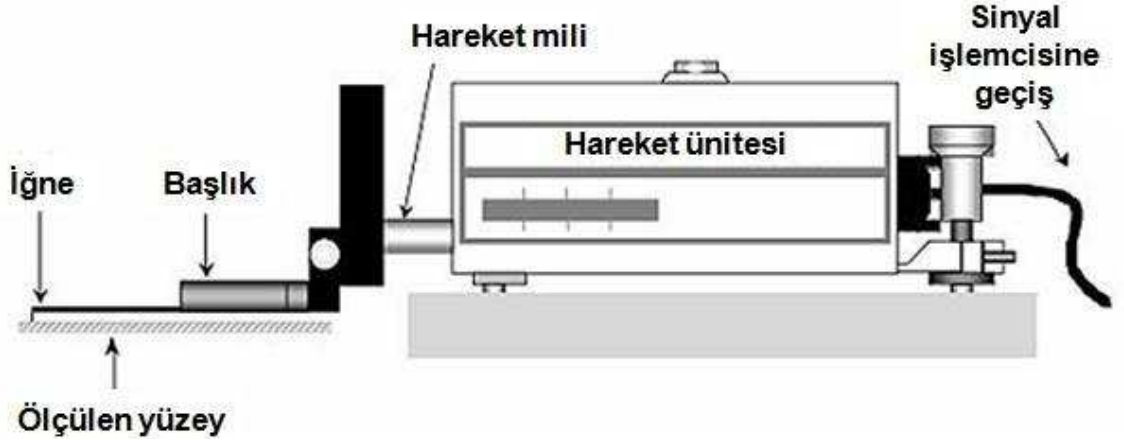
Şekil 4.22. İğne ucla gerçekleştirilen ölçümün şematik görünümü (Vorbuger ve Raja, 1990)

Profilometre cihazları genel olarak aşağıdaki bölümlerden meydana gelmektedir:

- Ölçümü gerçekleştiren iğne uçlu başlık ve hareket ünitesi; iğne ucunun hareketi başlık vasıtasıyla eşdeğer elektrik voltajına çevrilmektedir.
- Amplifikatör; başlıktan elde edilen voltaj ve iç direnç yükseltilmektedir.
- Kayıt ünitesi; amplifikatörden gelen yükseltilmiş voltaj değerlendirilmektedir (Durakbaşa vd., 2008).

Ölçüm süresince iğne tarafından yüzeye uygulanan kuvvet 0,1 mN gibi düşük değerlere ulaşabilmektedir (Afjehi-Sadat vd., 2005). İşlemin bu kadar hassas gerçekleştirilmesi aynı zamanda ölçüm ortamında da sıcaklık, nem, titreşim gibi faktörlerin belli sınırlar içinde sabit tutulması gereğini doğurmaktadır. Çalışmada gerçekleştirilen ölçümlerde kullanılan cihazın kullanıldığı ölçüm ortamının sahip olduğu, cihaza uygun çevresel faktörler ilerideki

bölümlerde ifade edilecektir. Bir profilometrenin çeşitli fiziksel ve teknolojik özelliklerinin incelenebilmesi açısından yine “deneysel çalışma” bölümünde kullanılan cihaz örneklenebilir.



Şekil 4.23. Bir profilometrenin çeşitli parça ve bölümleri [21]

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Giriş

Çalışmanın bu bölümünde nano ölçekte ve yüksek hassasiyette imal edilmiş teknik yüzeylerin yüzey pürüzlülük incelemeleri gerçekleştirilecektir.

Bu işlem için değişik geometri, boyut ve kaplamalara sahip; altısı freze bir tanesi nokta matkabı olmak üzere yedi adet silindirik saplı kesici takım kullanılacaktır. Sert metal malzemeden imal edilmiş, nano tabakalardan oluşturulmuş, yüksek hassasiyette kesme işlemi yapabilen söz konusu takımların geometrileri ifade edilecek, ölçümler sistematik şekilde ortaya konacak ve elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.

5.2. Kesici Takımların Yüzey Pürüzlülüklerinin Araştırılması

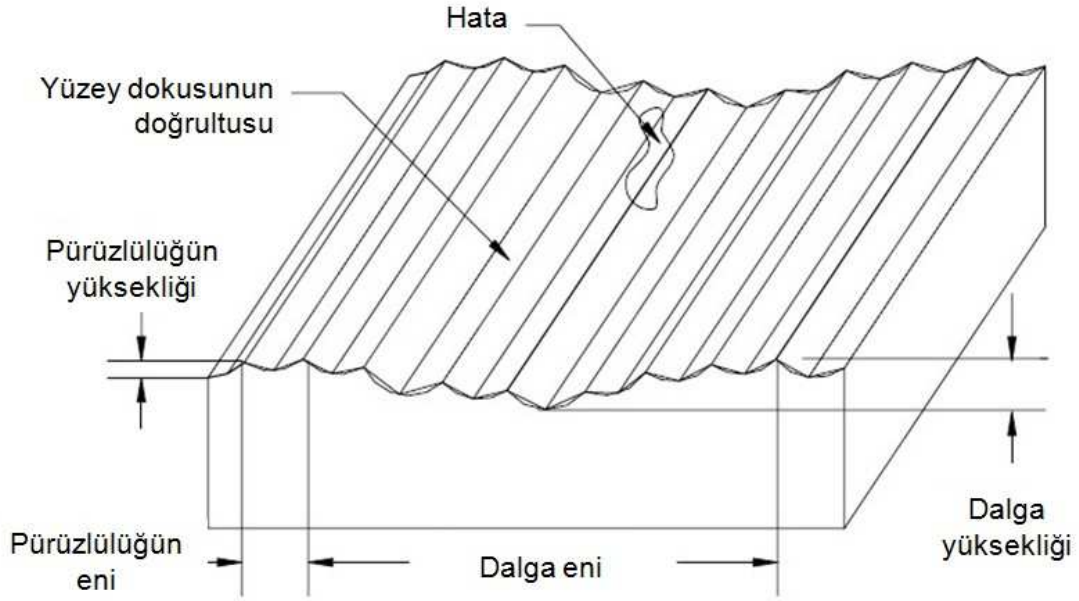
Günümüzde imalat ve otomasyon sektöründe Dünya çapındaki rekabet, özellikle üretimi arttırmak ve kalite üzerinde odaklanmıştır. En sık kullanılan imalat yöntemlerinden biri olan talaşlı şekillendirme konusunda da gidilen nokta; üretimde gerçekleştirilebilecek iyileştirme ve gelişmeler ile birlikte, talaş kaldırılmış yüzeyin kalitesidir (Lou vd., 1998).

Talaş kaldırma işlemlerinin amacı, parçaların; geometrik, boyut ve yüzey bakımından teknik resimlerinde gösterildiği gibi belirli bir doğruluk derecesiyle işlenmesidir. Parçadan talaş kaldırıldıktan sonra, parçanın teknik resmi üzerinde gösterilen ideal şekline göre çeşitli sebeplerden dolayı geometrik, boyut ve yüzey özellikleri bakımından çeşitli sapmalar (hatalar) söz konusu olur. İzin verilen hatalar, toleranslar yardımıyla ifade edilirler ve toleranslar parçanın geometrik, boyut ve yüzey kalitesini oluştururlar.

İşleme kalitesini oluşturan bu öğeler kısaca aşağıdaki gibi belirtilebilirler;

- Boyut kalitesi: Boyut kalitesi, imal edilen parçaların gerçek boyutları ile nominal boyutları arasında izin verilebilen sapmalardır.
- Geometrik kalite: Geometrik kalite, imal edilen parçaların istenen, ideal özelliklerine göre şekil ve konum sapmalarını içine alır. Geometrik kalite; ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksen sapmaları olarak üç grupta ifade edilebilmektedir.
- Yüzey kalitesi: Talaşlı şekillendirme işlemlerinden sonra, işlenen yüzeylerde pürüzlülük ve dalga olmak üzere ideal yüzeyden iki tip sapma meydana gelir.

Yüzeydeki dalgalar aynı zamanda geometrik kalite içerisinde yer aldığından, yüzey kalitesi daha çok yüzey pürüzlülüğü ile ifade edilebilmektedir (Lou vd., 1998).



Şekil 5.1. Yüzeylerdeki pürüzlülük ve dalga profilleri (Lou vd., 1998)

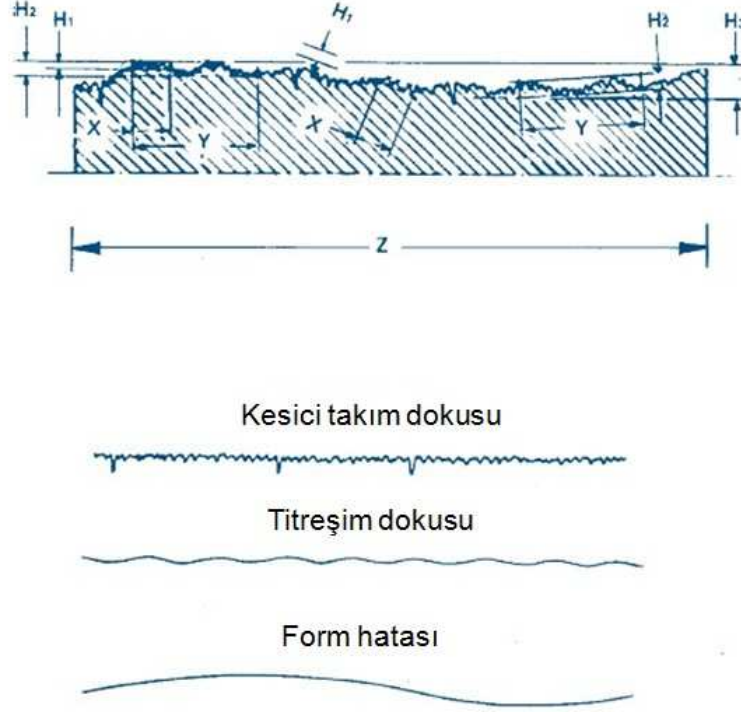
Hatalar ile kalite arasında ters bir orantı vardır. Hatalar ne kadar küçükse (toleranslar sıkı) kalite yüksek, hatalar ne kadar büyükse (toleranslar kaba) kalite düşük olur (Akkurt, 2004). Bu durumda talaşlı şekil verme işleminin yüksek kalitede gerçekleştirilebilmesi için işlemi gerçekleştiren kesici takımların da aynı şekilde yüksek kaliteye sahip olması gereği doğmaktadır.

Frezeleme yöntemi de talaşlı şekillendirme yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntemlerdendir ve yine talaş kaldırılmış yüzeylerin kalitesinin önemli rol oynadığı havacılık, otomotiv, kalıpcılık gibi sektörlerde sürekli kullanım halindedir.

Yöntemle elde edilen yüzeylerin kalitesi frezeleme işleminin performansı ile doğru orantılıdır. İyi kalitede frezelenmiş bir yüzeyde yorulma dayanımı, korozyon dayanımı, sürtünme ömrü gibi özelliklerde iyileşmeler sağlanır. Bunlarla beraber yüzey pürüzlülüğü;

- Sürtünme,
- Aşınma direnci,
- Çekme ve yorulma dayanımı,
- Kullanılacak bir yağlayıcının yüzeyde dağılması veya tutulması,
- Kaplama özellikleri

gibi özelliklere olumlu yönde etki eder (Wang ve Chang, 2004). Elde edilen yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli faktörler ise; kullanılan kesici takımın geometrik özellikleri (yüzey ve profil), kesme derinliği, takım ilerleme ve kesme hızlarıdır (Lou vd., 1998; Akkurt, 2004).

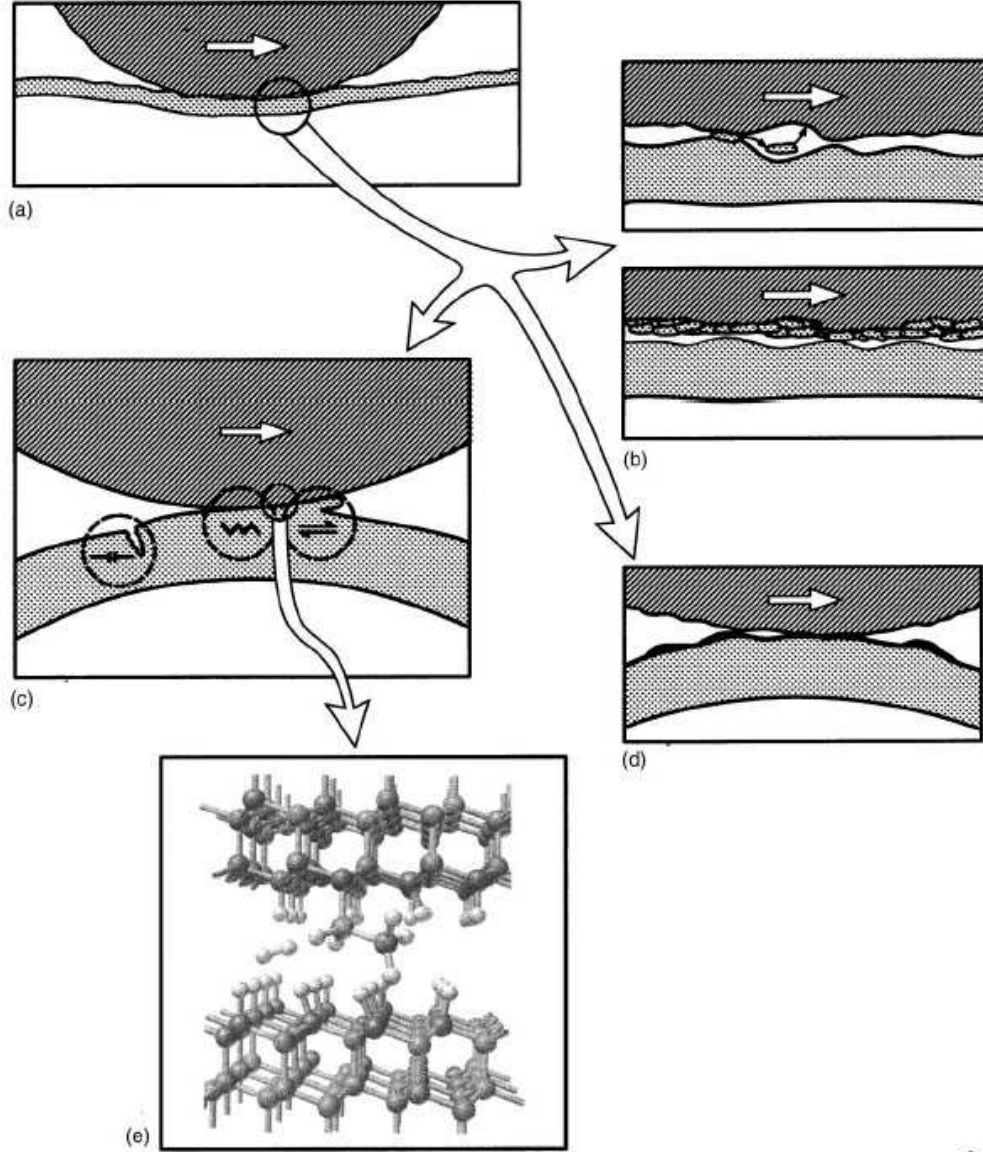


Şekil 5.2. Talaş kaldırılmış yüzeyin pürüzlülük karakterine etki eden önemli faktörlerin görünümü [22].

Kesme takımının yüzey özellikleri ve yüzey geometrisi, şekillendirilen bölge ile temas halinde olduğundan elde edilen yüzeyin özelliklerine doğrudan etki eder. Bu etki daha önce de bahsedilmiş olan yüzey kalitesinde söz sahibidir. Kaplanmış bir takımın yüzey kalitesi, kaplamanın yüzey kalitesini ifade ettiğinden araştırılması önem ihtiva etmektedir. Bununla beraber takım yüzeyinin pürüzlülüğü işlem süresince ortaya çıkan ısı konusunda, mekanik zorlanmaların değişiminde etki sahibidir. Yüksek pürüzlülükle ortaya çıkan yüksek ısı, abrazyon (Holmberg vd., 1998) etkiler talaşlı şekillendirme işlemine ve takım ömrüne olumsuz yönde etki eder. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü, kesme işlemi için uygulanan kuvvetleri de büyük ölçüde etkiler. Bu etki tezgahların şekillendirme için harcadıkları güçten, takım üzerindeki elastik boyut değişimlerine kadar bir çok yerde kendini gösterir (Sokovic vd., 2004).

Kesme takımlarının yüzeyi ile işlenen yüzey arasındaki ilişkinin önemli bir örneği de, söz konusu bölgede gerçekleşen adezyon olayı yani yüzeyler üzerindeki pik noktalarının basınç ve sıcaklık altında kaynamaları, ardından kırılan kaynak bağlantılarının kırılırken kesici takım malzemesini de beraber çıkartmalarıdır (Kopac, 1998). Bu durum takımın aşınmalarına sebep

olurken, takım yüzeyindeki aşınma ve yüzey düzgünsüzlükleri arttıkça talaş kaldırılan yüzeyin pürüzlülük değerleri de artış gösterir (Özçelik ve Bayramoğlu, 2006).



Şekil 5.3. Tribolojik temas mekanizmaları: (a) makromekanik temas, (b) malzeme transferi, (c) mikromekanik temas, (d) tribokimyasal ve (e) nanomekanik temas (Holmberg vd., 1998)

Kesici takımlarda kullanılan kaplamalar belirtilen yüzeyler arasındaki temas şartlarını; sürtünmeye, ısı artışına ve akışına etki ederek değiştirirler. Aşınma mekanizmaları arasında en önde gelen adezyon, abrazyon ve tribo-oksidasyon etkileri yine kullanılan uygun kaplamalarla en aza indirilebilmektedir (Klocke ve Krieg, 1999).

Talaşlı şekillendirme süresince, belirtilmiş olduğu gibi tribolojik bir işlem meydana gelmektedir ve kaplamaların karakteri ve yüzey özellikleri de bu olaylar süresince çok önemli

bir rol oynamaktadır. Bu rolün tribolojik temasın gerçekleştiği kaplama yzeyi ve ozellikleri ile doğrudan ilgili olması s3z konusu yzeylerin incelemelerinin makro 3lekten nano 3leğe kadar geniş bir alanda yapılmasına sebebiyet vermiştir (Holmberg vd., 2000).

5.3. 3l3m Yer ve Ortamı

Çalışma için yapılan 3l3mler Viyana Teknik 3niversitesi Hassas 3l3m Odası ve Nanoteknoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar mikro 3lek altında ve nano 3lekte y3ksek hassasiyetteki 3l3mlerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli uluslararası standartlara uygun olma 3zelliği taşımaktadır.

3l3mlerin y3ksek doğrulukla yapılması ve her 3l3mde aynı sonuçların elde edilebilmesi için, Hassas 3l3m Odası ve Nanoteknoloji Laboratuvarı'nda çeşitli çevresel fakt3rlerin etkisi ortadan kaldırılmıştır;

- Sıcaklık
- Mekanik titreşimler,
- Toz, kirlilik,
- Nem.



şekil 5.4. 3l3mlerin gerçekleştirildiği Viyana Teknik 3niversitesi Hassas 3l3m Odası ve Nanoteknoloji Laboratuvarı'ndan g3r3nt3ler

Çizelge 5.1. Hassas Ölçüm Odası ve Nanoteknoloji Laboratuvarı'nın çeşitli ölçü ve özellikleri

Hassas Ölçüm Odası ve Nanoteknoloji Laboratuvarı'nın çeşitli ölçü ve özellikleri;	
Uzunluk;	12 m
Genişlik;	5,8 m
Yükseklik;	2,8 m
Alan;	70 m ²
Oda Hacmi;	195 m ³
Hava Sirkülasyonu	Her saat 28 defa hava değişimi
Temiz hava oranı;	%18
Referans sıcaklık;	20 °C ±0.1 °C
Bağıl nem	%45 ± 5
Hava filtreleme	%99.97 (0.3 µm'den büyük her toz parçacığı için)
Titreşim izolasyonu 5 Hz'den büyük frekanslar için en yüksek taban amplitüdü	0.05 µm

Nano ölçekte yüksek hassasiyetlerde optik yöntemlerle ve temas yoluyla ölçümler yapan ve çok çeşitli parçaların ölçümlerini yapmayı mümkün kılan cihazlar bodrum katta, çevresindeki yapılardan izole edilmiş olan laboratuvar da yer alır. Laboratuvar oda içinde oda sistemiyle tasarlanmıştır. Sağlam duvarlara ve kalın bir taban plakasına (30 cm) sahiptir, bununla beraber titreşimlerden izole edilmiştir. Sistem; hassas ölçüm odası ve nanoteknoloji laboratuvarı, değerlendirme odası, iç yükselti bölümü, ön oda ve makine odasından oluşmaktadır.

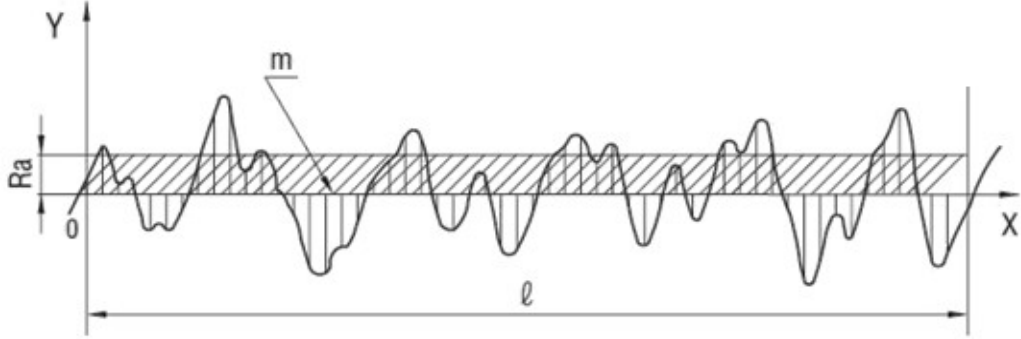
Oda içerisindeki 20 °C ±0.1 °C'lık sabit sıcaklık belli normlara göre güçlü bir klima sistemi ile sabit tutulmaktadır. Bununla beraber 2.8 metre yüksekliğindeki odanın üst kısmında bulunan küçük açıklıklardan uygun hava karışımı oda atmosferine yollanır ve oda içerisinde 0.3 m/s'lik düşük hızda bir hava sirkülasyonu sağlanır.

5.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri ve Ölçüm Cihazı

5.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Deneyde ölçümleri gerçekleştirilmiş olan yüzey pürüzlülüğü parametreleri aşağıda tanımlanmış ve bunlarla beraber, yine ölçümler sonucunda elde edilmiş, profil malzeme oranı gibi verileri aydınlatması açısından ilgili eğriler ve eğri parametrelerine yer verilmiştir.

Ra: İncelenen yüzeyin pürüzlülük ortalamasıdır. İncelenen yüzeydeki düzensizliklere ait ortalama çizgisinin alt ve üstünde kalan noktaları aritmetik ifadesi olduğundan yüzey hakkında genel anlamda iyi bir fikir verir. Bu yüzden sık kullanılan bir parametredir.

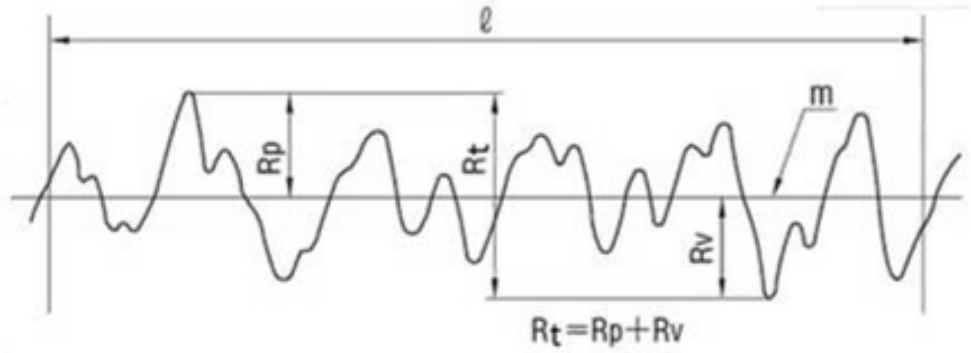


Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülük parametresi Ra [23]

Rp: İncelenen yüzeydeki en yüksek düzensizliğin, tepenin yükseklik değeridir.

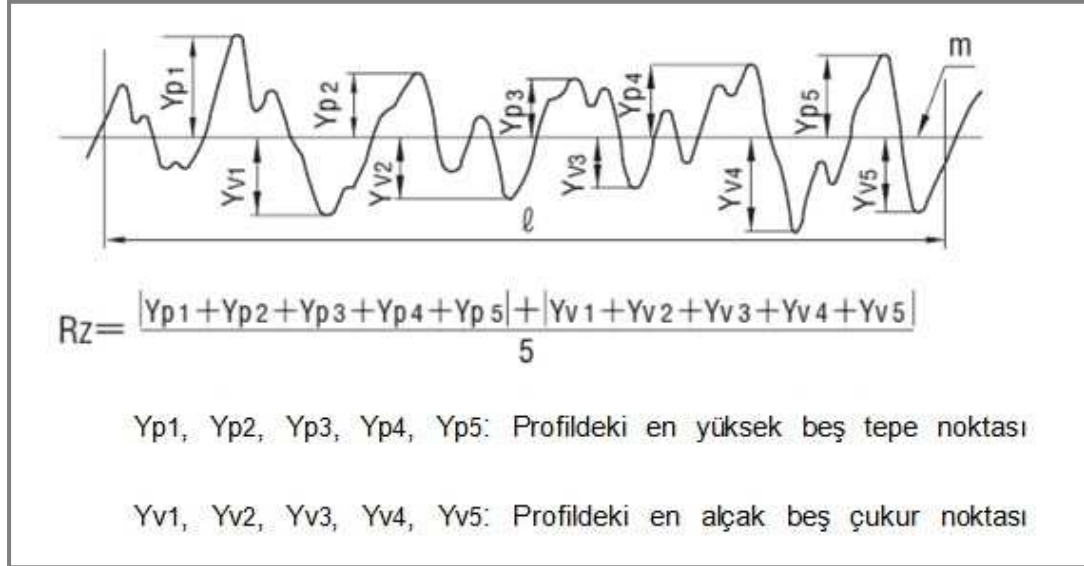
Rv: İncelenen yüzeydeki en derin düzensizliğin, çukurun derinlik değeridir.

Rt: Ölçülen profildeki en derin ve en yüksek düzensizliğin toplam değeridir.



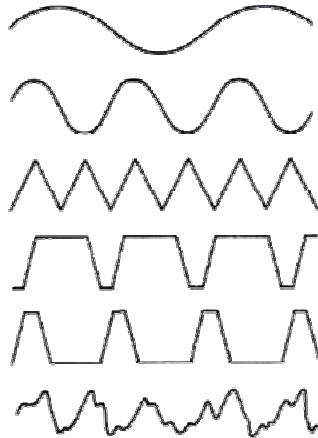
Şekil 5.6. Rp, Rv, Rt yüzey parametrelerinin profil üzerindeki ifadesi [23]

Rz: İncelenen yüzey profili boyunca en yüksek beş tepe ve en düşük beş çukurun toplamının ortalaması olarak ifade edilir [24]



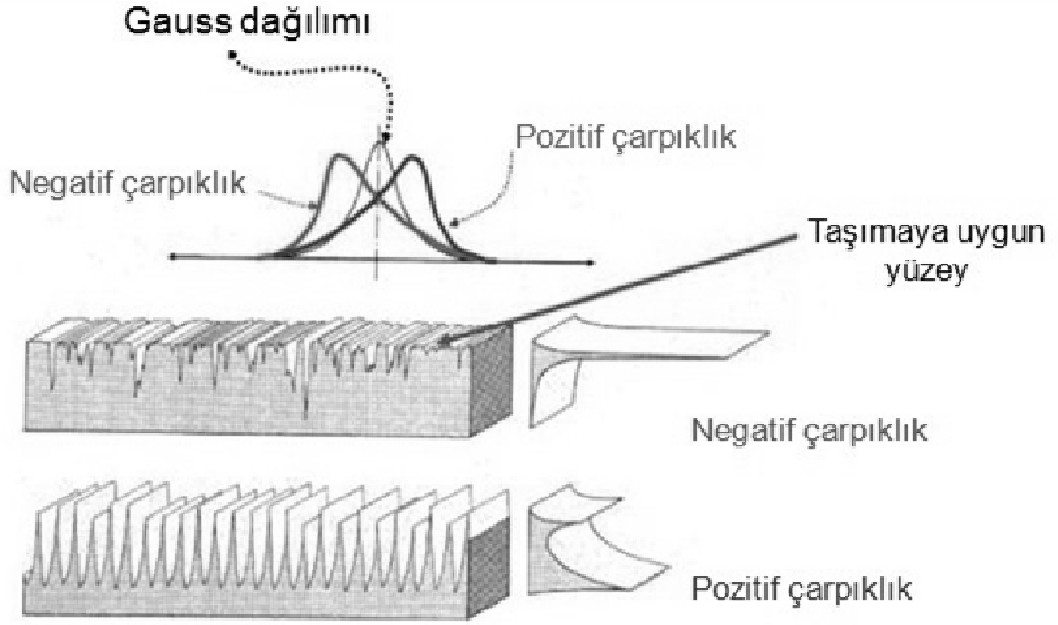
Şekil 5.7. Yüzey pürüzlülük parametresi Rz [23]

Fakat birçok ülke endüstrisinde temel yüzey kalitesi ölçütü olarak kullanılan Ra (Whitehouse, 1997) değerinin de içinde bulunduğu, daha önce anılmış olan parametreler yüzey düzensizliklerinin yüzeydeki yerleşimi ve şekilleriyle ilgili bilgileri barındırmazlar [25].



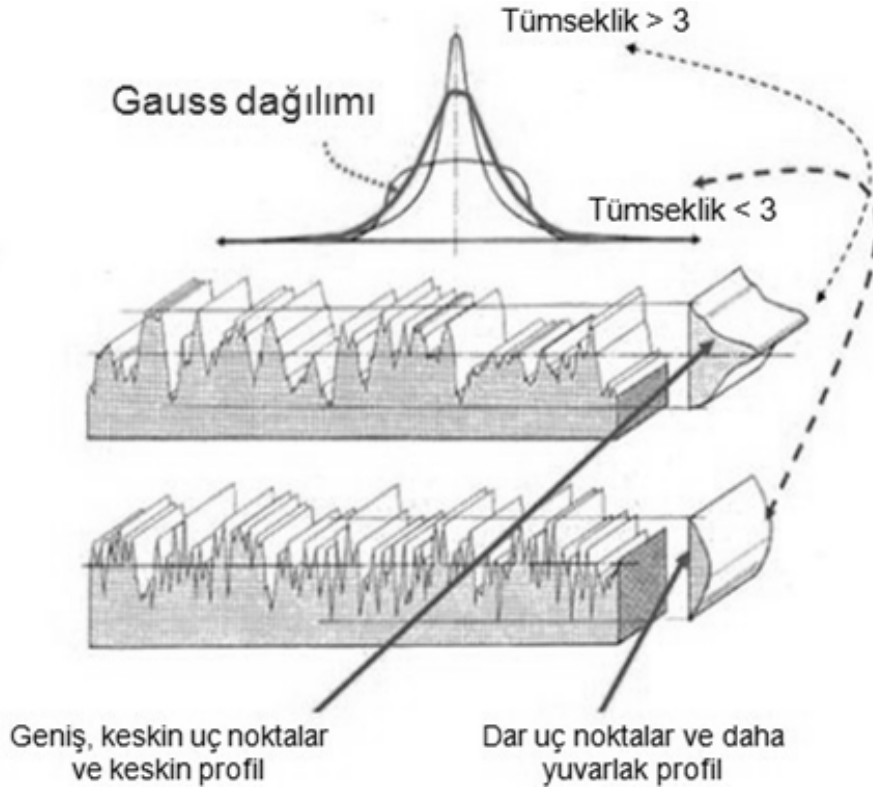
Şekil 5.8. Aynı Ra değerini veren değişik yüzey profilleri (Bhushan, 2001)

Rsk: Profilin çarpıklığını ifade eder ve yükseklik dağılımının yapısı hakkında bilgi verir [26].



Şekil 5.9. Yüzey profilinde çarpıklığın ifadesi [25]

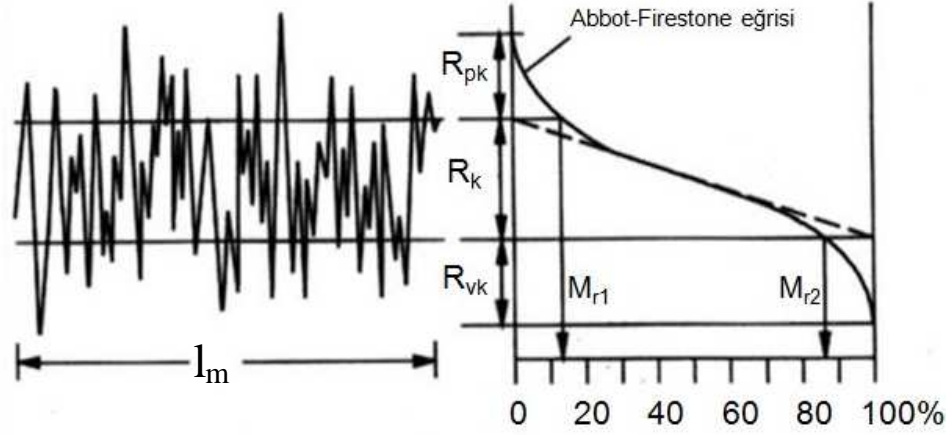
Rku: Profilin tümsekliğidir. Profildeki pik noktalarının dağılımının sivriliği olarak da ifade eder (Bhushan, 2001).



Şekil 5.10. Tümsekliğin yüzey profilleriyle ifadesi. $Rku=3$ değeri Gauss dağılımı için sınır değer niteliğindedir [25]

Profildeki yükseltmelerin dağılımları, yönleri ve yoğunlukları malzemenin üzerine gelen yükü taşıma davranışı ile doğrudan ilgilidir. Bu durum malzeme yüzeyinin tribolojik özellikleri konusunda önem taşır.

Bu noktada devreye yüzeydeki malzeme doluluğu oranını ya da malzeme oranını veya taşıma oranını ifade eden Abbott-Firestone eğrisi girmektedir. Yataklar, burçlar ve kaplamalar gibi konularda uygulamaları söz konusudur [24].



Şekil 5.11. Malzeme oranı veya taşıma oranını ifade eden Abbot-Firestone eğrisi [26]

Şekil 5.11.'de yer alan R_k ; çekirdek pürüzlülük derinliği profilinin derinliğini, R_{pk} ; çekirdek pürüzlülük derinliğinin üstüne çıkan tepe noktalarının yüksekliğini, R_{vk} ; çekirdek pürüzlülük derinliğinin altına inen çukur noktalarının derinliğini, M_{r1} ve M_{r2} ; profilin pürüzlülük çekirdeğindeki en düşük ve en yüksek malzeme oranını belirtirler [26].

Deneyler süresince her ölçüm pozisyonundan 5 ölçüm alınmıştır. Sonuçlar; R_a , R_t ve R_z yüzey parametreleri ile ifade edilmiş ve her kesici takım için yüzey profili eklenmiş, her tip kaplama için ise malzeme oranı eğrisi, profili belirtilmiştir.

5.4.2. Ölçüm Cihazı

Deneyde ölçümler Taylor Hobson Form Talysurf Intra cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz, parça üzerinde istenen mesafedeki dokunuşla yüksek hassasiyette;

- *Yüzey pürüzlülüğü*; talaş kaldırma gibi işlemlerden sonraki yüzey kalitesinin tespiti için gerçekleştirilen ölçümler gibi,
- *Dalgalık ölçümleri*; takım tezgahlarının rijit olmaması veya titreşimi sebebiyle ortaya çıkabilen yüzey dalgalarının ölçümleri gibi,
- *Form*; kesici takımlardaki geometrik hatalar gibi sebeplerden ortaya çıkabilen küresellik, düzlük, koniklik gibi istenen yüzey formlarından sapmaların ölçümleri gibi,
- *Boyut*; yarıçap, açısal büyüklükler, mesafe gibi özelliklerin ölçümleri gibi,

amaçlar için kullanılabilir [27].

Ölçümler yüzey araştırması yapılacak olan parçanın iyi şekilde sabitlenip, cihazın elmas ucunun istenen bölgeye temas ettirilmesi ile başlar. Temas işlemi gerçekleştirildikten sonra ölçüm için istenen mesafe (ölçümler süresince 2mm olarak alınmıştır) ayarlanır ve ölçüme başlanır. Ölçüm cihaza takılı iğnenin ayarlanan mesafe kadar yüzeyde temas halinde hareket etmesi ile gerçekleşir. Ölçümden sonra cihazın bilgisayar programından gerekli bilgiler, istenilen şekilde elde edilir ve kaydedilir.

Ölçüm için seçilen yüzeyler mümkün olduğunca kesici takımların kesici bölgelerinden elde edilmiştir. Bazı durumlarda ölçüm yapılan kesici takımların geometrilerinin, cihazın ölçüm iğnesi ile istenen bölgeye ulaşmasına engel olabildiği not edilmelidir. Ayrıca kesici takımların kesme ağızlarının çok keskin olması, iğneye zarar verilmemesi açısından, bölgeye yaklaşılmasını zorlaştırmış fakat yine çok yakın bölgelerden ölçümler alınabilmiştir.

Ölçümler süresince dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, ölçülen parçanın hareketsiz durmasıdır. Bu durumun sağlanabilmesi için şekil 5.13'te bir örneği görülebilen ek sabitleme aparatları kullanılmıştır.

Ölçüm hassasiyeti çok yüksek olduğundan ölçülecek bölge ile el ve ten temasından kaçınılmış, laboratuvar ortamında gerektiği durumlarda sürekli eldiven kullanılmıştır.

Ayrıca ölçümlerin ardından yüzey üzerinde daha çok fikir sahibi olabilmek amacıyla, yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılan tüm kesici takımların yüzeylerinden CCD kamera kullanılarak 500 ve 1000'er kez büyütme yapılarak görüntüler alınmıştır.



Şekil 5.12. Yüzeý incelemelerinin gerçekleřtirildiđi Viyana Teknik Üniversitesi Hassas lm Odası ve Nanoteknoloji Laboratuvarı'nda bulunan Taylor Hobson Form Talysurf Intra cihazı



Şekil 5.13. Kesici takımların ölüm sırasında sabitlenmesi için kullanılan deney aparatlarından birinin görünümü

Çizelge 5.2. Taylor Hobson Form Talysurf Intra'nın performans özellikleri [27]

Yatay performans	
İnceleme mesafesi	0.1 mm'den 50 mm'ye kadar
İnceleme/ ölçüm hızı	10 mm/s-1mm/s
Bilgi örnekleme aralığı (X doğrultusunda)	0.5µm
Düzlük hatası	50mm'de 0.4µm Her 20mm'de 0.2µm
Düşey performans	
Nominal ölçüm aralığı (Z)	1mm
Çözünürlük	1 mm menzilde 16 nm 0.2 mm menzilde 3 nm
Menzil çözünürlük oranı	65,536 /1
Ucun kol uzunluğu	60 mm
Uç genişliği	2µm (konik-küresel, elmas)
Uç kuvveti	1 mN
Sistem Performansı	
Yarıçap ölçüm belirsizliği	0.1 - 12.5mm = %2 - %0.04 nominal 12.5 - 25mm= %0.04 nominal 25 - 1000mm = %0.04 - 0.2% nominal
Açı ölçüm belirsizliği	Ölçülen açının %1'i içinde
Ölçüler L x D x H	İnceleme ünitesi 343 x 116 x 160mm Kontrol modülü 285 x 200 x 80mm
Kütle	İnceleme ünitesi 4.9 kg Kontrol modülü 1.9 kg
Analizler	
Temel parametreler	Pa, Pc, Pda, Pdc, Pdq, PHSC, Pku, Pln, Plo, Plq, Pmr(c), Pmr, Pp, PPc, Pq, PS, Psk, Psm, Pt, Pv, Pvo, Pz, Pz(JIS)
Yüzey pürüzlülüğü parametreleri	R3y, R3z, Ra, Rc, Rda, Rdc, Rdq, RHSC, Rku, Rln, Rlo, Rlq, Rmr(c), Rmr, Rp, Rp1max, Rpc, Rq, RS, Rsk, RSm, Rt, Rv, Rvo, Rv1max, Rz, Rz(DIN), Rz(JIS), Rz1max
Dalgalılık parametreleri	Wa, Wc, Wda, Wdc, Wdq, WHSC, Wku, Wln, Wlo, Wlq, Wmr(c) Wmr, Wp, Wpc, Wq, WS, Wsk, Wsm, Wt, Wv, Wvo, Wz

CCD kamera Şekil 5.14'te görüldüğü gibi, incelenen parçayı yatayda ve CCD kamerayı düŐeyde hareket ettirebilen bir tezgah üzerine oturtulmuŐtur. Tezgahın  ekseninde ilerleme sağlayan esas ilerleme kollarının varlığının yanı sıra, hassas hareketlerin ve ilerlemelerin gerçekleştirilebilmesi için yatay düzlemde ve CCD kamera ekseninde etrafında ilerleme sağlayan ek kontrol kolları vardır.

CCD kamera ile ölçüm yapılmadan önce titiz davranılması gereken bir husus, kesici takımların temizliği olmuştur. Bu durumun sebebi; incelenmek istenen bölgelerde bulunabilen ve gözle fark edilemeyecek zerrelere, 1000 kez ve 500 kez büyütme işlemi yapıldıktan sonra elde edilen görüntülerin kalitelerini önemli miktarda düŐürmeleridir.



Şekil 5.14. Kesici takımların yüzeylerinin incelenmesinde kullanılan CCD kamera

5.5. Deneylerde Kullanılacak Kesici Takımların Kaplama ve Malzeme Bilgileri

Deneylerde 7 adet kaplamalı 4 adet kaplamasız olmak üzere toplam 11 kesici takım kullanılmıştır. Kesici takımlar isimleri ile beraber şekil 5.15'te görülmektedir.



Şekil 5.15. Yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılan kesici takımların görünüşleri ve isimleri

5.5.1 Kaplamaların İçerikleri, Özellikleri ve Kaplama İşlemleri

5.5.1.1. Kaplama İşlemleri

Deneyde kullanılan kesici takımlar için beş tip kaplama kullanılmış, bunlarla beraber değişik kaplamalara sahip takımların kaplamasız tipleri de incelenmiştir. Kaplamalar X,Y,Z,T ve elmas kaplama olarak anılacaklardır. Deneyde kullanılan takımlar ve kaplamaları çizelge 5.3'te ifade edilmektedir.

Çizelge 5.3. Deneyde kullanılan kesici takımların isimlendirilmesi ve sahip oldukları kaplamaların ifadesi

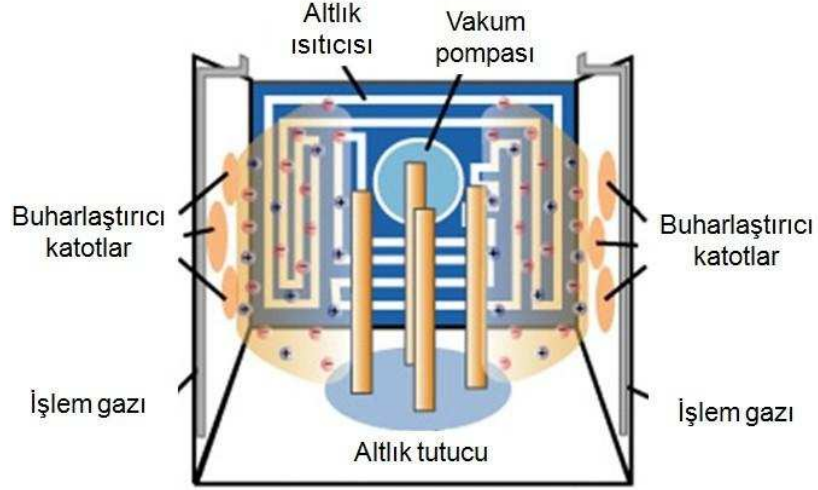
Kesici Takım İsmi	Kaplama Türü
1L	Elmas
1SZ	Kaplamasız
2L	Z
2SZ	Kaplamasız
3L	T
3SZ	Kaplamasız
4L	X
4SZ	Kaplamasız
5L	Y
6L	X
7L	X

X, Y ve Z kaplamalarının oluşturulması işlemi; yerleştirilmiş katot malzemelerinin oluşturulan ark ile buharlaştırılması ve vakum altında, altlıkların kaplanması şeklinde gerçekleştirilen bir fiziksel buhar biriktirme işlemidir (PVD). Kaplama işleminin gerçekleştirildiği cihaz, uygun malzemelerin yüksek yoğunluk ve düzgünlükte biriktirilebildiği özel bir ark kaplama sistemine sahiptir. Yöntem ve cihaz ile oldukça düşük sıcaklıklarda yüksek biriktirme hızlarına ulaşılabilmektedir. Yine bu ekipman ile plazma nitrüleme işlemi de gerçekleştirilebilmektedir. Cihaz ve sistem ile 2L, 4L, 5L, 6L, 7L kesici takımları kaplanmıştır.

Kaplama işlemi özel katotların seçilip yerleştirilmesi ile başlar. Kaplamanın türüne göre; kaplama odasının sıcaklığı, katotların kullanım sıraları ve süreleri önceden hazırlanmış bir program ile ayarlanmaktadır. Kaplama işlemi başlamadan önce 600 °C civarında bir sıcaklıkta Ar gazı eşliğinde belli bir gerilim ile katotlar temizlenir. Daha sonra ise önceden çeşitli kimyasallar ve suyla, yağ ve pisliklerden arındırılan kesici takımların kaplanması işlemi başlar. Kaplama işlemi deneyde kullanılan kesici takımlar için 3-6 mbar basınçta gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık değerleri ise katotların temizlenme sıcaklığı da dahil edildiğinde 400-600 °C aralığındadır. Cihazın sahip olduğu yüksek kapasiteye sahip vakum ve ısıtma aparatları ile kaplama çevrimleri de oldukça kısa sürede gerçekleştirilir (Şekil 5.16 ve 5.17).



Şekil 5.16. X,Y,Z kaplamalarının gerçekleştirildiği kaplama cihazı

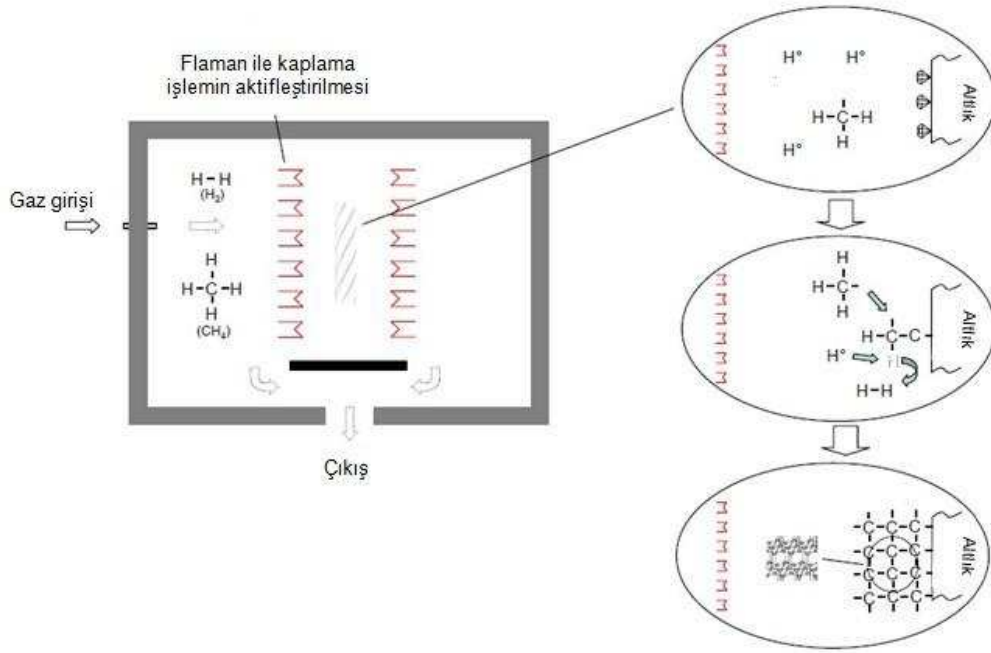


Şekil 5.17. X,Y,Z kaplamalarının gerçekleştirildiği PVD işlemi

Sistem ile TiN, TiCN, CrN, ZrN, CrCN, TiAlN, AlTiN kaplamalar ile çok sayıda nano ölçekte katmanlardan oluşan ve deneyde incelenecek olan X,Y,Z gibi özel kaplamalar oluşturulabilmektedir.

T kaplamasının oluşturulması; yine X,Y,Z kaplamaları gibi PVD işlemi ile gerçekleştirilmiştir. 3L Kesici takımının kaplanması kullanılmıştır.

Elmas kaplamanın oluşturulması ise; sıcak flaman CVD yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. İşlem vakum ortamındaki kaplama odasına metan gazı gönderilmesi ve flamanın yüksek sıcaklığının etkisiyle aktifleşen C atomlarının H atomlarından ayrılarak, altlık malzeme yani kesici takım üzerine elmas dizilimine benzer bir dizilimle (Şekil 5.18) birikmesiyle oluşturulmuştur. Elde edilen kaplama nano kristallerden oluşturulmuştur. Kaplama, 1L isimli kesici takımın kaplanması kullanılmıştır.



Şekil 5.18. 1L kesici takımının kaplanması [28]

5.5.1.2. Kaplamaların İçerikleri, Özellikleri

X Kaplaması: X kaplaması kesici takım 4L,6L ve 7L'nin kaplanması için kullanılmıştır. Kaplama, AlTiN ve ek bir elementin katkısı ile oluşturulmuş ve işlem ortalama 500°C'ta gerçekleştirilmiştir. Kaplama, sıralı nano ölçekli tabakalardan oluşturulmuştur. Kaplama bu yönüyle çok katmanlı kaplama niteliği taşımaktadır. Kaplamalar toplamda 2-4 µm'lik kalınlığa sahiptir. Antrasit rengindedir.

Y kaplaması: Y kaplaması kesici takım 5L'nin kaplanması için kullanılmıştır. Kaplama AlTiN ve X'de kullanılan farklı bir ek bir elementin katkısı ile oluşturulmuştur ve işlem yine benzer sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Bu kaplama da, sıralı nano ölçekli tabakalardan oluşturulmuştur. Kaplama bu yönüyle çok katmanlı kaplama niteliği taşımaktadır. Kaplamalar toplamda 2-4 µm'lik kalınlığa sahiptir. Antrasit rengindedir.

Z Kaplaması: Z kaplaması 2L isimli takımın kaplanması için kullanılmış, ZrN ve iki ek elementin katkısı ile oluşturulmuş yine nano ölçekte gerçekleştirilmiş çok katmanlı bir kaplamadır. Kaplama 450-500 °C arasında gerçekleştirilmiştir. Bu kaplama alüminyum malzemelerden talaş kaldırmak için kullanılmaktadır.

T Kaplaması: T kaplaması ise 3L kesici takımının kaplanması için kullanılmış, AlTiN ve ek bir elementin katkısı ile oluşturulmuş nano ölçekte gerçekleştirilmiş üç katmanlı bir kaplamadır.

Kaplamaların sertlikleri, renkleri, kullanılabilirlikleri sıcaklık limitleri gibi bilgiler çizelge 5.4.'te ifade edilmektedir. Bununla beraber kaplamalar; düşük kalıntı gerilme, kimyasal stabilite gibi talaş kaldırma işlemi ve takım ömrü açısından önemli özelliklere sahiptirler.

Çizelge 5.4. Deneide kullanılan kesici takımların kaplamalarının çeşitli özellikleri

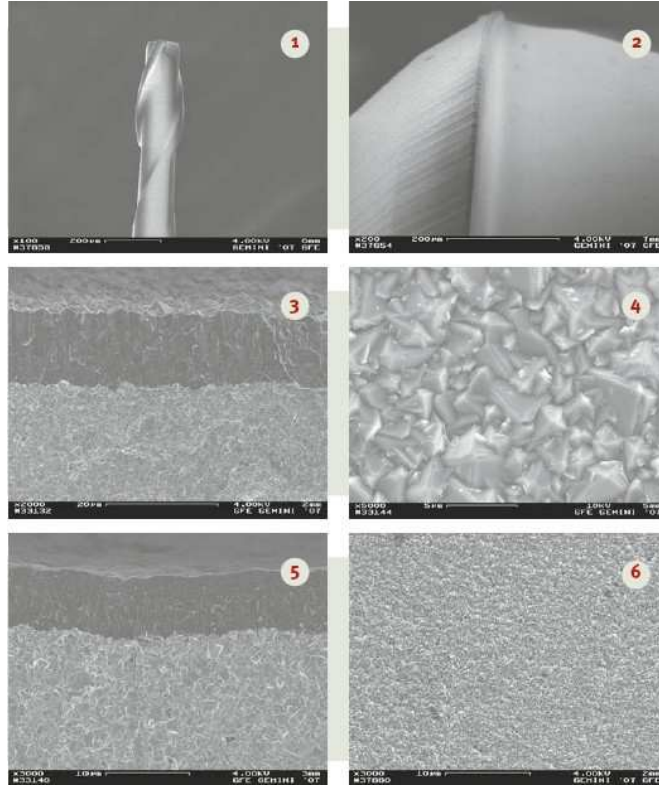
	Kaplama X	Kaplama Y	Kaplama Z	Kaplama T
Kaplama Malzemesi	Alüminyum titanyum nitritür + ek bir element	Alüminyum titanyum nitritür + bir ek element	Zirkonyum nitritür +iki ek element	Alüminyum titanyum nitritür + ek bir element
Teknoloji	Ark buharlaştırma PVD	Ark buharlaştırma PVD	Ark buharlaştırma PVD	-
Mikro sertlik HV0.05	3300 ± 300	3500 ± 500	2800 ± 300	3800
Çeliğe karşı sürtünme katsayısı (kuru)	0.7	0.7	0.5	-
Kaplama kalınlığı ⁽¹⁾ (µm)	1 – 3	1 – 3	1 – 4	-
Sıcaklık eşiği	800°C	900°C	600°C	1100°C
Kaplamanın rengi	Antrasit	Antrasit	Açık sarı	Patlıcan moru
Kaplama karakteristikleri	Yüksek sertlik ve oksidasyon direnci	Yüksek sertlik, yüksek sıcaklıkta yüksek aşınma dayanımı ve oksidasyon direnci	Dekoratif renk, İyi aşınma ve korozyon dayanımı	Yüksek sertlik, yüksek sıcaklıkta yüksek aşınma dayanımı, düşük ısı iletimi

⁽¹⁾ Kaplanan takımın boyuna göre değişiklik gösterir

Araştırmada incelenen bir başka kaplama türü de nano kristalli elmas kaplamadır. Söz konusu kaplama daha önce belirtildiği gibi sıcak flaman CVD yöntemiyle gerçekleştirilmiştir ve kullanıldığı kesici takımlarda yüksek sertlik sağlar (10000 HV0,05'lik mikro sertlik değerlerine kadar) [28]. Aynı üretici tarafından gerçekleştirilmiş nano ölçekte kristaller bulunduran bu kaplama ile daha üst ölçekte kristallerden meydana gelmiş kaplamaların karşılaştırılması şekil 5.19'da ifade edilmiştir. Görüntüler SEM ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.5. Deneyde incelenecek kaplamaların genel uygulamaları

Kaplamalar	Kaplamaların temel uygulamaları
Kaplama X	<ul style="list-style-type: none"> • Diğer kaplamaların sınırlarını aşan yüksek ısıl ve mekanik zorlamalarda kullanılır • Sertleştirilmiş çelik iş parçalarından talaş kaldırma • Karbür kesici takımlarda kullanım • Yüksek hızlı, kuru talaş kaldırma işlemlerinde
Kaplama Y	<ul style="list-style-type: none"> • Sert ve abrazif malzemelerden yüksek hızda talaş kaldırma gibi zor şartlar altındaki işlemlerde, • Sertleştirilmiş çeliklerden talaş kaldırma işlemlerinde (> 54 HRC),
Kaplama Z	<ul style="list-style-type: none"> • Alüminyum ve diğer demir dışı metallere talaş kaldırma işlemlerinde • Fiberglas, naylon ve bir çok türden polimerden talaş kaldırma işlemlerinde, • Medikal uygulamalarda (biyoyum, korozyon dayanımı) • Dekoratif uygulamalarda



Şekil 5.19. Nano ölçekte kristallerden oluşturulmuş elmas kaplama ve üst ölçeklerde kristallerden oluşturulmuş elmas kaplamanın (nano-üstü) görünümleri., (2) kesici takımın kesme kenarının görünümü, (3) nano-üstü kristalli elmas kaplamanın kesit görünümü, (4) nano- üstü kristalli elmas kaplamanın yüzey görünümü, (5) nano kristalli elmas kaplamanın kesit görünümü, (6) nano kristalli elmas kaplamanın yüzey görünümü [28]

5.5.2. Deneyde Kullanılan Kesici Takımların Malzeme Özellikleri

Yüzey pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilen kesici takımlar üç farklı sert metal malzemelerden üretilmişlerdir. Söz konusu malzemeler M1, M2, M3 olarak isimlendirileceklerdir (Çizelge 5.6.). Malzemeler nano ölçekte boyutlara sahip tanecikler içermektedirler.

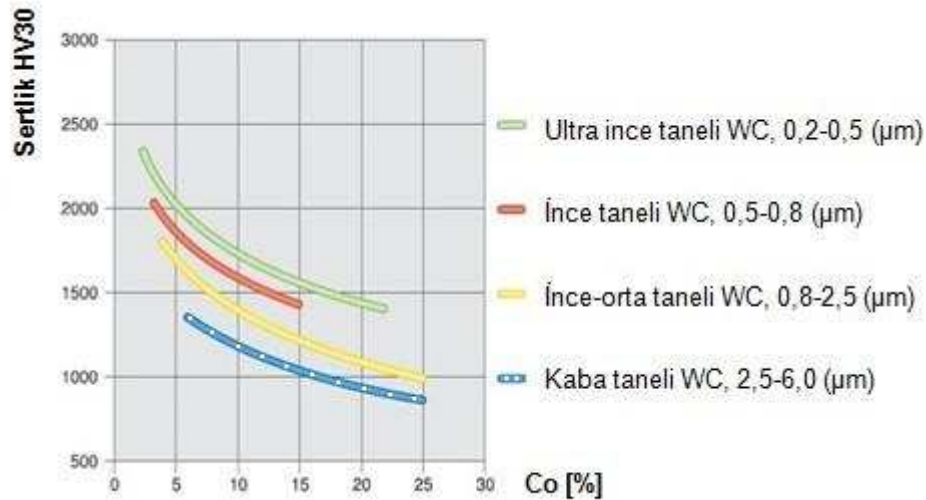
Çizelge 5.6. Deneylerde kullanılan kesici takımlar ve imal edildikleri malzemeler

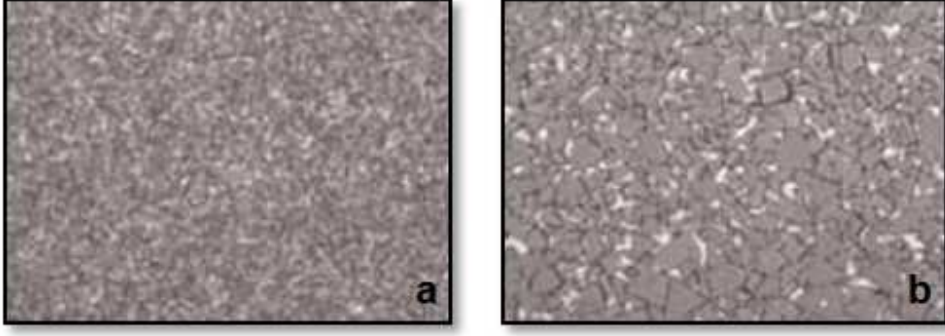
Kesici takım isimleri	1L,1SZ	2L,2SZ	3L,3SZ	4L,4SZ	5L	6L	7L
İmallerinde kullanılan malzemeler	M2	M1	M2	M3	M3	M3	M3

Çizelge 5.7. Deneylerde kullanılan kesici takımların imalinde kullanılan malzemelerin çeşitli özellikleri

Malzeme Özellikleri	M1	M2	M3
%WC	94	91,8	88
%Co	6	8,2	12
Tane büyüklüğü (μm)	-	0,2-0,5	0,2-0,5
Yoğunluk (g/cm^3)	-	14,55	14,10
HV30 sertliği	-	1930	1730
Kopma dayanımı	-	4400 N/mm^2	4600 N/mm^2

Çizelge 5.8. Sert metallerin tane büyüklüklerine ve %Co miktarına göre sertlik değişimlerinin ve değerlerinin ifadesi





Şekil 5.20. M2 ve M3 (a) sert metal kesici takım malzemelerinin “ultra ince taneli” (200-500 nm) ve iri taneli (2,5 - 6,0 μm) sert karbür mikro yapılarının görünümü

6. ÖLÇÜM SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

6.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Sonuçları

Daha önce çeşitli özellikleriyle ifade edilmiş malzemelerden ve kaplamalardan meydana getirilmiş kesici takımların yüzey pürüzlülüğü ölçümleri nano ölçekte sistematik olarak gerçekleştirilmiş, sonuçları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

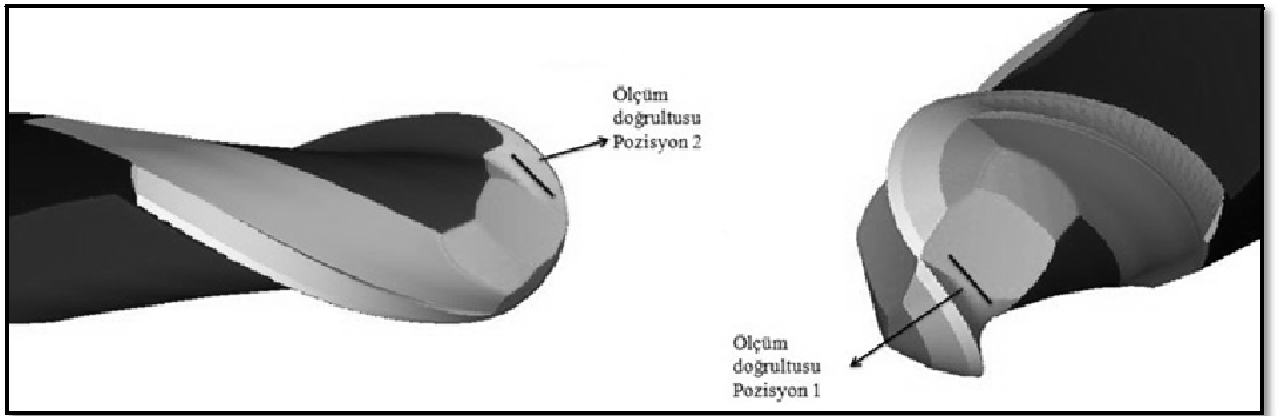
Deneyler süresince her pozisyondan 5 ölçüm alınmıştır. Sonuçlar; Ra, Rt ve Rz yüzey parametreleri ile ifade edilmiş ve ayrıca her pozisyon için elde edilen değerlerin ortalamaları, standart sapmaları hesaplanmıştır.

Ölçüm sonuçları ile beraber her bir kesici takım için örnek bir yüzey profili görünümü eklenmiş ve ayrıca her tip kaplama için birer tane malzeme oranı eğrisi, profili verilmiştir.

Ayrıca kaplamalı ve kaplamasız tüm kesici takımların yüzeylerinin daha iyi incelenebilmesi amacıyla takım üzerinde gösterilmiş bölgelerinden alınmış 500 ve/veya 1000'er kez büyütülerek elde edilmiş görüntüler eklenmiştir.

6.1.1. Kesici Takım 1L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

M2 malzemesiyle imal edilmiş (çizelge 5.7) ve nano kristalli elmas kaplama ile kaplanmış kesici takım 1L'nin ölçüm pozisyonları, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görüntüleri aşağıda verilmiştir.

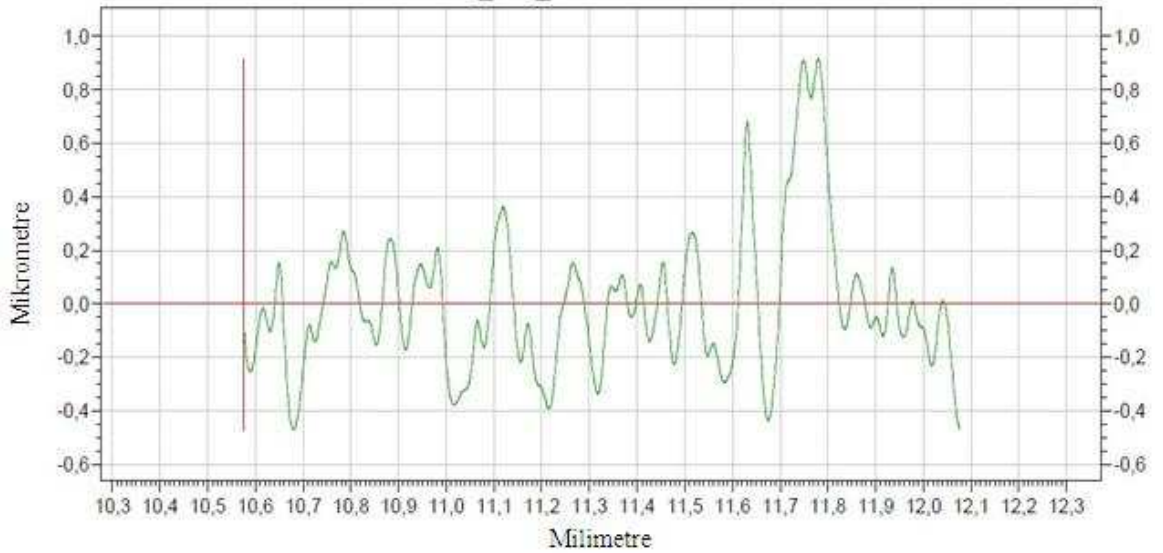


Şekil 6.1. Kesici takım 1L ve 1SZ'den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi

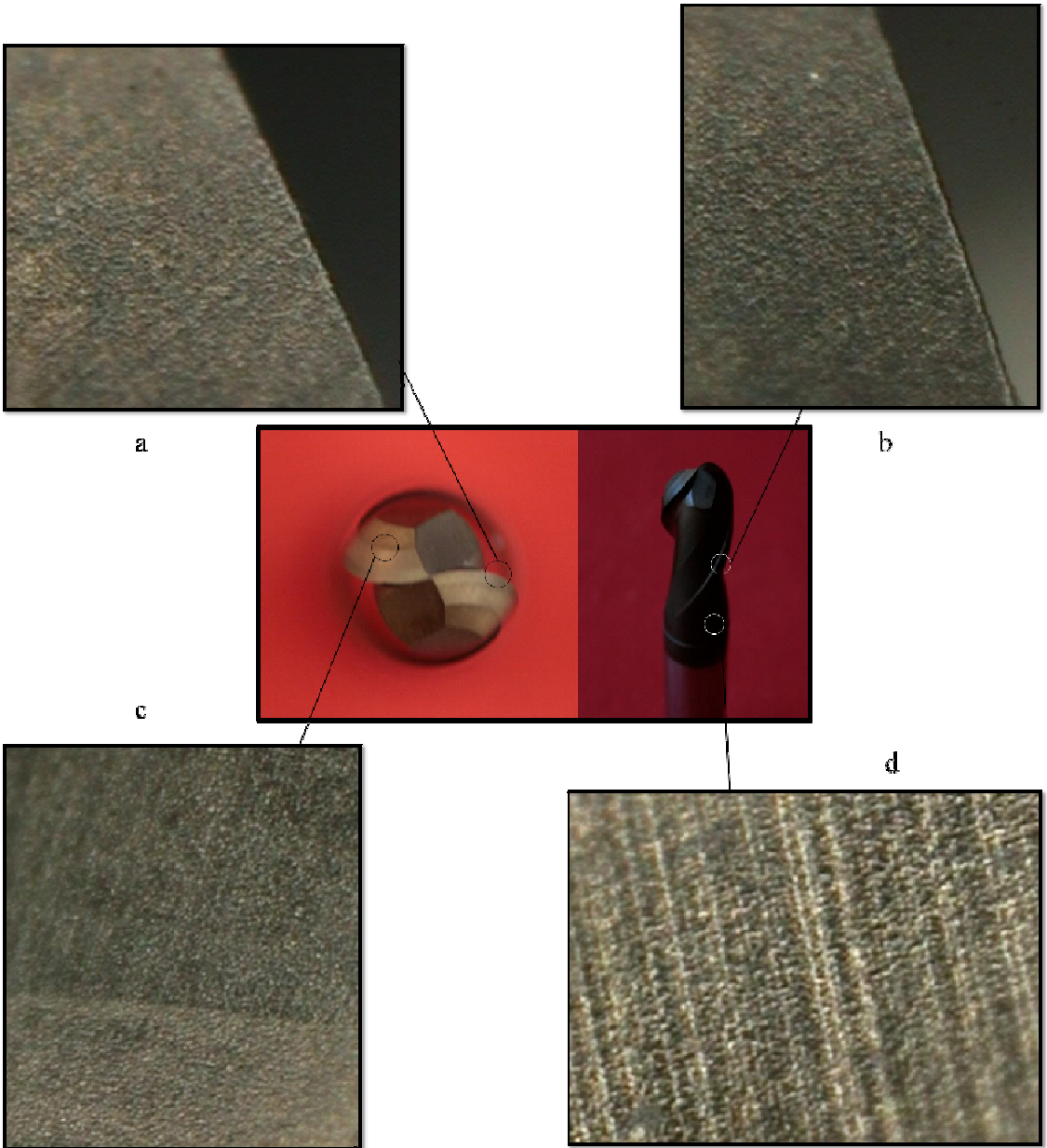
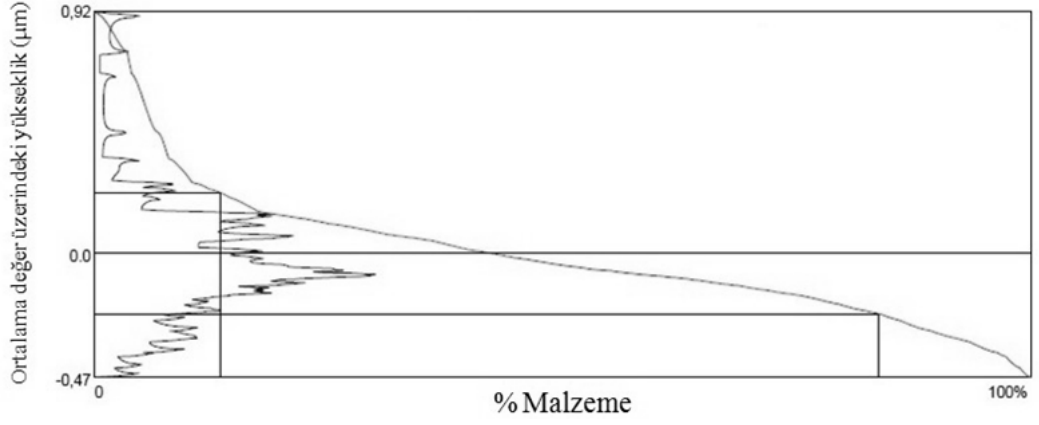
Çizelge 6.1. Kesici takım 1L'nin yukarıda belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Kesici Takım 1L (Kaplanmış)	Ra (μm)	Rt (μm)	Rz (μm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,2393	3,3270	1,1981
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,2024	2,5217	1,0323
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,1770	2,4385	0,9229
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,1978	2,5176	0,9804
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,1820	2,5328	0,9719
Ortalama Değerler	0,1997	2,6675	1,0211
Standart Sapma	0,0245	0,3706	0,1063
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,1735	1,0872	0,7385
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,1737	1,2229	0,8066
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,1654	1,2493	0,7700
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,2129	1,7743	0,8970
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,1949	1,3884	0,7676
Ortalama Değerler	0,1841	1,3444	0,7959
Standart Sapma	0,0195	0,2630	0,0614

Çizelge 6.2. Kesici takım 1L'nin 2. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü



Çizelge 6.3. Kesici takım 1L'nin 2. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen malzeme oranı değerleri; $%M_{r1}= 13.5$, $%M_{r2}= 83.7$



Şekil 6.2. Kesici takım 1L'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri



Şekil 6.3. Kesici takım 1L'nin üzerindeki elmas kaplamasının 1000 kez büyütülmüş görünümü

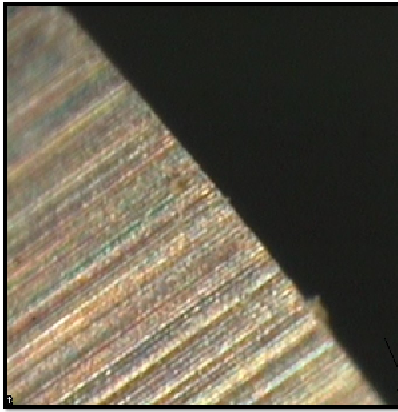
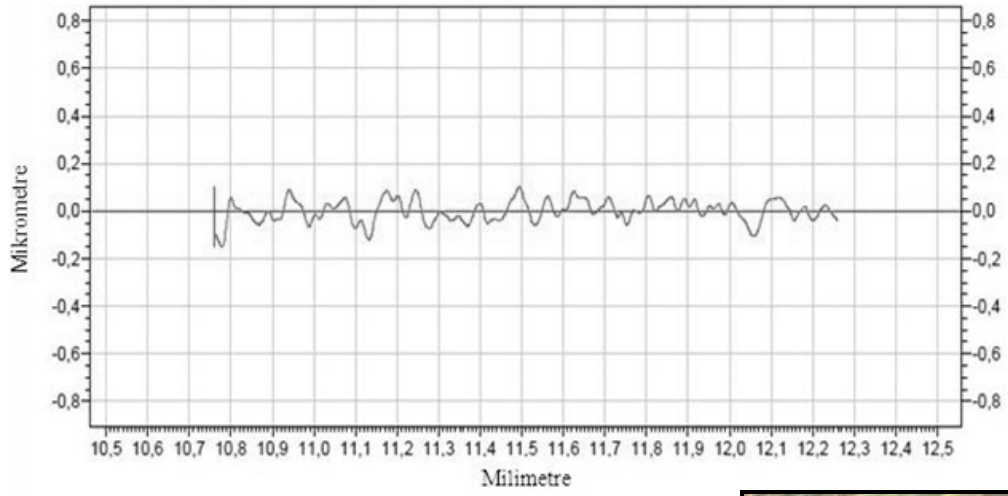
6.1.2. Kesici Takım 1SZ Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

M2 malzemesiyle imal edilmiş kesici takım 1SZ, kesici takım 1L'nin kaplamasız örneğidir. 1SZ'nin ölçüm pozisyonları şekil 6.1.'de, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görüntüleri ise aşağıda verilmiştir.

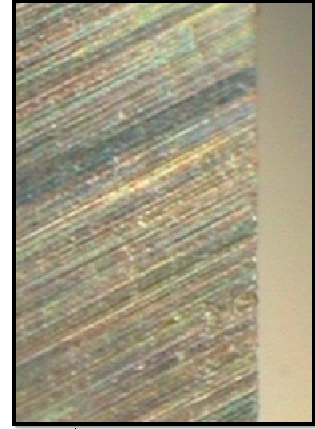
Çizelge 6.4. Kesici takım 1SZ'nin şekil 6.1.'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Kesici Takım 1SZ (Kaplanmamış)	Ra (µm)	Rt (µm)	Rz (µm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,1092	0,7243	0,5264
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,1093	0,7768	0,5030
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,0893	0,6314	0,4316
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,1134	0,8773	0,5322
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,0972	0,7525	0,4823
Ortalama Değerler	0,1037	0,7525	0,4951
Standart Sapma	0,0101	0,0889	0,0407
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,0364	0,2548	0,1705
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,0339	0,2495	0,1504
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,0351	0,2148	0,1457
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,0360	0,2878	0,1600
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,0534	0,3440	0,1915
Ortalama Değerler	0,0390	0,2702	0,1636
Standart Sapma	0,0081	0,0487	0,0183

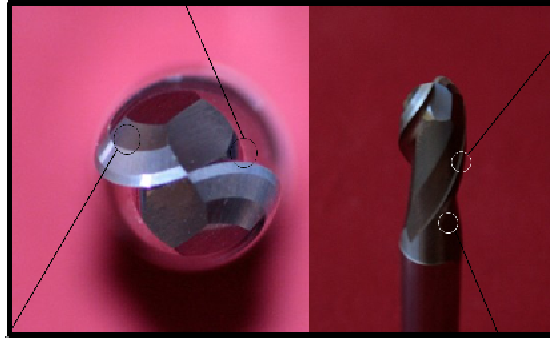
Çizelge 6.5. Kesici takım 1SZ'nin 2. pozisyonundaki, 1. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü



a

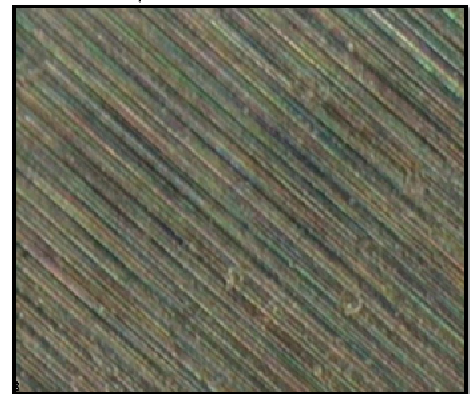
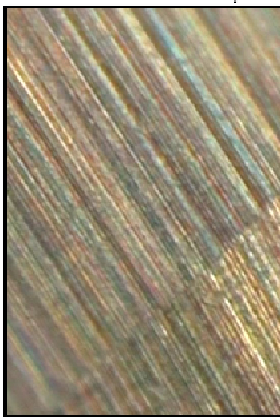


b



c

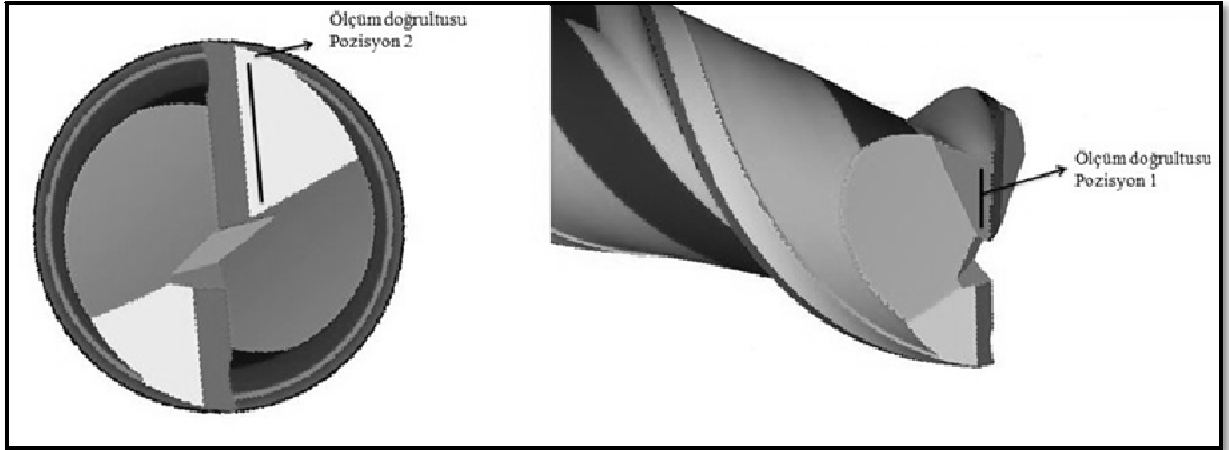
d



Şekil 6.4. Kesici takım 1SZ'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri

6.1.3. Kesici Takım 2L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

M1 malzemesiyle imal edilmiş “Z tipi kaplama” (ZrN ve ek elementler, çizelge 5.4, 5.7) ile kaplanmış kesici takım 2L’nin ölçüm pozisyonları, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görüntüleri aşağıda verilmiştir.

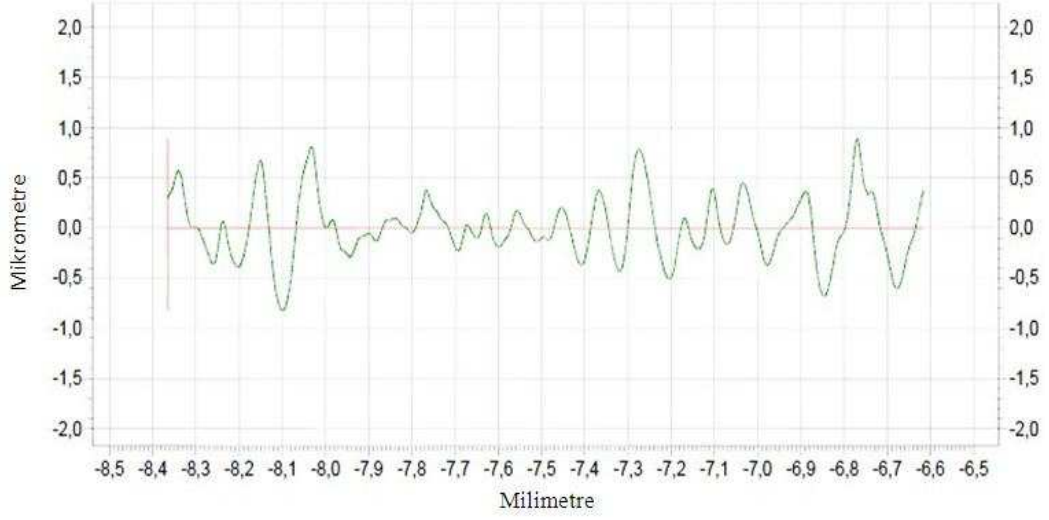


Şekil 6.5. Kesici takım 2L ve 2SZ’den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi

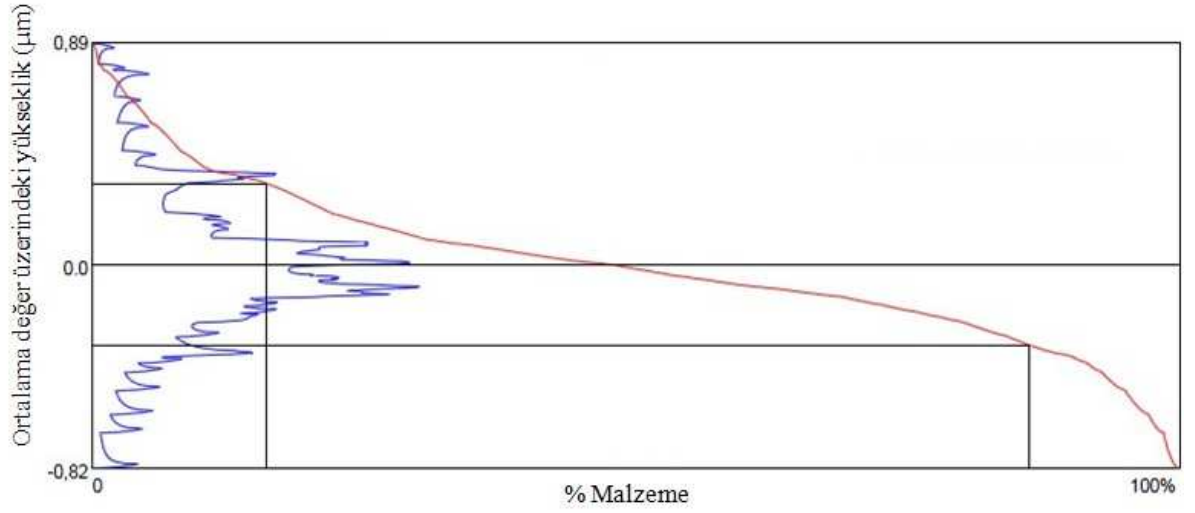
Çizelge 6.6. Kesici takım 2L’nin şekil 6.5.’de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

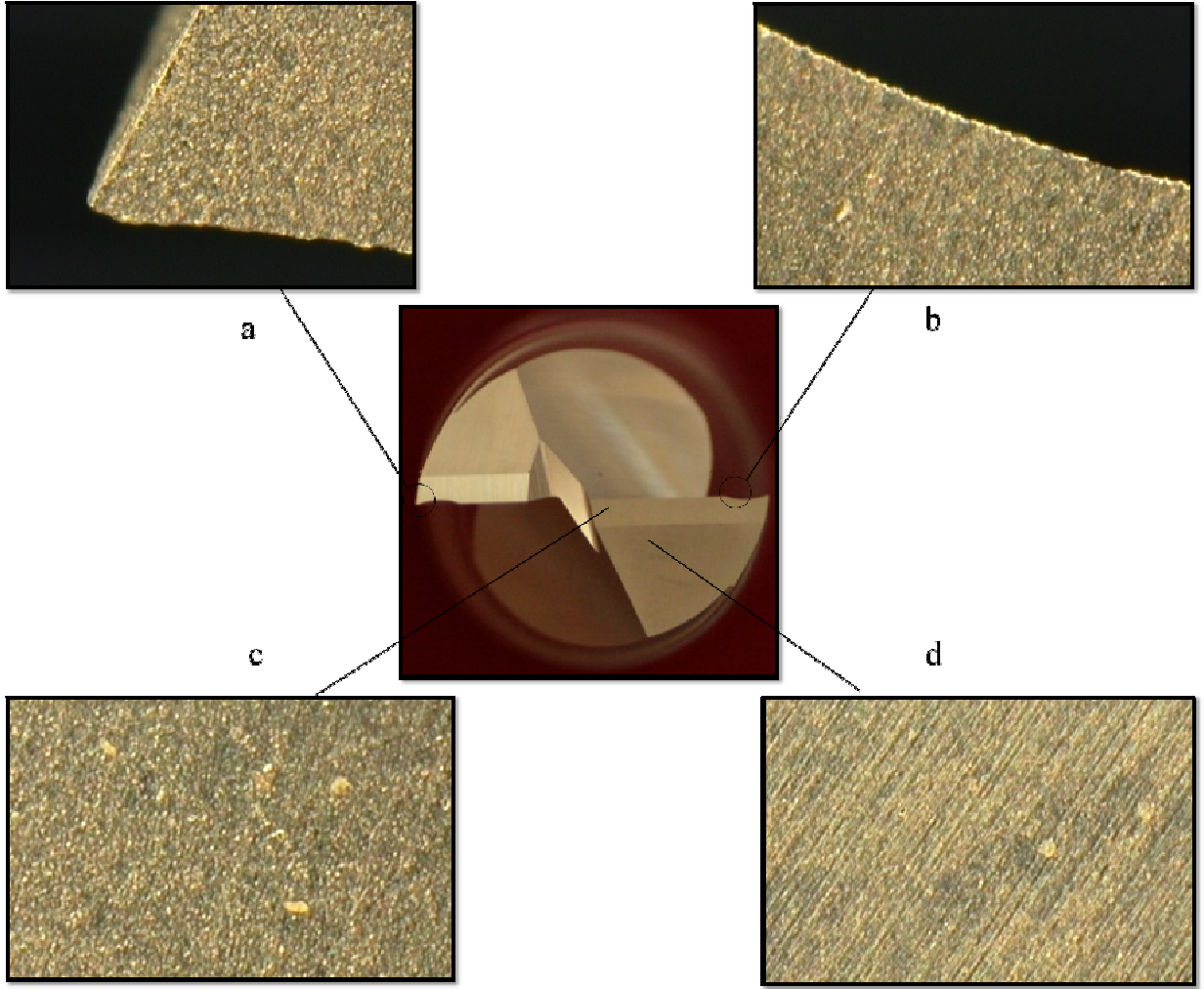
Kesici Takım No. 2L (Kaplanmış)	Ra (µm)	Rt (µm)	Rz (µm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,2612	2,2075	1,1797
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,2049	1,7335	0,9681
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,2575	1,9573	1,1368
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,2754	2,0159	1,2740
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,2405	1,7140	1,1357
Ortalama Değerler	0,2479	1,9256	1,1389
Standart Sapma	0,0271	0,2063	0,1108
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,1629	1,3558	0,6998
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,1547	1,1203	0,7889
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,1485	1,4871	0,7616
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,1679	1,3227	0,8777
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,1506	1,3148	0,8187
Ortalama Değerler	0,1569	1,3201	0,7893
Standart Sapma	0,0082	0,1315	0,0661

Çizelge 6.7. Kesici takım 2L'nin 1. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü

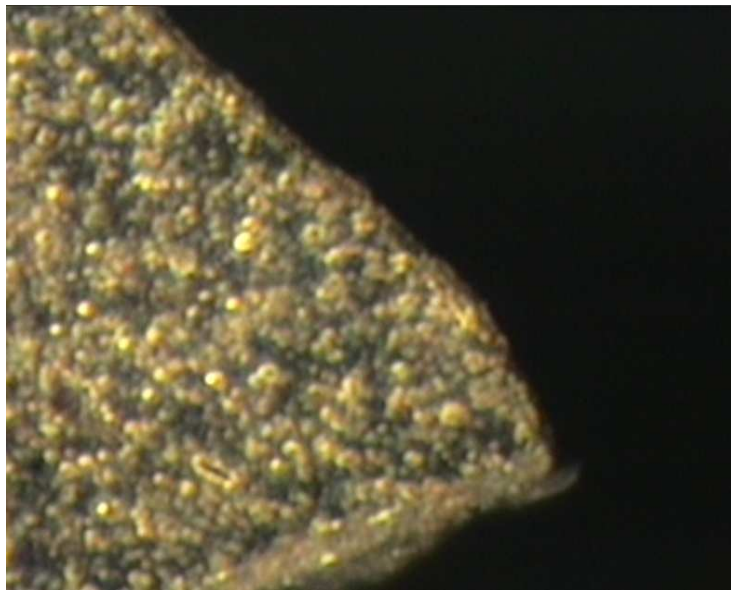


Çizelge 6.8. Kesici takım 2L'nin 1. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen malzeme oranı değerleri; $%M_{r1} = 16.1$, $%M_{r2} = 86.2$





Şekil 6.6. Kesici takım 2L'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri



Şekil 6.7. Kesici takım 2L'nin üzerindeki "Z tipi kaplamanın" 1000 kez büyütülmüş görünümü (Şekil 6.6. a'nın 1000 kez büyütülmüş görünümü)

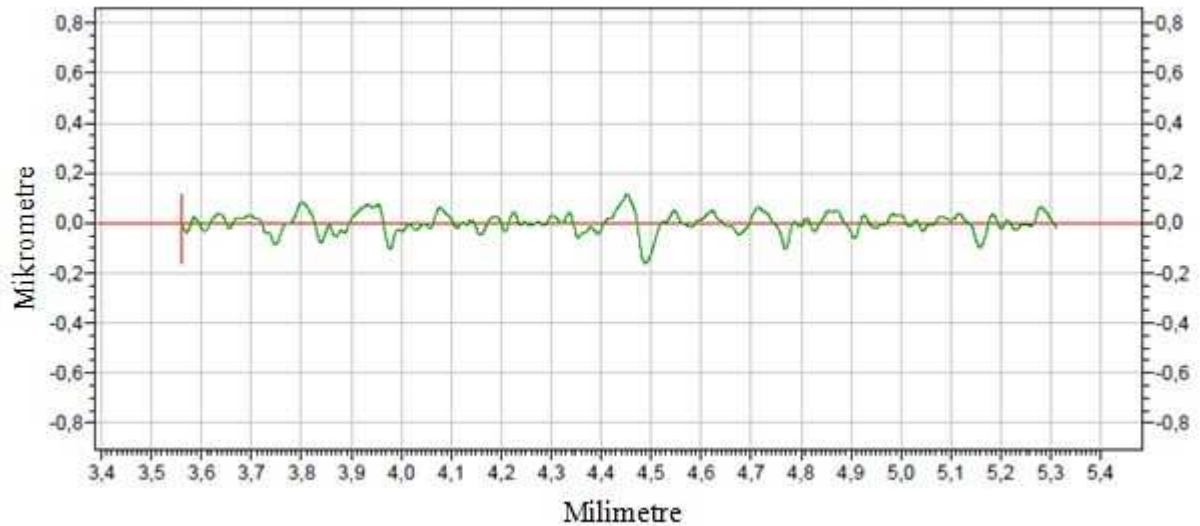
6.1.4. Kesici Takım 2SZ Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

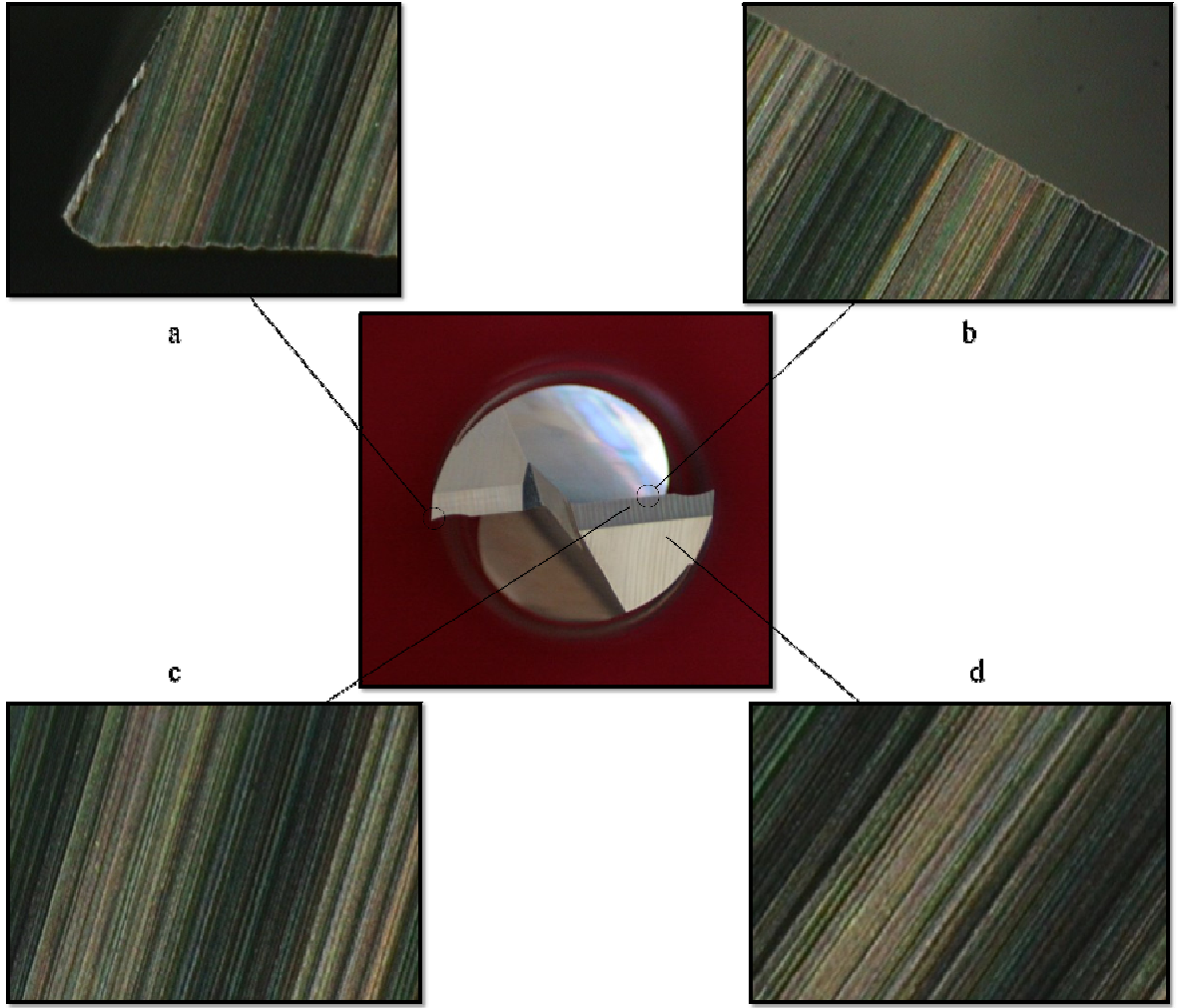
M1 malzemesiyle imal edilmiş kesici takım 2SZ, kesici takım 2L'nin kaplamasız örneğidir. 2SZ'nin ölçüm pozisyonları şekil 6.5.'de, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görüntüleri ise aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.9. Kesici takım 2SZ'nin şekil 6.5.'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Kesici Takım 2SZ (Kaplanmamış)	Ra (μm)	Rt (μm)	Rz (μm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,0472	0,7783	0,2203
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,0335	0,4418	0,1616
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,0478	0,5745	0,2392
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,0271	0,1945	0,1359
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,0297	0,2756	0,1673
Ortalama Değerler	0,0371	0,4529	0,1849
Standart Sapma	0,0098	0,2340	0,0432
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,0401	0,2384	0,1728
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,0415	0,2644	0,1703
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,0473	0,2760	0,2018
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,0478	0,2616	0,1946
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,0454	0,2633	0,2065
Ortalama Değerler	0,0444	0,2607	0,1892
Standart Sapma	0,0035	0,0137	0,0169

Çizelge 6.10. Kesici takım 2SZ'nin 1. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü

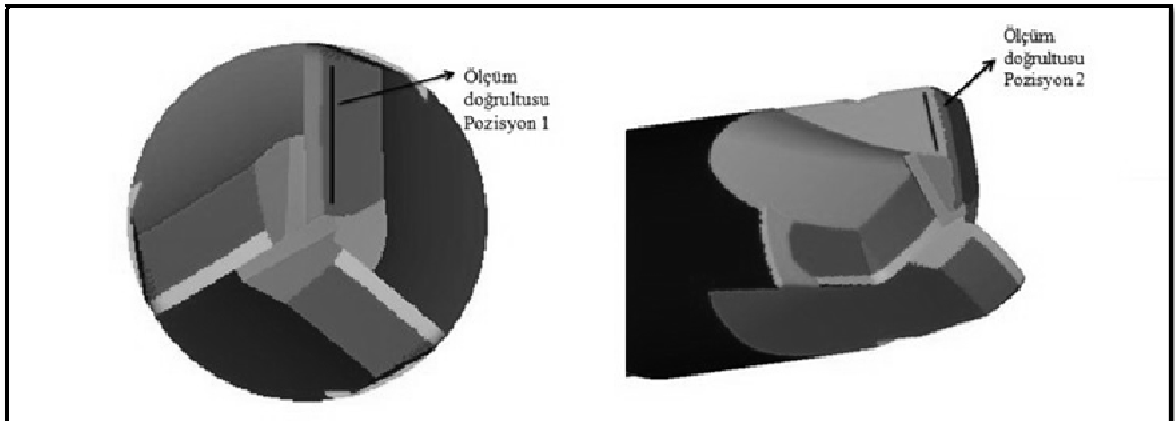




Şekil 6.8. Kesici takım 2SZ'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri

6.1.5. Kesici Takım 3L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

M2 malzemesiyle imal edilmiş ve “Y tipi kaplama”(AlTiN ve ek bir element, çizelge 5.4, 5.7) ile kaplanmış kesici takım 3L'nin ölçüm pozisyonları, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görünümleri aşağıda verilmiştir.

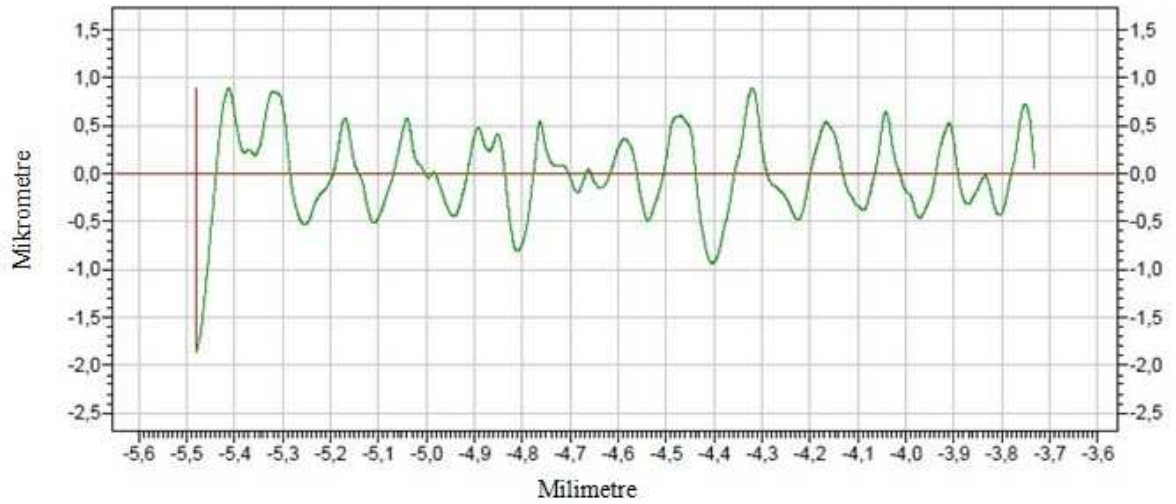


Şekil 6.9. Kesici takım 3L ve 3SZ'den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi

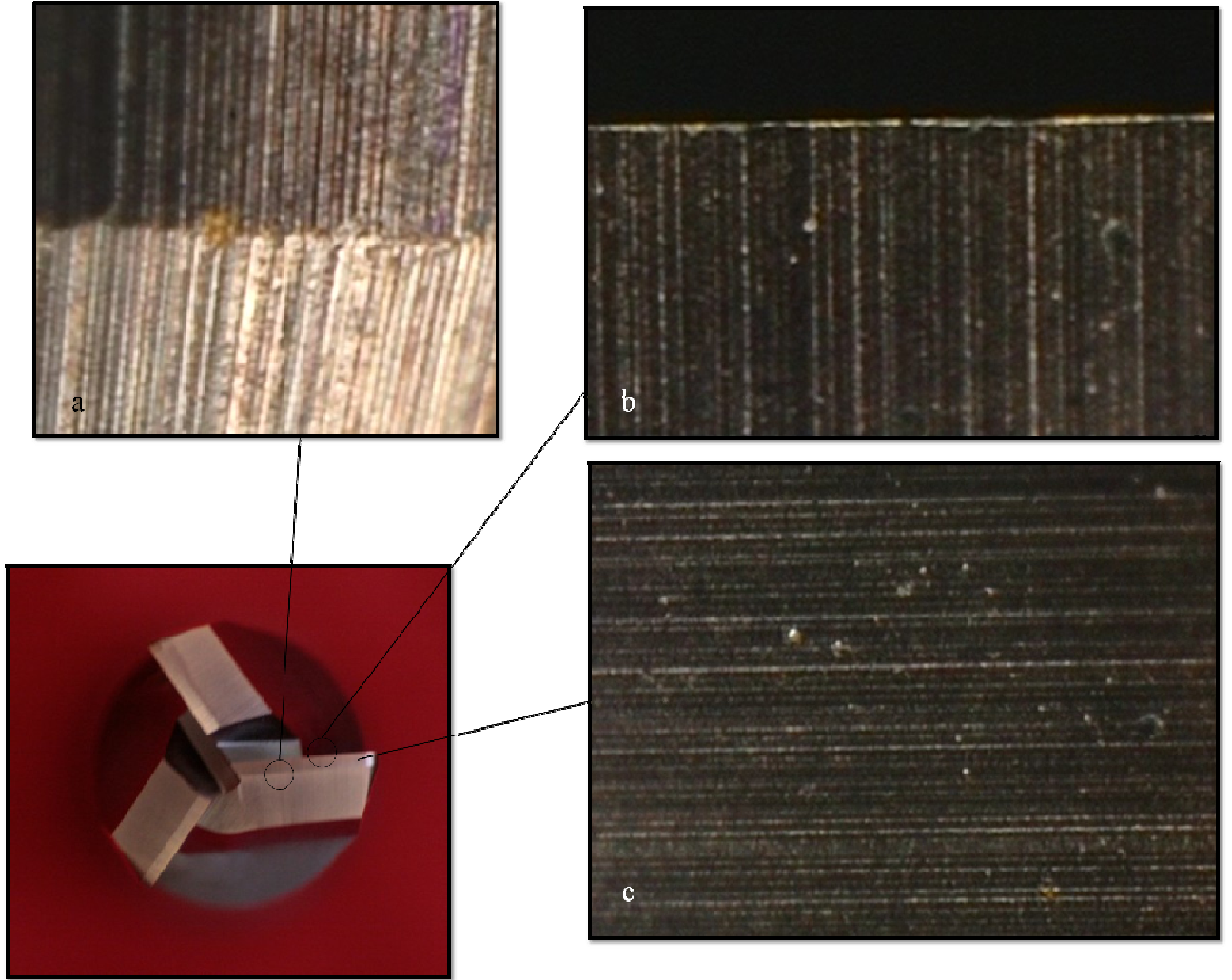
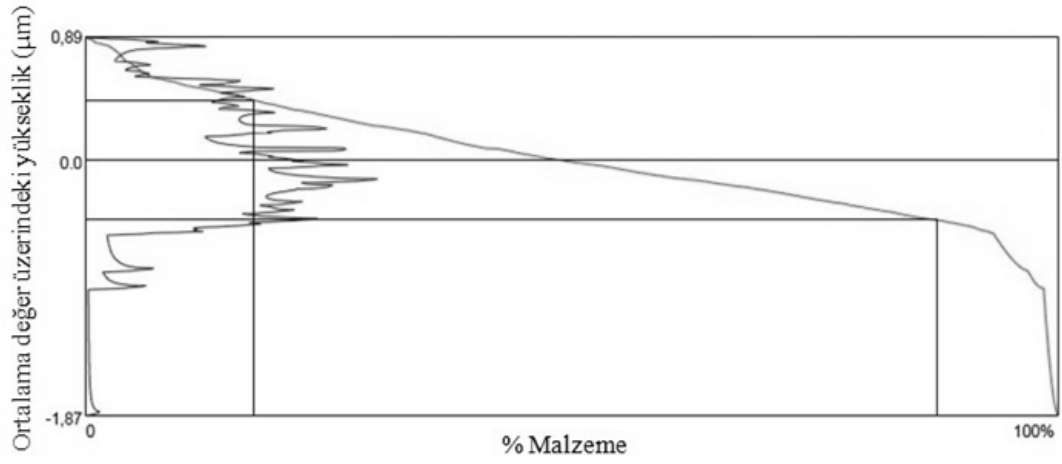
Çizelge 6.11. Kesici takım 3L'nin şekil 6.9.'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Kesici Takım 3L (kaplanmış)	Ra (µm)	Rt (µm)	Rz (µm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,3850	2,3014	1,5770
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,3703	2,6697	1,5634
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,3836	2,5960	1,4732
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,3443	2,7579	1,4859
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,3789	2,6828	1,4599
Ortalama Değerler	0,3724	2,6016	1,5119
Standart Sapma	0,0167	0,1774	0,0542
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,1361	1,8333	0,8144
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,0995	1,4476	0,6057
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,1514	2,9932	0,7163
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,1482	2,3658	0,7811
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,0898	1,2438	0,5547
Ortalama Değerler	0,1250	1,9767	0,6944
Standart Sapma	0,0285	0,7110	0,1116

Çizelge 6.12. Kesici takım 3L'nin 1. pozisyonundaki, 4. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü



Çizelge 6.13. Kesici takım 3L'nin 1. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen malzeme oranı değerleri; $%M_{r1} = 17.3$, $%M_{r2} = 87.6$



Şekil 6.10. Kesici takım 3L'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri

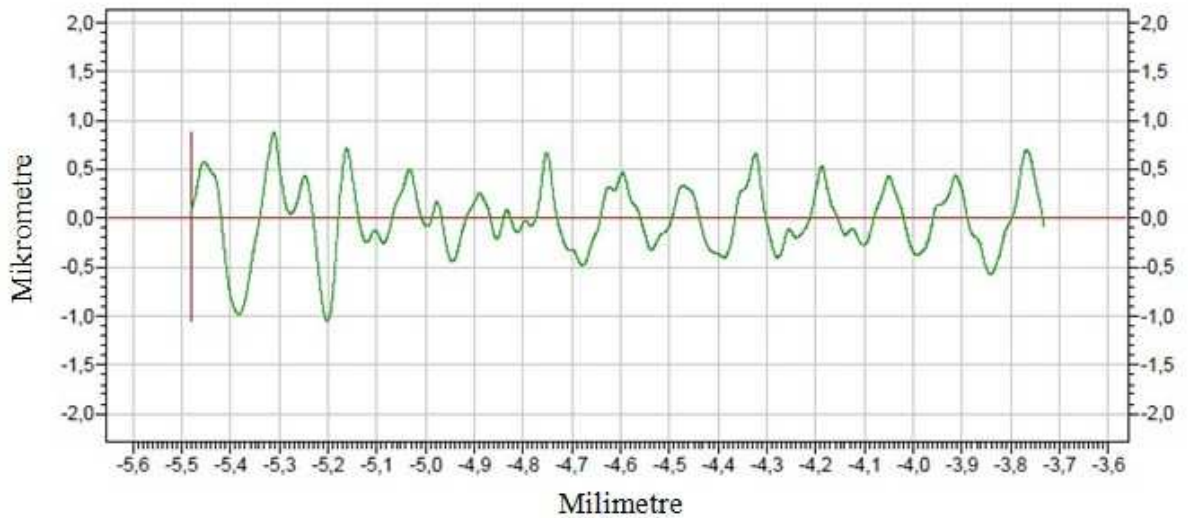
6.1.6. Kesici Takım 3SZ Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

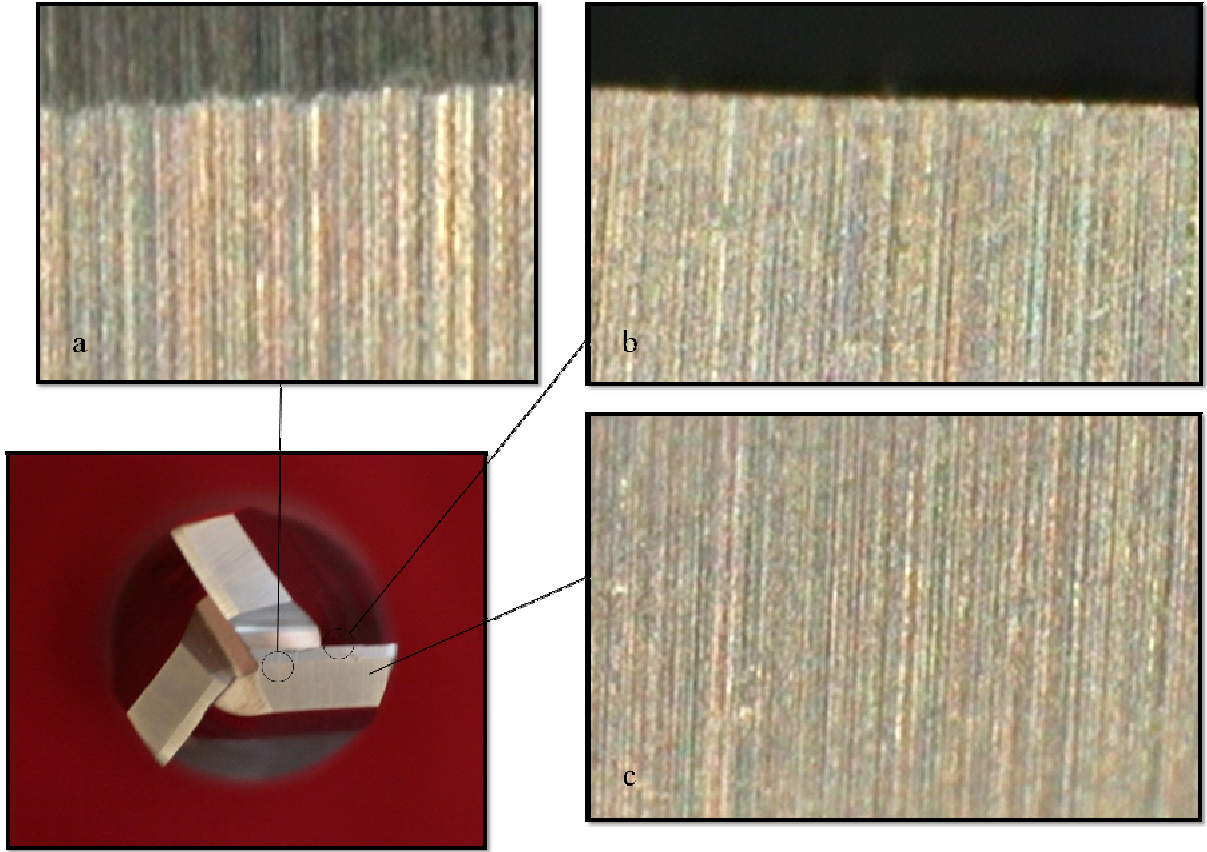
M2 malzemesiyle imal edilmiş kesici takım 3SZ, kesici takım 3L'nin kaplamasız örneğidir. 3SZ'nin ölçüm pozisyonları şekil 6.9.'da, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görüntüleri ise aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.14. Kesici takım 3SZ'nin şekil 6.9.'da belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Kesici Takım 3SZ (kaplanmamış)	Ra (µm)	Rt (µm)	Rz (µm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,2818	1,9272	1,2735
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,2720	1,6176	1,1368
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,2635	1,4288	1,0895
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,2531	1,3208	1,0452
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,2878	1,4793	1,1375
Ortalama Değerler	0,2716	1,5547	1,1365
Standart Sapma	0,0139	0,2340	0,0856
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,0425	0,3145	0,1933
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,0449	0,3411	0,1993
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,0445	0,3318	0,1891
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,0459	0,3576	0,1993
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,0426	0,2972	0,1834
Ortalama Değerler	0,0441	0,3284	0,1929
Standart Sapma	0,0015	0,0234	0,0068

Çizelge 6.15. Kesici takım 3SZ'nin 1. pozisyonundaki, 1. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü

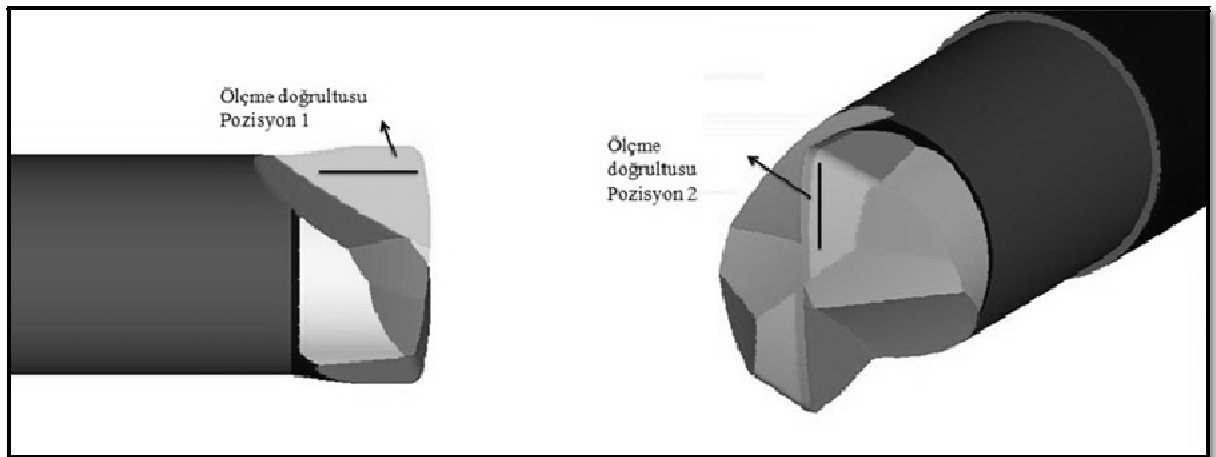




Şekil 6.11. Kesici takım 3SZ'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri

6.1.7. Kesici Takım 4L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

M3 malzemesiyle imal edilmiş ve “X tipi kaplama”(AlTiN ve ek bir element, çizelge 5.4, 5.7) ile kaplanmış kesici takım 4L'nin ölçüm pozisyonları, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görünümleri aşağıda verilmiştir.

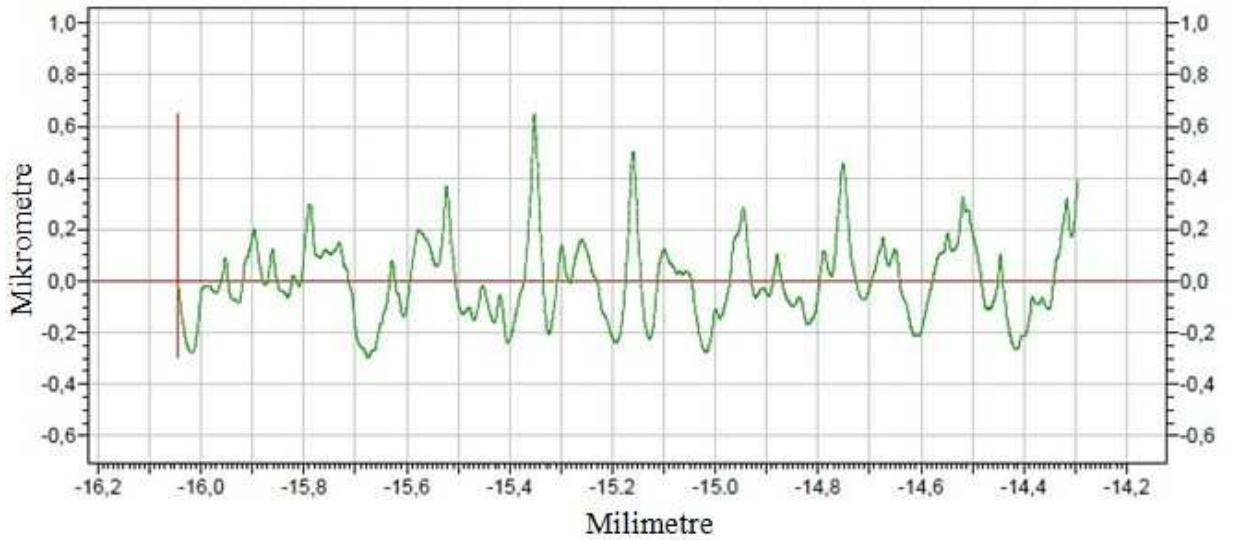


Şekil 6.12. Kesici takım 4L ve 4SZ'den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi

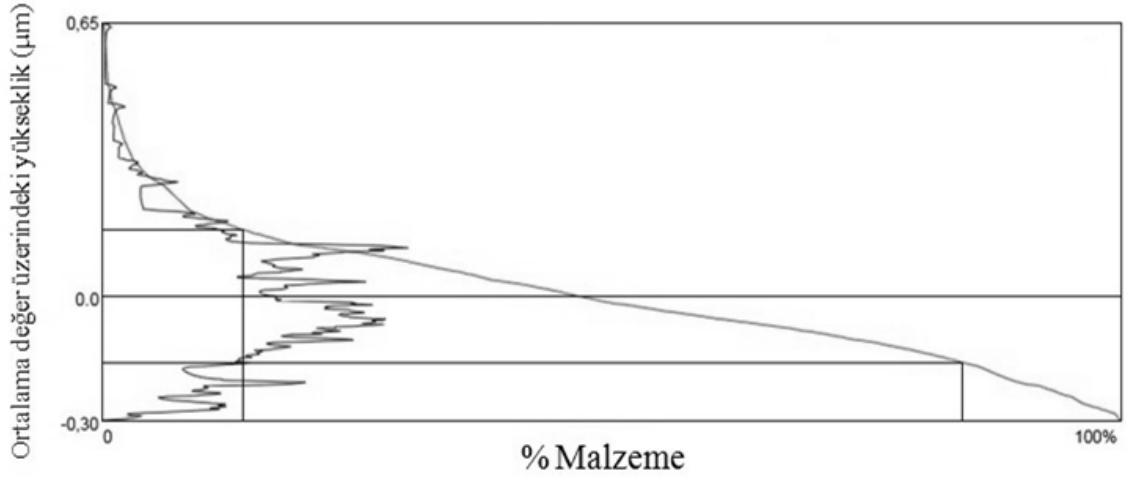
Çizelge 6.16. Kesici takım 4L'nin şekil 6.12'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Kesici Takım 4L (kaplanmış)	Ra (μm)	Rt (μm)	Rz (μm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,1247	0,9439	0,6601
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,1236	0,9133	0,5987
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,1151	0,7950	0,5463
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,1036	0,8442	0,4798
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,1027	0,8572	0,4769
Ortalama Değerler	0,1139	0,8707	0,5524
Standart Sapma	0,0105	0,0587	0,0787
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,1318	0,8508	0,6341
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,1369	1,1401	0,6211
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,1407	1,4141	0,7076
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,1367	0,9970	0,6893
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,1445	1,1011	0,7565
Ortalama Değerler	0,1381	1,1006	0,6817
Standart Sapma	0,0048	0,2080	0,0554

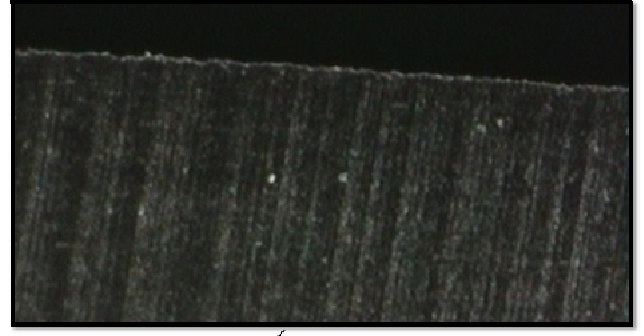
Çizelge 6.17. Kesici takım 4L'nin 1. pozisyonundaki, 1. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü



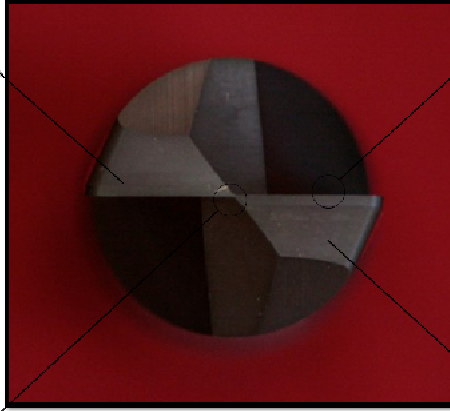
Çizelge 6.18. Kesici takım 4L'nin 1. pozisyonundaki, 1. ölçümünden elde edilen malzeme oranı değerleri; $%M_{r1} = 13.8$, $%M_{r2} = 84.4$



a

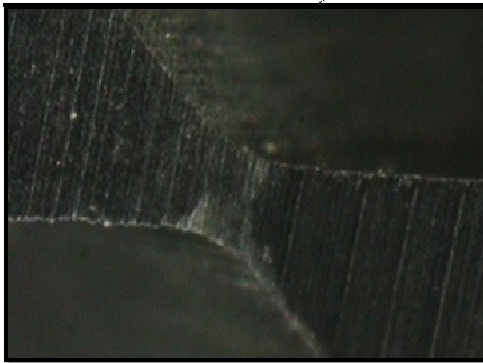


b



c

d



Şekil 6.13. Kesici takım 4L'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri



Şekil 6.14. Kesici takım 4L'nin üzerindeki "X tipi kaplamanın" 1000 kez büyültülmüş görünümü (Şekil 6.13. b'nin daha yakından görünümü)

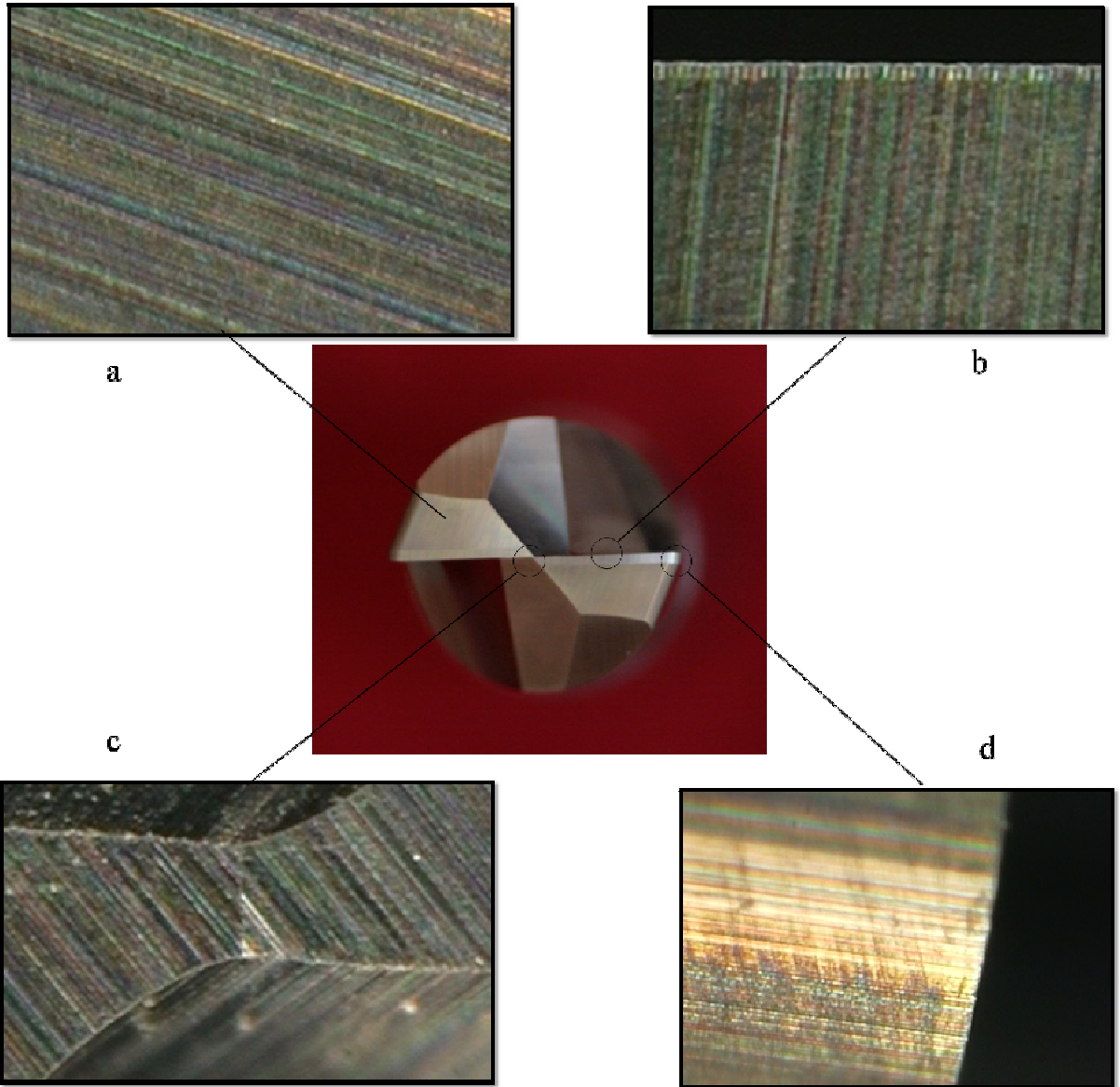
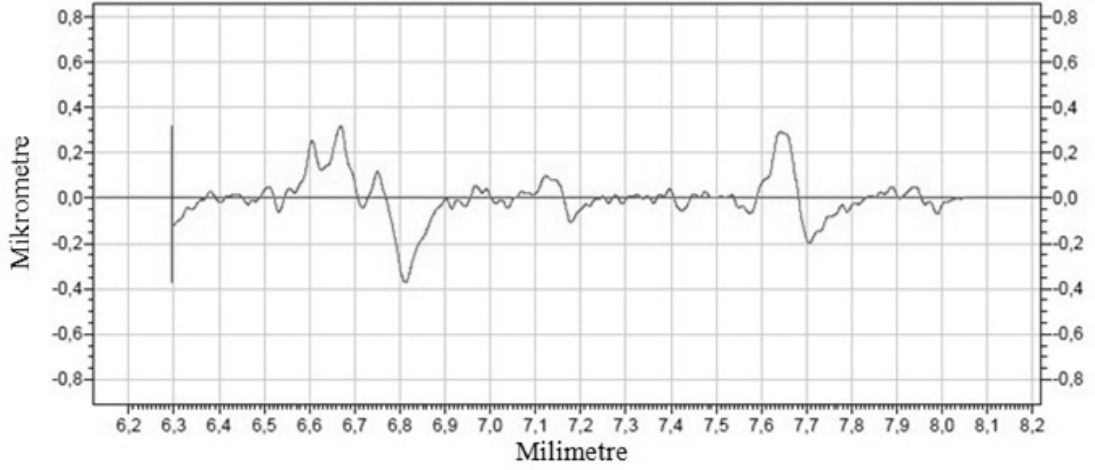
6.1.8. Kesici Takım 4SZ Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

M3 malzemesiyle imal edilmiş kesici takım 4SZ, kesici takım 4L'nin kaplamasız örneğidir. 4SZ'nin ölçüm pozisyonları şekil 6.12'de, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görüntüleri ise aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.19. Kesici takım 4SZ'nin şekil 6.12'de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Kesici Takım 4SZ (kaplanmamış)	Ra (µm)	Rt (µm)	Rz (µm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,0980	0,7803	0,4198
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,0916	0,8167	0,3995
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,0850	0,8891	0,4148
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,0522	0,7097	0,2697
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,0616	0,6893	0,2959
Ortalama Değerler	0,0777	0,7770	0,3599
Standart Sapma	0,0198	0,0812	0,0714
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,0692	0,5224	0,3659
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,0616	0,5920	0,3479
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,0640	0,6781	0,3208
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,0693	0,4471	0,3179
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,0678	0,4053	0,3196
Ortalama Değerler	0,0664	0,5290	0,3344
Standart Sapma	0,0034	0,1098	0,0215

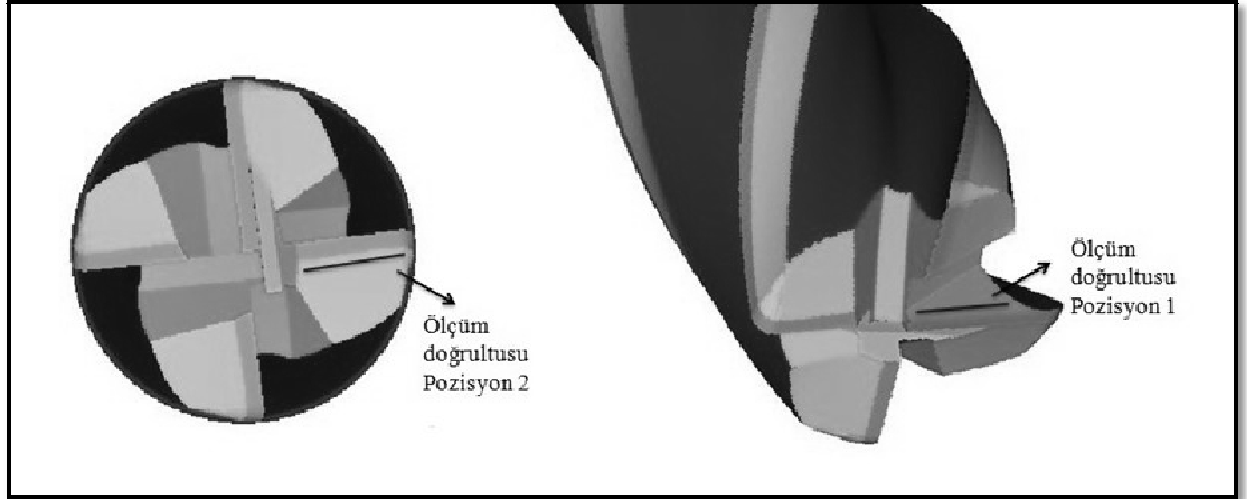
Çizelge 6.20. Kesici takım 4SZ'nin 1. pozisyonundaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü



Şekil 6.15. Kesici takım 4SZ'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri

6.1.9. Kesici Takım 5L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

M3 malzemesiyle imal edilmiş ve “Y tipi kaplama” (AlTiN ve ek bir element, çizelge 5.4) ile kaplanmış kesici takım 5L'nin ölçüm pozisyonları, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görüntüleri aşağıda verilmiştir.

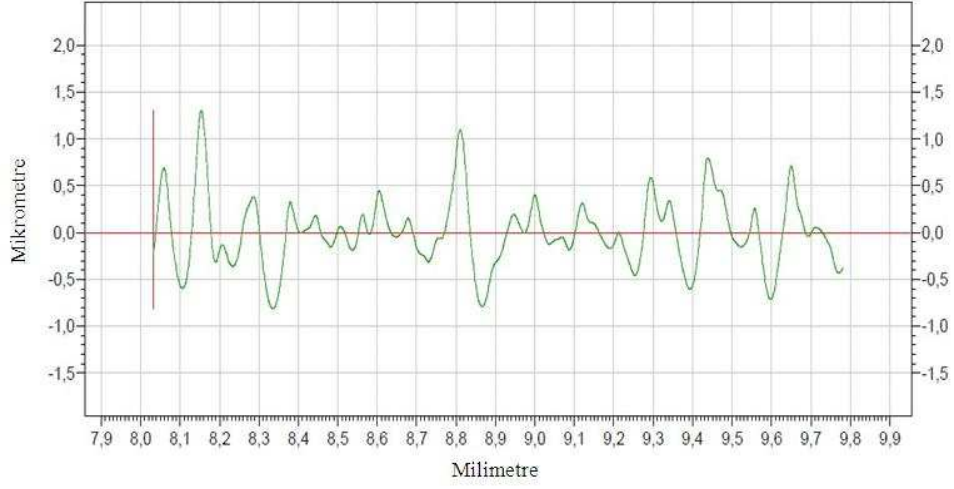


Şekil 6.16. Kesici takım 5L'den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi

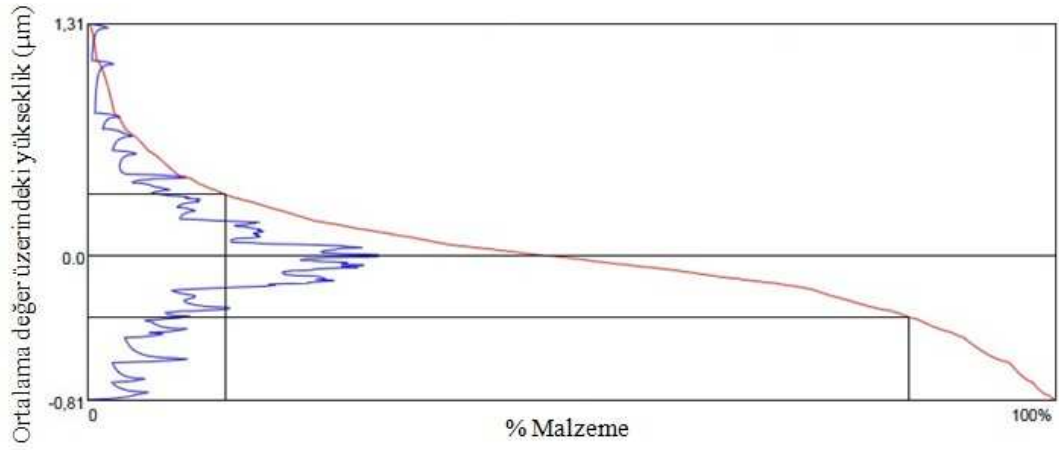
Çizelge 6.21. Kesici takım 5L'nin şekil 6.16'da belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

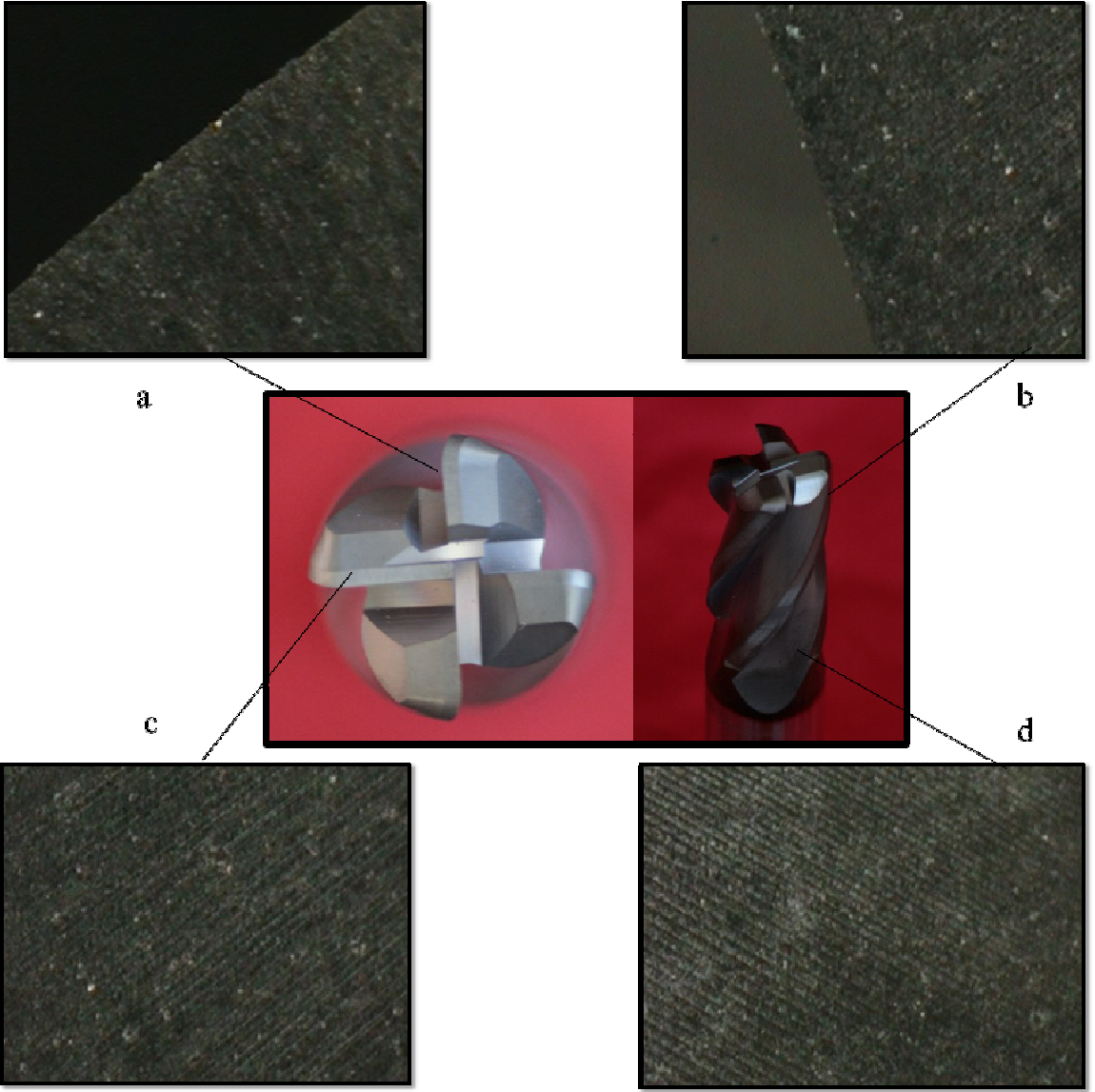
Kesici Takım 5L	Ra (µm)	Rt (µm)	Rz (µm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,3364	2,3025	1,4526
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,3446	2,7497	1,5273
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,2594	1,8699	1,2631
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,2674	1,8871	1,2474
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,2698	2,1167	1,3327
Ortalama Değerler	0,2955	2,1852	1,3646
Standart Sapma	0,0413	0,3624	0,1217
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,3400	2,2942	1,6941
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,3000	2,1332	1,3854
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,3454	2,4716	1,5393
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,3214	2,1060	1,3889
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,2887	2,0227	1,1903
Ortalama Değerler	0,3191	2,2055	1,4396
Standart Sapma	0,0246	0,1783	0,1886

Çizelge 6.22. Kesici takım 5L'nin 1. pozisyondaki, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü



Çizelge 6.23. Kesici takım 5L'nin 1. pozisyondaki, 1. ölçümünden elde edilen malzeme oranı değerleri; %M_{r1}= 14.1, %M_{r2}= 84.8





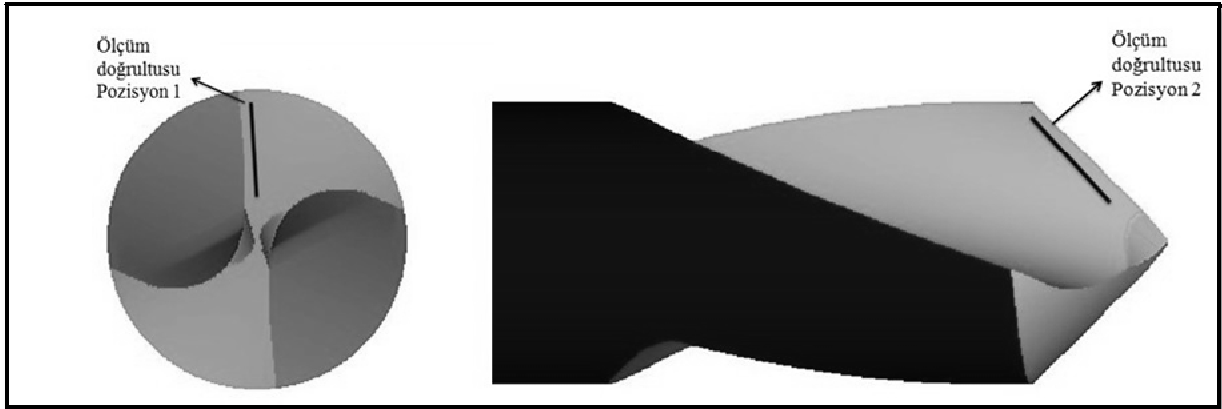
Şekil 6.17. Kesici takım 5L'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri



Şekil 6.18. Kesici takım 5L'nin üzerindeki "Y tipi kaplamanın" 1000 kez büyütülmüş görünümü (Şekil 6.17. c'nin daha yakından görünümü)

6.1.10. Kesici Takım 6L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

M3 malzemesiyle imal edilmiş ve “X tipi kaplama” (AlTiN ve ek bir element, çizelge 5.4) ile kaplanmış kesici takım 6L’nin ölçüm pozisyonları, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görünümleri aşağıda verilmiştir.

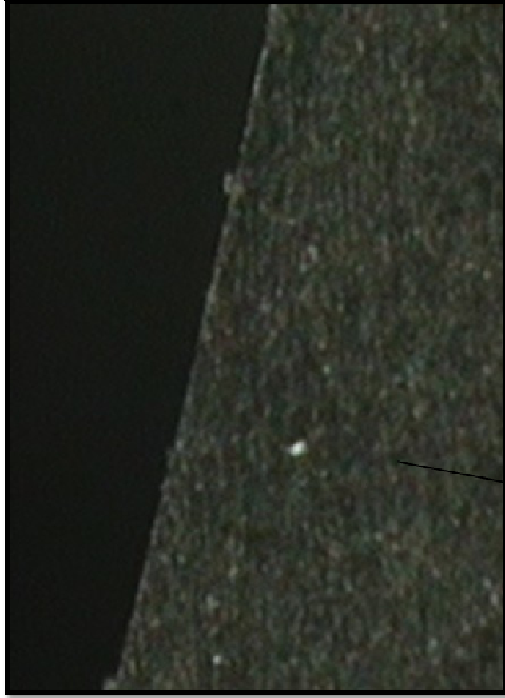
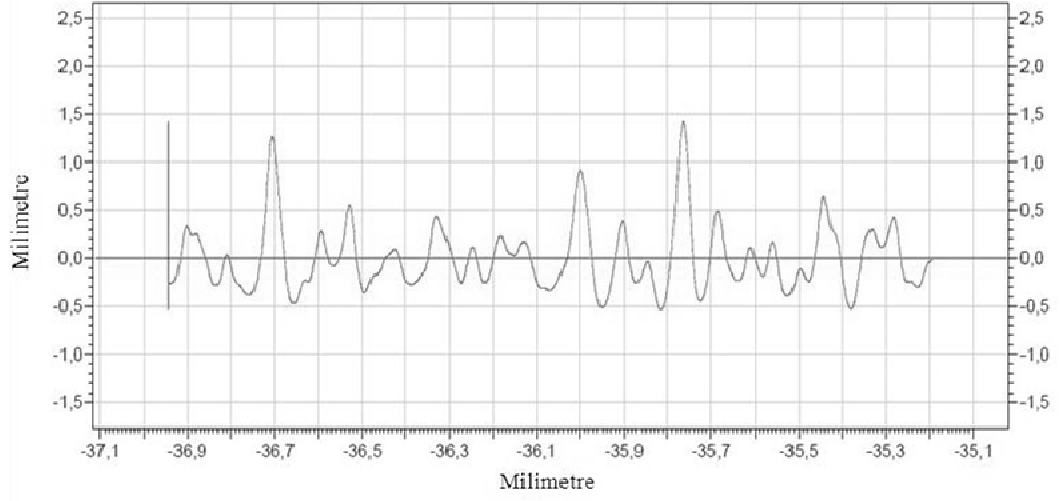


Şekil 6.19. Kesici takım 6L’den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi

Çizelge 6.24. Kesici takım 6L’nin şekil 6.19’da belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Kesici Takım 6L	Ra (µm)	Rt (µm)	Rz (µm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,2862	1,7209	1,7209
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,2815	1,9698	1,2790
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,2663	2,2164	1,1841
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,2306	1,4676	1,1097
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,2871	2,3448	1,3885
Ortalama Değerler	0,2703	1,9440	1,3364
Standart Sapma	0,0237	0,3578	0,2390
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,3036	2,2283	1,3726
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,2570	1,9601	1,3056
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,1950	1,2590	0,9642
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,2093	1,3393	1,0317
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,2072	1,1795	1,0165
Ortalama Değerler	0,2344	1,5932	1,1381
Standart Sapma	0,0453	0,4704	0,1867

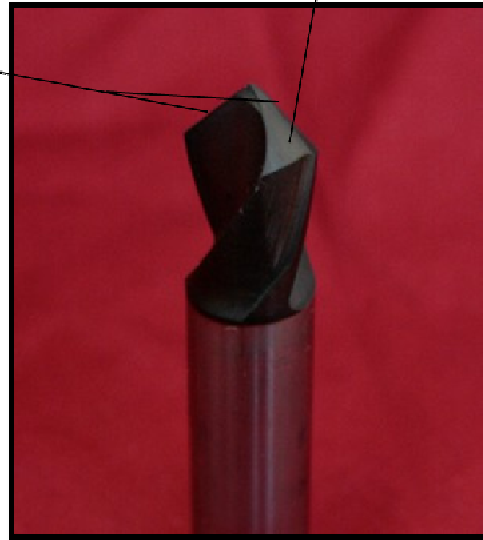
Çizelge 6.25. Kesici takım 6L'nin 2. pozisyondaki, 2. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü



a



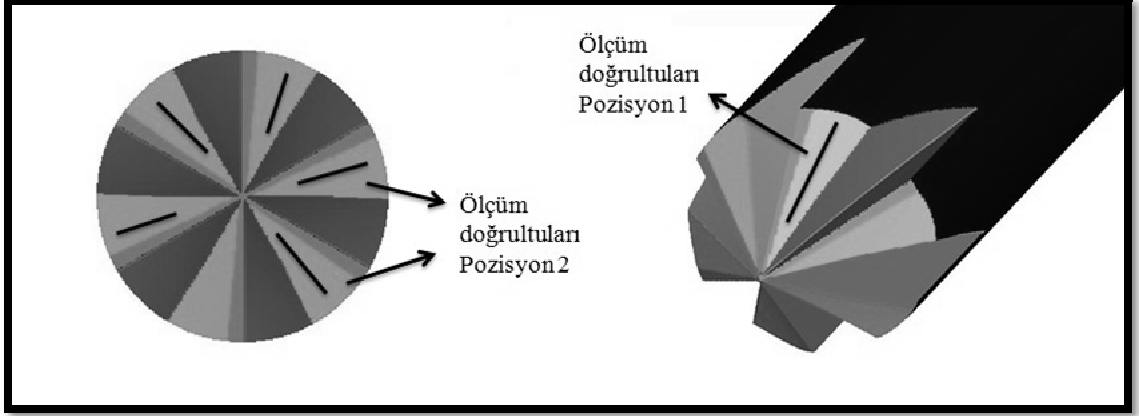
b



Şekil 6.20. Kesici takım 6L'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri

6.1.11. Kesici Takım 7L Üzerinde Yapılan İncelemelerin Sonuçları

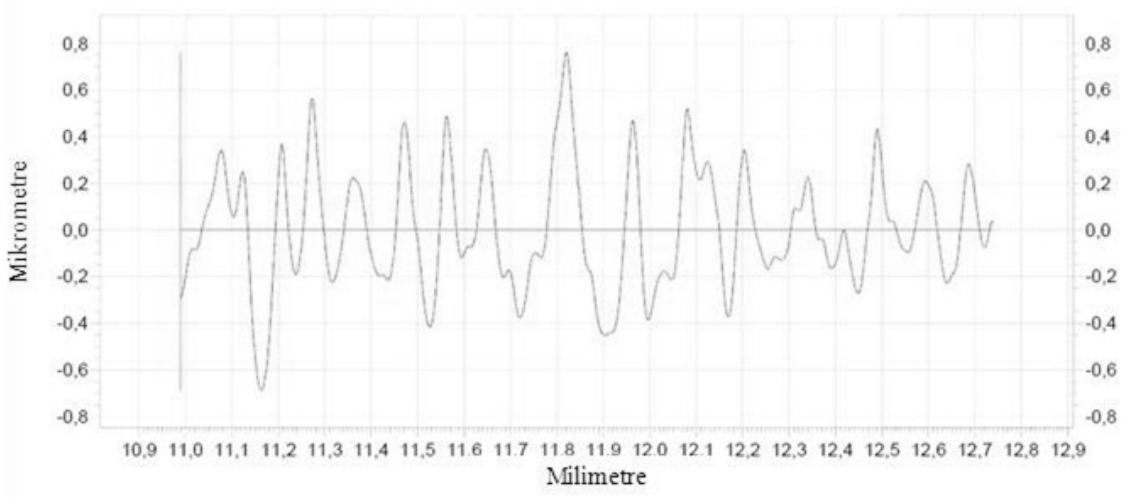
M3 malzemesiyle imal edilmiş ve “X tipi kaplama” (AlTiN ve ek bir element, çizelge 5.4) ile kaplanmış kesici takım 7L’nin ölçüm pozisyonları, pozisyonlara göre yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları ve CCD kamera ile elde edilen yüzey görüntüleri aşağıda verilmiştir. Ölçümlerde pozisyon 1 ölçümleri; tek bir bıçağın 5 kez ölçülmesiyle, pozisyon 2 ölçümleri ise kalan 5 bıçağın birer kez ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir.



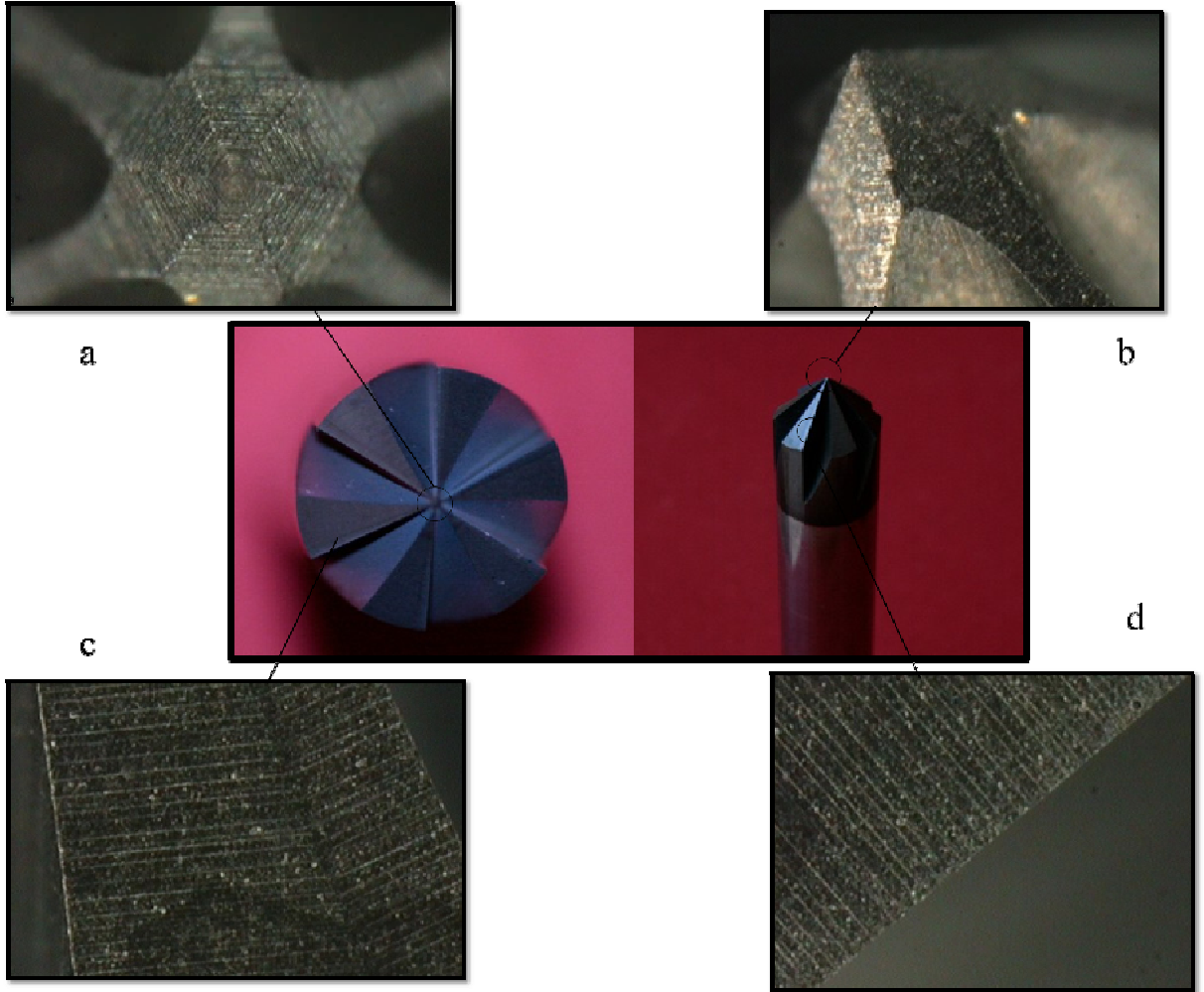
Şekil 6.21. Kesici takım 7L’den alınan ölçümlerin doğrultu ve pozisyonlarının ifadesi

Çizelge 6.26. Kesici takım 7L’nin şekil 6.21’de belirtilmiş olan doğrultu ve pozisyonlardan elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Kesici Takım 7L	Ra (µm)	Rt (µm)	Rz (µm)
Pozisyon 1. Ölç. 1	0,2366	1,3541	0,9647
Pozisyon 1. Ölç. 2	0,2281	1,4683	0,9691
Pozisyon 1. Ölç. 3	0,2226	1,4395	0,9287
Pozisyon 1. Ölç. 4	0,2169	1,4926	0,9790
Pozisyon 1. Ölç. 5	0,2035	1,4485	0,8898
Ortalama Değerler	0,2215	1,4406	0,9463
Standart Sapma	0,0124	0,0525	0,0368
Pozisyon 2. Ölç. 1	0,2961	2,7555	1,4772
Pozisyon 2. Ölç. 2	0,1492	0,8736	0,6768
Pozisyon 2. Ölç. 3	0,2492	2,9326	1,4300
Pozisyon 2. Ölç. 4	0,1617	1,1865	0,7431
Pozisyon 2. Ölç. 5	0,2215	1,4726	0,9716
Ortalama Değerler	0,2155	1,8442	1,0597
Standart Sapma	0,0612	0,9391	0,3762



Çizelge 6.27. Kesici takım 7L'nin pozisyon 1, 5. ölçümünden elde edilen yüzey profil görünümü



Şekil 6.22. Kesici takım 7L'nin belirtilen bölgelerinden 500 kez büyütülerek elde edilmiş CCD kamera görüntüleri

6.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi;

6.2.1 Kesici Takım “1L” ve “1SZ”

Küresel uçlu freze 1L daha önce de ifade edilmiş olduğu gibi, deney süresince incelenmiş, elmas kaplamaya sahip tek takımdır. Bu kesici takımın aynı zamanda kaplamasız bir örneğinin (Takım 1SZ) yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmüş olması, CVD sıcak flaman yöntemi ile oluşturulmuş olan elmas kaplamanın yüzey üzerinde sebep olduğu pürüzlülük değerlerinin değişimlerinin tespitini sağlamıştır.

Çizelge 6.1’de kesici takım 1L’den elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri görülmektedir. 2. Pozisyondaki ölçümler talaş yüzeyi üzerinde ve kesme ağzına oldukça yakın bir bölgeden elde edilmiştir (Şekil 6.1.). Bu noktadan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve 2. ölçüm pozisyonundan elde edilen sonuçlara bakıldığında Ra değerleri birbirlerine oldukça yakındır fakat 2. pozisyonunda elde edilen sonuçların daha düşük olduğu not edilmelidir. Diğer pürüzlülük parametreleri Rt ve Rz’teki farklılıklar; takımın imalatında kullanılan taşların farklı ve değişik hassaslıkta olmalarıyla ilişkilidir. Sonuçta, 2. pozisyonda ölçümleri alınmış olan talaş yüzeyinin daha hassas bir yüzeye sahip olduğu görülmektedir. 500 Kez büyütme ile elde edilen CCD kamera görüntüleri de incelendiğinde (Şekil 6.2), kesici takım üzerindeki değişik noktalardan elde edilen şekil 6.2a ve 6.2d görünümleri arasında, aynı fark açıkça görülebilmektedir.

Çizelge 6.2.’de kesici takım 1L’nin yüzey pürüzlülük profili görülmektedir. Profil incelendiğinde yüksek tepeler dikkat çekmektedir. Söz konusu yüzeyin malzeme oranı eğrisi incelendiğinde (Çizelge 6.3) ve eğrinin yapısı ve diyagramdaki genliklerin dağılımı göz önüne alındığında, yüzeyde tepelerin ağırlıklı olduğu anlaşılmaktadır (şekil 6.3).

Kesici takım 1SZ, kesici takım 1L’in aynı geometriye sahip kaplanmamış tipidir. Kaplanmış ve kaplanmamış örneklerden alınan yüzey pürüzlülük ölçümleri, kesici takımların aynı bölgelerinden elde edilmişlerdir (Şekil 6.1).

Aynı kesici takımın kaplamalı ve kaplamasız örneklerinin yüzey pürüzlülük sonuçları ve yüzey görünümleri incelendiğinde belirgin bir fark görülmektedir. Kesici Takım 1SZ’den elde edilen yüzey pürüzlülük sonuçları, kesici takım 1L’den elde edilen sonuçlara göre oldukça düşüktür. Bu durum; oluşturulan elmas kaplamanın, Ra değerlerinde $0,18 \mu\text{m}$ ’ye (180 nm) kadar ulaşan artışlara sebep olabildiğini ortaya koymaktadır.

Ölçüm pozisyonu 1 ve 2'den elde edilen pürüzlülük değerlerinin farklılıkları yine takımların imalatında kullanılan kesici taşların farklı ve aynı hassasiyette olmamasından ileri gelmektedir. Talaşla temas halinde olacak bölgelerde daha hassas imalat yapılmış olduğu görülmektedir.

6.2.2 Kesici Takım “2L” ve “2SZ”

Kesici takım 2L, “kaplama Z” (ZrN ve iki element, çizelge 5.4) ile kaplanmış tek takım ve yine ölçümlerde kaplamasız şekli kesici takım 2SZ üzerinde de ölçümler yapılması; oluşturulan ZrN kaplamanın ortaya koyduğu yüzey pürüzlülük farklarının tespitini sağlamaktadır.

Ölçümler iki takımda da yine pozisyon 1 ve pozisyon 2 isimleriyle aynı bölgelerden alınmıştır. Pozisyon 1 yine takımın kesme ağzına yakın bir noktada, talaş yüzeyi üzerindedir. Pozisyon 2 ise serbest bölge üzerindedir (Şekil 6.5).

Takımların kaplamalı ve kaplamasız örnekleri arasında Ra değerlerine bakıldığında (Çizelge 6.6 ve 6.9) 0.25 μm 'ye varan ortalama pürüzlülük değerleri farkları söz konusudur. CCD kamera görüntüleri incelendiğinde pürüzlülük değerlerinin farkları oldukça rahat fark edilebilmektedir (Şekil 6.6 ve 6.8). Özellikle kesme ağzı üzerindeki pürüzlülük ve düzgünsüzlükler dikkat çekicidir (Şekil 6.6a,b). Fakat altlık, yani kesici takım 2SZ incelendiğinde söz konusu bölgenin takımın kaplanmadan önce de az miktarda da olsa daha pürüzlü olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelenirken 1. pozisyon bölgesinin, diğer bölgeye göre kaplama açısından da daha zor bir noktada olduğu dikkate alınmalıdır.

Kesici takım 2L'nin yüzey profili ve malzeme oranı eğrisi incelendiğinde (Çizelge 6.7 ve 6.8), yüzeyde çok sivri tepeler veya vadilerin bariz baskınlığının olmadığı görülebilmektedir.

6.2.3 Kesici Takım “3L” ve “3SZ”

Kesici takım 3L “kaplama T” ile (AlTiN ve ek bir element, çizelge 5.4) kaplanmıştır. Yine bu kesici takımın da kaplamasız bir tipi olan kesici takım 3SZ'den de aynı şekilde, aynı bölgelerinden ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.9).

Kesici takım 3L'den elde edilen ölçüm sonuçları özellikle pozisyon 1'den elde edilen değerler incelendiğinde oldukça yüksektir. Hatta elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ($R_a = 0,3724 \mu\text{m}$) araştırma süresince elde edilenlerin en yüksekleridir (Çizelge 6.11). Fakat kaplamasız kesici takım 3SZ'nin de yüzey pürüzlülük değerleri yani altlığın ortalama

pürüzlülük değerleri ($R_a=0,2716 \mu\text{m}$) de kaplamasız kesici takımlar içinde en yüksek değerlere sahiptir (Çizelge 6.14). Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar arasındaki fark incelendiğinde ise, bu kaplamanın diğer kaplamalara oranla az bir fark yarattığı görülebilmektedir. Kaplamalı ve kaplamasız örneklerdeki benzerlik CCD kamera görüntüleriyle de fark edilebilmektedir (Şekil 6.10 ve 6.11)

Kesici takım 3L'nin malzeme oranı eğrisi ve genlik verileri incelendiğinde, yüzeyde vadilerin yoğunluğu dikkat çekmektedir. Malzeme oranı eğrisindeki eğim ve içbükeylik oldukça düşüktür ve neredeyse doğrusal bir görüntüdedir (Çizelge 6.13).

Kesici takım 3SZ üzerinde, pozisyon 1 ve pozisyon 2' den elde edilen pürüzlülük değerleri arasındaki büyük farklılıklar (Çizelge 6.14), takımların imalatı sırasında kullanılan kesici taşların farklılıkları ile bağlantılıdır. Talaşla temas halinde olan talaş yüzeyi oluşturulurken hassas bir kesici taş kullanılmış, temastan uzak serbest bölgenin oluşturulmasında ise kaba bir kesici taş kullanılmıştır. Ayrıca, kesici takımın geometrisi sebebiyle CCD kamera ile talaş yüzeyinden görüntü alınmadığı not edilmelidir.

6.2.4 Kesici Takım “4L” ve “4SZ”

Kesici takım 4L “kaplama X” (AlTiN ve ilave bir element, çizelge 5.4) ile kaplanmıştır. Yine bu kesici takımın da kaplamasız bir tipi olan kesici takım 4SZ'den de aynı şekilde, aynı bölgelerinden ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.12).

Kesici takım 4L üzerinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, diğer kesici takımlar üzerinden alınan değerlere göre daha düşüktür (R_a değerlerinin ortalaması= $0,1381 \mu\text{m}$). Kesici takım 4L ve 4SZ yüzeyinden elde edilen R_a yüzey pürüzlülük farkları ancak $0,07 \mu\text{m}$ 'ye kadar ulaşabilmektedir. Bu durumun daha iyi incelenebilmesi amacıyla (Şekil 6.13), yüzeyler CCD kamera ile 1000 kez büyütülerek (Şekil 6.14) tekrar incelenmiştir. Görüntüler karşılaştırıldığında, bu kesici takımın kaplamalı ve kaplamasız tiplerinin nispeten benzer yüzey görünüşleri verdikleri görülmektedir. İncelemelerde kesme ağzının düzgünsüzlüğü (Şekil 6.13b ve 6.14) dikkat çekici ve kesici takım için olumsuz bir özelliktir.

Malzeme oranı eğrisi ve yüzey profili (Çizelge 6.17 ve 6.18) incelendiğinde ise yüzeyde sivri tepelerin yoğunluğu göze çarpmaktadır. Bu kaplamanın ve kesici takımın ömrü açısından önemli bir olumsuz özelliktir.

Fakat yine pürüzlülük değerleri dikkate alındığında kaplama işleminin yüzeyde açık değişikliklere sebep olduğu anlaşılabilmektedir.

6.2.5 Kesici Takım “5L”

Kesici takım 5L de “kaplama Y” ile (AlTiN ve diğer ilave bir element, çizelge 5.4) kaplanmıştır. Y kaplamasına sahip tek kesici takım olan kesici takım 5’in yüzey pürüzlülük ölçümleri talaş yüzeyinden (pozisyon 1) ve serbest yüzeyden (pozisyon 2) alınmıştır.

Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri diğer kesici takımların sonuçları dikkate alındığında oldukça yüksektir (Çizelge 6.21, $\sim 0.30 \mu\text{m}$, ortalama Ra). Ölçüm pozisyonlarının sonuçları arasındaki farklar incelendiğinde ise talaş yüzeyinin ortalama yüzey pürüzlülüğünün, serbest yüzeyine göre az bir farkla daha düşük olduğu görülmektedir.

Kesici takımın değişik bölgelerinden elde edilen CCD kamera görüntüleri şekil 6.17’de verilmiştir. Yine kesici takımın farklı bölgelerinde, imalatında kullanılan kesici taşların hassaslığına bağlı olarak değişik pürüzlülük özelliklerine sahip yüzeyler görülmektedir.

Kesici takımın yüzey profili ve malzeme oranı eğrisi incelendiğinde çok yoğun bir tepe veya vadi özelliğiyle karşılaşılmamaktadır (Çizelge 6.22, 6.23).

6.2.6 Kesici Takım “6L”

Kesici takım 6L “kaplama X” (AlTiN ve diğer ilave bir element, çizelge 5.4) kaplanmıştır. Ölçümler yine talaş yüzeyinden (pozisyon 2) ve serbest yüzeyden (pozisyon 1) gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.19).

Ölçüm sonuçları diğer kaplamalardan elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre ortalama değerlere sahiptir. Değişik pozisyonlarda elde edilen Ra değerleri talaş yüzeyinde ortalama $0,2344 \mu\text{m}$, serbest yüzeyde ise $0,2703 \mu\text{m}$ ’dir (Çizelge 6.24). Diğer ölçümlerdeki gibi yine talaş yüzeyinden elde edilen yüzey kalitesi, kesici takımın diğer yüzeylerine göre az da olsa daha yüksektir. Genel olarak bu durum kesici takımların imalatında kesme ağzı ve talaş yüzeyinin oluşturulması için daha hassas kesme taşlarının kullanılmasının bir sonucudur.

Kesici takım 6L’den elde edilen CCD kamera görüntüleri şekil 6.20’de verilmiştir.

6.2.7 Kesici Takım “7L”

Kesici takım 7L de “kaplama X” ile kaplanmış olup ve yukarıda anılmış kesici takım 6L ile aynı kaplamaya sahiptir. Kesici takımın geometrisinden dolayı kesme ağzına yakın bölümlerden ölçüm alınamamış, kesici takımların sahip olduğu tüm bıçakların serbest yüzeylerinden ölçümler alınmıştır.

Ölçümler tek bıçaktan beş ölçüm (pozisyon 1), diğer kalan beş bıçaktan ise birer ölçüm (pozisyon 2) alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. İki tip ölçümde de yüzey pürüzlülük değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır (Ra değerlerinin ortalaması, sırasıyla; $\sim 0,2215 \mu\text{m}$ ve $0,2155 \mu\text{m}$). Bu değerler aynı kaplamaya sahip kesici takım 6L ile oldukça benzerdir.

Kesici takım 6L'den elde edilen CCD kamera görüntüleri şekil 6.22'de verilmiştir.

6.2.8 Genel Değerlendirme

Yapılan ölçümler sonucunda; kaplanmış kesici takımların yüzey pürüzlülüklerinin, aynı malzeme ve geometriye sahip olan kaplanmamış tiplerinin yüzey pürüzlülüklerinden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu farklılıklar kaplamalara göre değişiklikler gösterebilmekle birlikte Ra değerleri esas alındığında $0,050 - 0,200 \mu\text{m}$ arasında değişim göstermektedir. Sonuç olarak kesici takımlar üzerinde oluşturulan kaplamaların, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde (Ra esas alındığında), ortalama $\sim 0,150 \mu\text{m}$ civarında bir farka sebep olduğu tespit edilmiştir.

İncelenen kesici takımların kaplanmaları için elmas, X,Y,Z ve T olmak üzere 5 tip kaplama kullanılmış ve farklı elementlere sahip kaplamalar (Çizelge 5.4) birbirlerine göre farklı yüzey kaliteleri ortaya koymuşlardır. AlTiN elementlerinin ortak olduğu, artı özellikler katması açısından ilave olarak birbirinden farklı elementlerin eklenmiş olduğu kaplamalar dahi (X,Y,T) yüzey pürüzlülük sonuçlarında farklılık göstermişlerdir.

Ölçümler sırasında en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri AlTiN ve ek bir element kullanılarak kaplanmış (T kaplaması) kesici takım 3L, kaplanmış kesici takımlar içinde en düşük yüzey pürüzlülük değerleri ise yine AlTiN ve ek bir element ile kaplanmış (X kaplaması) 4L'den elde edilmiştir.

Malzeme oranı eğrileri incelendiğinde tepelerin yoğun olduğu kaplamalar; elmas kaplama ve kaplama X (1L ve 4L), vadilerin yoğun olduğu kaplama ise kaplama T olmuştur. Tepelerin baskınlığı durumu, kaplamanın taşıma kapasitesini azaltmaktadır (Şekil 5.9) ve bu kaplamalarla kaplanmış 1L ve 4L kesici takımlarının ömürlerine olumsuz etki edecektir.

Kesici takımların imalatı sırasında kullanılan kesici taşların hassasiyeti ya da inceliği kaplanmamış takımın yani altlığın yüzey pürüzlülüğünü doğrudan oluşturmakta, kaplama sonrası sonuçları da etkilemektedir. CCD kameradan elde edilen görüntüler incelendiğinde takım imalatında kullanılan kesme taşlarının yönleri, kaplanmış takımlarda bile fark edilebilmektedir.

CCD kamera ile elde edilen görüntüler incelendiğinde kesici takımların kesme ağızlarının düzlüğü ve keskinliği kaplama sonrası gerçekleşecek görünümün temelini oluşturmaktadır. Bununla beraber kaplamaların kesme ağızlarının düzgünlüklerini olumsuz yönde etkiledikleri görülmüştür.

Çalışmada değişik kaplamalara sahip kesici takımların ve aynı geometri ve malzemelere sahip kaplamasız tiplerinin yüzeylerinin analizleri ve incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, daha sonra gerçekleştirilebilecek; kullanılmış kesici takımların yüzey incelemeleri ve kaplama performansları, kullanıldıktan sonra tekrar kaplanan kesici takımların yüzey özellikleri ve kaplama performansları gibi konuların ve optimizasyonlarının önemli bir ilk adımı olma niteliği taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Afjehi-Sadat, A., Durakbasa, M. N., Stout, K. J., Osanna, P. H. ve Ruiz, J.-M., (2005), "Measurement of Surface Roughness, Waviness and the Primary Profile", vol.2:382-403, Measurement in technology, (Der.) Kureková, E., (Derl.),Vienna University of Technology, Vienna.

Akkurt, M., (2004), Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Baumgartner, W., Saxe, F., Weth, A., Hajas, D., Sigumonrong, D., Emmerlich, J., Singheiser, M., Bohme W. ve Schneider, J. M., (2007), "The Sandfish's Skin: Morphology, Chemistry and Reconstruction " Journal of Bionic Engineering, 4:1-9.

Bhushan, B., (2001), "Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques", 1:49-114, Modern Tribology Handbook, , (Der) Bhushan, B., (Derl), CRC Press LLC, Florida.

Bhushan, B., (2007,a), Introduction to Nanotechnology, 1-12, Springer Handbook of Nanotechnology, (Der.) Bhushan, B., (Derl.), Springer Science+Business Media, Inc., Ohio.

Bhushan, B., (2007,b), Gecko Feet: Natural Hairy Attachment Systems for Smart Adhesion, 1553-1594, Springer Handbook of Nanotechnology, (Der) Bhushan, B., (Derl), Springer Science+Business Media, Inc., Ohio.

Bhushan, B. ve Marti, O., (2007), "Scanning Probe Microscopy-Principle of Operation, Instrumentation, and Probes", 591-635, Springer Handbook of Nanotechnology, (Der) Bhushan, B., (Derl), Springer Science+Business Media, Inc., Ohio.

Bogner, A., Jouneau, P.-H., Thollet, G., Basset, D., Gauthier, C., (2007), "A History of Scanning Electron Microscopy Developments: Towards "Wet-STEM" Imaging", Micron, 38:390-401.

Bunshah, R. F. ,(2000), "Vapor Deposition Technologies" , 4-77, Handbook of Hard Coatings: Deposition Technologies, Properties and Applications (Materials and Processing Technology), (Der.) Bunshah, R. F., (Derl.), William Andrew Publishing-Noyes, Los Angeles.

Cao, G., (2007), Nanostructures & Nanomaterials, Synthesis, Properties & Applications, Imperial College Press, London.

Clemente, A. V. ve Gloystein, K., (2008), Principles of Atomic Principles Force Microscopy, Aristotle University, Thessaloniki.

Corbett, J., McKeown, P.A., Peggs, G.N., Whatmore, R., (2000), "Nanotechnology: International Developments and Emerging Products", Manufacturing Technology, 49:523-545.

Damian, V., Bojan, M., Schiopu, P., Iordache, I., Ionita, B., ve Apostol, D., (2008), "White Light Interferometry Applications in Nanometrology", Advanced topics in optoelectronics, microelectronics, and nanotechnologies IV Congress, 28-31 Aug. 2008, Constanta.

David, C. J., (1997), “Scanning Electron Microscopy For Materials Characterization”, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 2:465-468.

Devillez, A., Lesko, S. ve Mozer, W., (2004), “Cutting Tool Crater Wear Measurement With White Light Interferometry”, *Wear*, 256:56-65.

Durakbaşı, M. N., Afjehi-Sadat, A. ve Osanna, P.H., (2006), “Metrology of the Structure of High Precision Machined Workpiece Surfaces”, *International Scientific Conference MicroCAD*, 16-17 Mart 2006, Miskolc.

Durakbaşı, M.N., Kahsay, G. ve Osanna, P. H., (2007), “Analysis of Conventionally Machined Surfaces Using Contact Stylus and Optical Measurement Systems”, IV. *International Congress on Precision Machining-ICPM 2007*, 25-29 Tem. 2007, Kielce.

Durakbaşı, M. N., Karahasanoğlu, C. ve Akdoğan, A.N., (2008), *Ölçme Tekniği ve Değerlendirme Ders Notları*, Viyana Teknik Üniversitesi-Yıldız Teknik Üniversitesi, ISBN 3-901888-32-2.

Durakbaşı, M. N., Osanna, P. H., Aksoy, P. ve Kräuter, (2009), “Contact and Non-Contact Measurement and Analysis of the Surface of High Precision Workpieces”, *12th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces*, 08-10. Tem. 2009, Rzeszow.

Durakbaşı, M. N., Osanna, P. H., Demircioğlu, P. ve Crisan, L., (2010), “Surface Measurement and Evaluation Methods of High Precision Technical Structures”, XXIV. *microCAD International Scientific Conference*, 18-20 Mart 2010, Miskolc.

Forberich, K., Dennler, G., Scharber, M. C., Hingerl, K., Fromherz, T. ve Brabec, C. J., (2008), “Performance Improvement of Organic Solar Cells with Moth Eye Anti-Reflection Coating” *Thin Solid Films*, 516:7167–7170.

Giessibl, F.J., Sugawara Y., Morita S., Hosoi H., Sueoka K., Mukasa K., Sasahara, A. ve Onishi, H., (2007), *Noncontact Atomic Force Microscopy and Related Topics*, 651:658, *Springer Handbook of Nanotechnology*, (Der) Bhushan B., (Derl), Springer Science+Business Media, Inc., Ohio.

Glenn, J. C., (2006), “Nanotechnology: Future Military Environmental Health Considerations”, *Technological Forecasting & Social Change*, 73:128–137.

Goldstein, J., Newbury, D. E., Joy, D. C., Echlin, P., Lyman, C. E., Lifshin, E., (2003), *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis*, Kluwer Academic Plenum Publishers, New York.

Groota, P. D. ve Deck, L., (1995), “Surface Profiling by Analysis of White-light Interferograms in the Spatial Frequency Domain”, *Journal of Modern Optics*, 42:389-401.

Holmberg, K., Matthews, A. ve Ronkainen, H., (1998), “Coatings Tribology-Contact Mechanisms and Surface Design”, *Tribology International* 31:107-120

Holmberg, K., Ronkainen, H. ve Matthews, A., (2000), “Tribology of Thin Coatings”, *Ceramics International*, 26:787-795.

Hornyak, L. G., Moore, J. J., Dutta, J. ve Tibbals, H.F., (2008), *Fundamentals of Nanotechnology*, CRC Press, Florida.

Johnson, D. ve Hilal, N., Bowen, W. R., (2009), “Basic Principles of Atomic Force Microscopy”, 2-30, *Atomic Force Microscopy in Process Engineering*, (Der.) Hilal, N.ve Bowen, W. R., (Derl.) Butterworth-Heinemann Publications, Burlington.

Joy, D. J., (1997), *Scanning Electron Microscopy*, 305-328, *Electron Microscopy: Principles and Fundamentals*, (Der.) Amelinckx, S., Dyck, D. V, Landuyt, J. V. ve Tendeloo, G. V., (Derl.) VCH, Weinheim.

Karthick, B. ve Maheshwari, R., (2009), “Lotus-Inspired Nanotechnology Applications”, *Resonance*, Aralık:1141-1145.

Klocke, F. ve Krieg, T., (1999), “Coated Tools For Metal Cutting - Features and Applications”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 48:515-525.

Komatsu, H. ve Ogasawara, A., (2005), “Applying Nanotechnology to Electronics, Recent Progress in Si-LSIs to Extend Nano-Scale”, *National Institute of Science and Technology*, 16:36-44.

Köhler, M. ve Fritzsche, W., (2007), *Nanotechnology, an Introduction to Nanostructuring Techniques*, Wiley-VCH-Verl., Weinheim.

Kopac, J., (1998), “Influence of Cutting Material and Coating on Tool Quality and Tool Life”, *Journal of Materials Processing Technology*, 78:95-103.

Kundrák, J., Karpuschewski, B. ve Felhő, C., (2010), “Determination of the Expected Roughness of Cut Surface Based on Theoretical Roughness”, XXIV. microCAD International Scientific Conference, 18-20 Mart 2010, Miskolc.

Lonardo, P.M., Lucca, D.A. ve De Chiffre, L., (2002), “Emerging Trends in Surface Metrology”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 51: 2:701-723.

Lou, M. S., Chen, J. C. ve Li, C. M., (1998), “Surface Roughness Prediction Technique For CNC End-Milling”, *Journal of Industrial Technology*, 15:2-6.

Mattox, D. M. , (1998), “Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing- Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control”, Noyes Publications, New Jersey.

Meller, F., Michel, W., Schlicht, V., Tietze, A. ve Winter, P., (2007), *Self-Cleaning Surfaces Using the Lotus Effect*, 791-811, *Handbook for Cleaning / Decontamination of Surfaces*, (Der.) Johansson, I. ve Somasundaran, P., (Derl.), Elsevier B.V.

Osanna, P.H. ve Durakbaşa, M. N., (2006), “The Importance of Nanometrology for Improving the Product Quality in Modern Industry”, *Middle East Measurement and Metrology 2006*, 29-31 May. 2006, Bahreyn.

Osanna, P.H. ve Durakbaşı, M. N.ve Kräuter, L., (2009), “Industrial Metrology of the Viewpoint of Nanotechnology and Nanometrology”, *Tehnika* 3, 9;9-16.

Özçelik, B. ve Bayramoğlu, M., (2006), “The Statistical Modeling of Surface Roughness in High-Speed Flat End Milling”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46:1395-1402.

Pierson, H. O., (1999), “Handbook of Chemical Vapor Deposition (CVD) Principles, Technology, and Applications-İkinci baskı”, William Andrew Publishing-Noyes, New York.

Presting, H. ve König, U., (2003), “Future Nanotechnology Developments for Automotive Applications”, *Materials Science and Engineering C* 23: 737–741.

Ralston, J., Larson, I., Rutland, M. W., Feiler, A. A., Kleijn, M., (2005), “Atomic Force Microscopy and Direct Surface Force Measurements”, *Pure and Applied Chemistry*, 77:2149-2170.

Reichelt, R., (2007), “Scanning Electron Microscopy”, 133-272, *Science of Microscopy*, (Der.) Hawkes, P. W. ve Spence, J. C. H., (Derl.) Springer Science+Business Media, New York.

Reimer, L., (1998), *Scanning Electron Microscopy*, 2. Baskı, Springer, Berlin.

Sawyer, L. C., Grubb, D. T. ve Meyers, G. F., (2008), *Polymer Microscopy*, 3. Baskı, Springer Science+Business Media, New York.

Sokovic, M., Kopac, J., Dobrzanski, L.A. ve Adamiak, M., (2004), “Wear of PVD-Coated Solid Carbide End Mills in Dry High-Speed Cutting”, *Journal of Materials Processing Technology* 157-158:422-426.

Takahashi, K., Berengueres, J.O.L., Obata, K. J. ve Saito, S., (2006), “Geckos’ Foot Hair Structure and Their Ability to Hang From Rough Surfaces and Move Quickly”, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 26:639–643.

Taniguchi, N., (1996), *Nanotechnology, Integrated Processing Systems for Ultra-Precision and Ultra-Fine Products*, Oxford Univ. Press, Oxford.

Torres, C.D., Heaney, P.J., Sumant, A.V., Hamilton, M.A., Carpick, R.W. ve Pfefferkorn, F.E., (2009), “Analyzing the Performance of Diamond-Coated Micro End Mills”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49:599-612.

Viotti, M.R., Albertazzi, A., Fantin, A.V. ve Pont, A. D., (2007), “Comparison Between a White-Light Interferometer and a Tactile Formtester for the Measurement of Long Inner Cylindrical Surfaces”, *Optics and Lasers in Engineering*, 46:396-403.

Vorbuger, T. V. ve Raja, J., (1990), *Surface Finish Metrology Tutorial*, U.S. Department of Commerce-National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.

Wang, M.Y ve Chang, H.Y., (2004), “Experimental Study of Surface Roughness in Slot End Milling AL2014-T6”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44: 51-57.

Whitehouse, D. J., (1997), "Surface metrology", Measurement Science and Technology. 8:955-972.

Wilson, M. ve Kannangara, K., (2002), Nanotechnology: Basic Science and Emerging Technologies, University of New Wales Press Ltd., Sydney.

Wyant, J. C., (2002), "White Light Interferometry", Optical Sciences Center-University of Arizona, Tucson.

Yalamanchili, M. R., Veeramasuneni, S., Azevedo M. A. D., Miller J. D., (1998), "Use of Atomic Force Microscopy in Particle Science and Technology Research", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 133:77-88.

Zhang, L. ve Webster, T. J., (2009), "Nanotechnology and nanomaterials: Promises for Improved Tissue Regeneration", Nano Today, 4:66-80.

Ziaie, B., Baldi, A. ve Atashbar, M. Z., (2007), Introduction to Micro/Nanofabrication, 197-237, Springer Handbook of Nanotechnology, (Der.) Bhushan, B., (Derl.), Springer Science+Business Media, Inc., Ohio.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.bionik.tu-berlin.de

[2] <http://biodsign.wordpress.com>

[3] www.nanoshield.biz

[4] www.technologyreview.com

[5] <http://physicsworld.com>

[6] www.discovernano.northwestern.edu

[7] www.nanosolar.com

[8] <http://openlearn.open.ac.uk>

[9] www.reade.com

[10] <http://pprco.tripod.com>

[11] www.surfaceengineering.org

[12] http://python.rice.edu/~arb/Courses/Images/360_02_handout9.jpg

[13] www.bruker-axs.de

[14] www.ntmdt.com

- [15] <http://jb.asm.org>
- [16] www.geos.ed.ac.uk
- [17] www.uga.edu
- [18] www.geology.wisc.edu
- [19] www.npl.co.uk
- [20] <http://cnx.org>
- [21] www.tfrc.gov
- [22] www.grindwellnorton.co.in
- [23] www.misumiusa.com
- [24] www.bcmac.com
- [25] <http://me.queensu.ca>
- [26] <http://frictioncenter.engr.siu.edu>
- [27] www.taylor-hobson.com
- [28] www.d-coat.de
- [29] www.cemecon.de

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	: 06.01.1986	
Doğum Yeri	: İstanbul	
İlkokul	: Moda İlkokulu	(1992-1997)
Lise ve Ortaokul	: Üsküdar Çağrı Bey Anadolu Lisesi	(1997-2004)
Lisans	: Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği	(2004-2008)
Yüksek Lisans	: Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı	(2008-2010)
Yüksek Lisans (2. Sene)	: Viyana Teknik Üniversitesi, Yüksek lisans tez çalışması, (Erasmus öğrenci değişim programı)	(2009-2010)