

**Al₂O₃ SERAMİK MALZEMENİN
TALAŞLI İMALAT YÖNTEMLERİYLE
ŞEKİLLENDİRİLMESİNİN İNCELENMESİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

Şenol ŞİRİN

**Al₂O₃ SERAMİK MALZEMENİN TALAŞLI İMALAT METOTLARIYLA
ŞEKİLLENDİRİLMESİNİN İNCELENMESİ**

Şenol ŞİRİN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

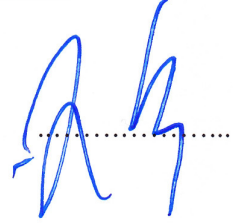
KARABÜK

Ocak 2012

Şenol ŞİRİN tarafından hazırlanan “Al₂O₃ SERAMİK MALZEMENİN TALAŞLI İMALAT METOTLARIYLA ŞEKİLLENDİRİLMESİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Tez Danışmanı, Makina Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/ 01/ 2012

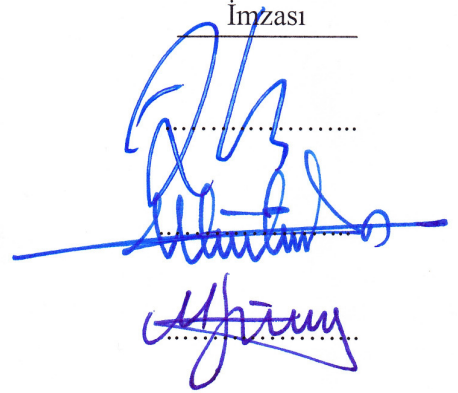
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin ZEYVELİ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

İmzası



...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Şenol ŞİRİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Al₂O₃ SERAMİK MALZEMENİN TALAŞLI İMALAT METOTLARIYLA ŞEKİLLENDİRİLMESİNİN İNCELENMESİ

Şenol ŞİRİN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Ocak 2012, 62 Sayfa

Bu çalışmada, alümina (Al₂O₃) seramik malzemenin işlenmesinde çok kristalli elmas (PCD) kesici takımların performansını belirlemek amacıyla tornalama ve frezeleme yöntemleriyle işleme deneyleri yapılmıştır. Tornalama deneyleri dört farklı kesme hızında (7,5-15-22,5 ve 30 m/dk), 0,1 mm/dev ilerleme hızı ve 0,5 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilirken frezeleme deneyleri PCD kesici takımların yüksek maliyeti nedeniyle yalnızca iki farklı kesme hızında yapılabilmektedir. Deneyler sonucunda kesici takımında oluşan aşınma miktarları ve işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Tornalama yöntemiyle yapılan işleme deneylerinde kabul edilebilir yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ancak, frezeleme yönteminde yüzey pürüzlülük değeri bakımından kabul edilebilir sonuç alınamamıştır. Frezeleme işlemiyle elde edilen yüzeylerde kopmalar görülmüştür. Tornalama işleminde en düşük kesme hızında (7,5 m/dk) yüksek yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Kesici takımlarda düzenli yan aşınmaları tarama elektron mikroskobu (SEM) incelemelerinden görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Talaşlı İmalat, PCD, alümina (Al_2O_3), yüzey pürüzlülüğü.

Bilim Kodu : 708.3.028

ABSTRACT

M.Sc Thesis

AN INVESTIGATION INTO THE SHAPING OF Al_2O_3 CERAMIC MATERIAL THROUGH MACHINING

Şenol ŞİRİN

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Education**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

January 2012, 62 pages

In this study, machining tests through turning and milling processes were carried out on aluminium oxide (Al_2O_3) ceramic material in order to determine the performances of polycrystalline diamond (PCD) cutting tools. The turning tests were performed at four different cutting speeds (7.5-15-22.5 and 30 m/min), 0.1 mm/rev feed rate and 0.5 mm depth of cut while, the milling tests were performed at only two cutting speed due to the high cost of PCD tools. Cutting tool wear and machined surface roughness values were determined. Acceptable surface roughness values were obtained by machining through turning process. However, milling process did not result in acceptable surface roughness values. Some cracks and detached workpiece parts were observed on the milled surfaces. In turning, the lowest cutting speed of 7.5 m/min resulted in the highest surface roughness value. Scanning electron microscopy (SEM) examinations showed gradual cutting tool wear especially in flank surface of the cutting tools.

Key Words : Machining, PCD, alumina(Al_2O_3), surface roughness.

Science Code : 708.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının belirlenmesinde, taslağının oluőturulmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı őekillendiren saygıdeğer hocam Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deneyler sırasında, yine bilgisinden yararlandığım desteğini esirgemedен çalıőmalarımda yardımcı olan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a ve sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT'a teşekkür ederim.

Ayrıca; tez çalışmasında hep yanımda hissettiğim, varlıklarımı destek bildiğim biricik eőim ve oğluma, yine beni bugünlere getiren anne ve babama őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	4
LİTERATÜR ÇALIŞMASI	4
2.1. YAPILAN ÇALIŞMALAR	4
BÖLÜM 3.	7
İŞLENEBİLİRLİK VE İŞLENEBİLİRLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	7
3.1. İŞLENEBİLİRLİK	7
3.1.1. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler	8
3.1.1.1. Malzeme Mikro Yapısının Etkisi	8
3.1.1.2. Isıl İşlemin Etkisi.....	9
3.1.1.3. Alaşım Elementlerinin Etkisi	9
3.1.1.4. Mekanik Özelliklerin Etkisi	10
3.2. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ	11
3.3. TORNALAMA	12
3.3.1. Talaş Kaldırma Mekaniği	13
3.4. FREZELEME.....	13

Sayfa

3.4.1. Frezeleme İşleminde Talaş Kaldırma.....	14
3.4.1.1. Alın Frezeleme Yöntemi.....	15
3.4.1.2. Simetrik Frezeleme Yöntemi	16
3.4.1.3. Asimetrik Frezeleme Yöntemi	16
3.4.1.4. Çevresel Frezeleme Yöntemi	17
3.4.2. Aynı Yönlü Frezeleme	17
3.4.3. Zıt Yönlü Frezeleme.....	18
3.5. KESİCİ TAKIM	20
3.5.1. Kesici Takım Geometrisi.....	20
3.5.2. Kesici Takım Malzemeleri	21
3.5.2.1. Çok Kristalli Elmas (PCD).....	21
3.5.3. Takım Aşınması	22
3.6. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	24
3.6.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar	24
3.6.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler.....	25
3.6.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu.....	25
3.6.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri.....	26
3.6.5. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	27
3.6.5.1. Örnekleme Uzunluğu ve Örnekleme Sayısı.....	27
3.6.5.2. Ortalama Çizgisi	28
3.6.5.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (R_a).....	28
3.6.5.4. Genlik Dağılım Eğrisi (R_{sk}).....	29
BÖLÜM 4.	31
ALÜMİNYUM OKSİT SERAMİK-ALÜMİNA (Al_2O_3)	31
4.1. ALÜMİNA YAPISI	31
4.2. ALÜMİNA ÜRETİMİ.....	34
4.2.1. Asidik Yöntemler	35
4.2.2. Elektrotermik Yöntemler.....	35
4.2.3. İndirgeme Metodu	36
4.2.4. Kavurma Metodu	36
4.2.5. Bazik Yöntemler	37

	<u>Sayfa</u>
4.3. TİCARİ ALÜMİNA SINIFLARI	37
4.3.1. Aktif Alümina	37
4.3.2. Kalsine Edilmiş ve Yüksek Safılıkta Alümina	38
4.4. ALÜMİNA ESASLI SERAMİKLERİN KULLANIM ALANLARI	38
4.4.1. Aşınmaya Karşı Alümina Seramikler	41
4.4.2. Alümina Seramiklerin Savunma Amaçlı Kullanımları	41
4.4.3. Alümina Seramiklerin Biyolojik Amaçlı Kullanımları	42
4.4.4. Teknik Seramik Olarak Alümina	44
4.5. ALÜMİNANIN DİĞER SERAMİKLERLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	45
BÖLÜM 5.	47
MALZEME VE METOD	47
5.1. DENEY NUMUNELERİ.....	47
5.2. KESİCİ TAKIMLAR VE TAKIM TUTUCULAR	48
5.3. KULLANILAN TAKIM TEZGAHLARI	49
5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI	49
5.5. TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) VE STEREO MİKROSKOP.....	50
5.6. DENEY DEĞİŞKENLERİ	50
BÖLÜM 6.	51
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	51
6.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ.....	51
6.2. KESİCİ TAKIM AŞINMASI	53
BÖLÜM 7.	56
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR.....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin karbon muhtevası ile değişimi	9
Şekil 3.2. Çekme dayanımına (TS) karşılık, sertlik (H) ve süneklikteki (D) değişim	10
Şekil 3.3. Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi	12
Şekil 3.4. Tornalama yöntemiyle talaş kaldırma işlemi	13
Şekil 3.5. Kesici uçların tutucuya yerleştirilmesi	15
Şekil 3.6. Simetrik alın frezelemenin gösterilişi.....	16
Şekil 3.7. Asimetrik frezelemenin gösterilişi	17
Şekil 3.8. Aynı yönlü çevresel frezelemenin gösterilişi.....	18
Şekil 3.9. Zıt yönlü frezelemenin gösterilişi.....	19
Şekil 3.10. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım.....	20
Şekil 3.11. Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi	23
Şekil 3.12. İlerleme ve takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	25
Şekil 3.13. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu	28
Şekil 3.14. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi	28
Şekil 3.15. Profil ve genlik dağılım eğrisi.....	30
Şekil 4.1. Farklı alümina içerikli seramiklerin sıcaklık (°C)–bükülme mukavemeti ilişkileri	34
Şekil 4.2. Alüminanın diş protezlerinde uygulaması	43
Şekil 4.3. Alüminanın taşlama taşı olarak kullanımı	45
Şekil 5.1. Tornalama deneyleri için alümina deney numunesi boyutları.....	47
Şekil 5.2. Frezeleme deneyleri için alümina deney numunesi boyutları.....	47
Şekil 5.3. Tornalama (a) ve frezeleme (b) işlemlerinde kullanılan kesici takımların geometrisi ve boyutları	48
Şekil 5.4. Tornalama deneylerinde kullanılan takım tutucu özellikleri	49
Şekil 6.1. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına bağlı değişimi.....	52
Şekil 6.2. Frezeleme işleminde kullanılan kesici takım.	53
Şekil 6.3. Kesici takım aşınmasının kesme hızına bağlı değişimi.	54
Şekil 6.4. Torna kesici takımların kesme kenarlarının SEM görüntüleri.	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Alüminanın fiziksel ve termal özellikleri	32
Çizelge 4.2. Alüminanın endüstriyel kullanım alanları	40
Çizelge 4.3. Seramiklerin özellikleri	46
Çizelge 5.1. Tornalama deney değişkenleri	50
Çizelge 6.1. Tornalama deneyleri sonucu elde edilen yüzey pürüzlülükleri	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a_p	: Kesme derinliği
a_e	: İşleme genişliği
α_f	: Yan kenar talaş açısı
α_p	: Sırt talaş açısı
C_{lf}	: Yan boşluk açısı
b	: İş parçasının genişliği
D_c	: Takım çapı
f	: İlerleme hızı
f_z	: Diş başına ilerleme miktarı
f_n	: Devir başına ilerleme miktarı
h_m	: Ortalama talaş kalınlığı
P_c	: Net güç
R_a	: Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
R_p	: Pürüzlülüğün düzeltilmiş derinliği
R_t	: Pürüzlülük derinliği
R_{sk}	: Genlik dağılım eğrisi
V	: Kaldırılan talaş hacmi
V_c	: Kesme hızı
V_f	: Tabla ilerlemesi
α	: Talaş açısı
z	: Frezenin kesici diş sayısı, adet
L	: Örnek uzunluğu
r	: Takım uç radyüsü

KISALTMALAR

Al_2O_3	: Alüminyum oksit
Al	: Alüminyum
BUE	: Built up edge
PCD	: Çok kristalli elmas
CBN	: Kübik bor nitür
C	: Karbon
Cr	: Krom
CNC	: Bilgisayarlı nümerik kontrol
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
PCD	: Çok kristalli elmas
TS	: Türk standartı
DIN	: Alman standard enstitüsü
HSS	: Yüksek hız çeliği
HRC	: Rockwell-C sertlik birimi
ISO	: Uluslararası standard organizasyonu
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
SEM	: Tarama elektron mikroskobu
ZrO_2	: Zirkonyum dioksit
MgO	: Magnezyum oksit
SiO_2	: Silisyum dioksit
TiO_2	: Titanyum dioksit
Si_3N_4	: Silisyum nitür
SiC	: Silisyum karbür
TiC	: Titanyum karbür
B_4C	: Bor karbür
Y_2O_3	: İtiryum oksit
NaCl	: Sodyum klorür
HCl	: Hidrojen klorür
HNO_3	: Nitrik asit
H_2SO_4	: Sülfürik asit
$AlCl_3$: Alüminyum klorür

$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$: Alüminyum nitrat
CaCO_3	: Kalsiyum karbonat
BaCO_3	:Baryum karbonat
NaOH	:Sodyum hidroksit
Na_2CO_3	: Sodyum karbonat
CaO	: Kalsiyum oksit
WC	: Volfram karbür
Fe	: Demir
EKİ	: Elektrokimyasal işleme
EEİ	: Elektro erozyon işleme

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde, her biri farklı amaca sahip birçok talaşlı imalat yöntemi mevcuttur. İş parçalarının ekonomik şekilde işlenmesi için bunların verimli kullanılması gerekmektedir [1].

Bütün imalat işlemlerinde ürünün ölçü ve geometrik toleranslarının yanında tatminkâr bir yüzey kalitesi de büyük önem arz etmektedir. Çeşitli yöntemlerle üretilmiş parçaların etkin bir şekilde işlevlerini yerine getirebilmelerinde yüzey kalitesi de önemli bir faktördür [2].

Teknolojinin yüksek bir hızla geliştiği günümüzde, üzerinde yıllardır çalışma ve araştırma yapılan seramikler, sahip olduğu birçok özellik yüzünden geniş bir çevreye hitap etmektedir. Metallerle karşılaştırıldıklarında yüksek sertlikleri, korozyon dayanımları, yüksek yalıtkanlıkları, düşük yoğunlukları ve mükemmel yüksek sıcaklık özellikleri nedeniyle özellikle yüksek performanslı ürünler için iyi bir kullanım potansiyeline sahiptirler. Seramikler üzerine dünyada otomotiv, uzay-havacılık, savunma sanayi, tekstil, tıp, elektronik ve inşaat alanında çalışmalar yapılmaktadır. Silisyum karbür, silisyum nitrür, sialon, titarat, niobat, ferrit, germanat ve alümina gibi maddelerden üretilen seramiklere ileri mühendislik seramikleri adı verilmektedir. Günümüzde dünyada geniş bir kullanım alanına sahip olan ileri mühendislik seramik malzemelerin en başında mekanik, optik, ısı, elektrik, ve kimyasal özelliklerinden dolayı alümina ve alümina esaslı seramikler gelmektedir. Seramik malzemelere ilginin artmasının nedenleri aşağıdakiler gibi sıralanabilir:

1. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılık
2. Kimyasal kararlılığın yüksek oluşu
3. Çok sert olmaları

4. Metallere nazaran çok hafif olmaları (%40'a varan)
5. Hammaddelerinin çok miktarda mevcut olması
6. Metallere göre çok daha ucuz olması
7. Pahalı ve stratejik metallerin yerine kullanılabilmesi
8. Erozyon ve aşınmaya karşı mukavemetli olması
9. Oksitlenmeye karşı dirençlerinin çok yüksek olması
10. Sürtünme katsayılarının metallere göre çok az olması
11. Basma mukavemetinin çok fazla olması [3].

Son 30 yılda seramik malzemelere karşı oluşan büyük talep artışı, seramik malzemelerin kullanımı ve geliştirilmesinde araştırmaların artmasına sebep olmuştur. Seramiklerin doğasında var olan yüksek aşınma direnci, yüksek sertlik, yüksek ergime sıcaklığı ve kimyasal kararlılık gibi bazı temel özellikler birçok uygulamada avantaj oluşturmaktadır. Ancak, günümüzde seramik malzemelerin potansiyelinden yüksek üretim maliyetleri nedeniyle faydalanılamamaktadır. Üretim maliyetleri metal ve alaşımlarına kıyasla çok yüksektir. İlave olarak çok yüksek sertlikleri nedeniyle çok kırılındırlar [3].

Mühendislik seramikleri bilindiği üzere ticari olarak sıkıştırma teknikleriyle (izostatik presleme, enjeksiyon kalıplama) şekillendirilerek, sinterleme yöntemiyle üretilmektedir. Sıkıştırılmış tozlar sinterlendiğinde boyutlarında % 15 – 20 hacimsel (bazen % 40) azalma meydana gelmektedir [4, 5]. Çok sayıda üretim için bu metotlar avantajlı olmaktadır. Ancak boyut tamlığı ve yüzey kalitesi açılarından üretim şekli ve işlem detaylarının belirlenmesi için uzun ve zahmetli çalışmalar yapılması gerekmektedir. İstenen ürünün elde edilebilmesi veya araştırma ve geliştirme çalışmalarında mevcut bir ürün üzerinde değişikliğin yapılabilmesi için seramik malzemelerde ikinci bir işleme gerek duyulmaktadır. Uygulanan bu işlemler maliyeti artıran unsurlardır.

Mühendislik seramiklerinde yüksek boyut tamlığına sahip karmaşık şekiller elde etmek zaman alıcı ve zordur. Ayrıca çeşitli alanlarda mikro boyutta üretimin gerekmesiyle özel işleme yöntemleri ve alışılmamış imal usullerinde de gelişmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle seramikler gibi sert, kırılğan, elektriksel iletken

olmayan (yalıtkan) iş parçalarının metal işlemeye benzer yöntemlerle işlenmesi oldukça zordur. Seramik malzemelerin kesilmesinde genelde geleneksel elmas diskler kullanılmaktadır. Bu yöntemle işlemede geometrik sınırlamalar (kör delik delme problemi gibi) ve yüksek maliyet problemleri karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde elektriksel olarak iletken ve yalıtkan seramiklerin işlenmesi için ultrasonik işleme, aşındırıcı jetle işleme, lazerle işleme ve elektrokimyasal işleme (EKİ) gibi alışılmamış imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Literatür çalışmalarında alışılmamış imalat yöntemlerinin birkaçının birleştirilerek uygulandığı yeni hibrit yöntemler de yer almaktadır. Sayılan bu yöntemlerin işleme açısından kendilerine özgü sınırlayıcı özellikleri bulunmaktadır [6].

Bu çalışmanın amacı çok geniş bir kullanım alanına sahip olan alüminyum oksit (alümina) seramiklerin talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilebilirliğini incelemektir. Kesici takım olarak çok kristalli elmas (PCD) kullanılarak tornalama ve frezeleme yöntemleriyle alümina üzerinden talaş kaldırılacaktır. Yapılan işleme deneyleri ile işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri ve kesici takım aşınmaları incelenecektir. Ayrıca, alümina seramiklerin talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilebilmesinin mümkün olup olmadığı da bu çalışma ile görülecektir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bhattactaryya ve arkadaşları, elektrokimyasal işleme (EKİ) yöntemi ile alümina (Al_2O_3) iş parçaları üzerinde gerçekleştirdikleri deneyler sonucu bu yöntemin yalıtkan seramiklerde karmaşık şekiller elde etmek için uygun olduğunu belirtmişlerdir. Grafit tozu karışımlı elektrolit kullanılarak elektrokimyasal işleme yöntemi ile yapılan çalışmada, 1 mm kalınlığında borsilikat camı 0,2 mm çaplı WC elektrot ile % 30 NaCl elektrolitinde işlenmiş ve toz konsantrasyonu artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığını belirtmişlerdir [7].

Aşındırıcılı su jeti ile % 87 saflıktaki alümina kesilmiştir [8]. Yalıtkan malzemelerin işlenmesinde kullanılan bir diğer yöntem ise aşındırıcılı hava jeti yöntemidir. Yapılan bir çalışmada alümina seramik iş parçalarının yüksek işleme hızlarında kesilebilmesi için sentetik elmas aşındırıcının kullanılması gerektiği belirtilmiştir [9]. ZrO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3 ve SiC seramikler üzerine yapılan çalışma neticesinde de iş parçasının tokluğu ve sertliğinin işleme hızında kritik rol oynadığı ortaya konmuştur [10].

Eray, yapmış olduğu çalışmada, turbo döngüsel motor palet ve palet yuvasında çalışma toleransı düşük çeşitli malzemeler (bor karbür- B_4C , volfram karbür-Wc, alümina- Al_2O_3) kullanarak motorun çalıştırılmasını ve performansının iyileştirilmesini amaçlamıştır. Turbo döngüsel motorda kullanılan, alümina palet ve plakaları imal edebilmek için, kalıplar tasarlayarak üretmiştir. Üretilen bu kalıplar yardımı ile alümina tozundan pres yöntemi ile plakaları şekillendirmiştir. Pres yöntemiyle şekillendirilen alümina parçalar 1550 °C'de sinterlenerek CBN (kübik bor nitrür) diskler yardımı ile tolerans ölçüleri dahilinde işlemiştir. Deneyde montajı

yapılan alümina plakaların çalışma esnasında oluşan basınç dalgalarına karşı dayanıklı olduğunu ve düşük devirlerde plakaların aşınmadığı ifade edilmiştir[11].

Küçüktürk, yaptığı çalışmada yalıtkan seramiklerin özellikle alümina (Al_2O_3) olmak üzere, titanyum karbür (TiC), volfram karbür (WC), zirkonyum dioksit (ZrO_2), bor karbür (B_4C), titanyum dioksit (TiO_2), silisyum karbür (SiC), cam iş parçası, itriyum oksit (Y_2O_3) katkılı zirkonyum dioksit (ZrO_2) ve çeşitli şekle sahip takım uçları, elektro erozyon işleme (EEİ) yöntemi yardımıyla, bazı yardımcı teknikler kullanarak, işlenebilirliğini amaçlamıştır. Alüminayı yapmış olduğu EEİ yöntemiyle, grafit tozlarını belli bir oranda ve yönde parça yüzeyine gönderip, bir bakır levha ile destekleyerek cihazın verdiği elektrik gücü sayesinde işlemiştir. Yapmış olduğu deneyler sonucunda ortaya çıkan sonuçlarda belli oranlarda seramikleri işlemiş fakat işleme sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri ve ölçü tamlıkları çok kötü çıkmıştır. Kullanmış olduğu yöntemle yapmış olduğu bu çalışmada en kötü yüzey pürüzlülüğünü alüminada elde etmiştir [6].

Günay, yapmış olduğu çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle metal matrisli kompozit malzemeler üretmiştir. Kompozitlerin üretiminde matris malzemesi olarak ortalama 63 µm ebatlarında ön alaşımlı Alumix 231 (Al-Si alaşımı) tozu, takviye elemanı olarak ise ortalama 20,1 µm ebatlarında silisyum karbür (SiC) parçacıklar kullanmıştır. Ağırlıkça % 5, % 10 ve % 15 silisyum karbür içeren kompozit malzemelerden numuneler üretmiştir. Ayrıca, karşılaştırma amacıyla yalnızca Alumix 231 tozlarından üretilen numune de üretmiştir. Numuneler, kaplamasız sementit karbür, kübik bor nitür ve çok kristalli elmas (PCD) kesici takımlar kullanılarak tornalama metoduyla işlenebilirlik deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda; en iyi yüzey pürüzlülüğü, % 15 SiC içeren numunenin 0,1 mm/dev ilerleme ve 300 m/dk kesme hızında PCD kesici takımla işlenmesiyle 0,45 µm olarak elde etmiştir [12].

Yergök, yapmış olduğu tez çalışmasında germanyumu PCD kesici takımlarla tornalama yöntemi kullanarak işleme deneyleri yapmıştır. Deneyler sonrası yüzeylerin pürüzlülük değerlerini ölçerek kesme hızının ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemiştir [13].

Literatürde seramiklerin işlenmesi üzerinde yapılan diğer bir işleme yöntemi lazerle işlemedir. Lazerle işleme yöntemi, yalıtkan seramiklerin işlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Black ve arkadaşları, karbon dioksit (CO₂) lazer kullanarak silisyum (Si) ve alümina (Al₂O₃) seramik uçlarıyla deney yapmışlardır [14]. Yapılan diğer bir çalışmada; Dhupal ve arkadaşları, alümina silindirik iş parçalarını Nd-YAG lazer kullanarak kesme deneyleri yapmışlardır [15]. Yapılan bu lazer kesme deneyleri sonucunda, paralelliği düzgün olmayan şekiller ortaya çıkmış ve lazerle delik delme-büyütme operasyonlarında ise konik bir geometri meydana geldiği belirtilmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında, seramik malzemelerden alümina (Al₂O₃) üzerine çeşitli çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalar alüminayı belli boyuta kaba işlemeyle getirme şeklinde olmuştur. Seramiklerin son bitirme (finiş) işlemi üzerine pek fazla bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışmalarda alüminanın kesme, delme ve yüzey işlemede kısıtlı kesme derinliği, kötü yüzey kalitesi, paralellik karşılaşılan sorunlardandır. Bu dezavantajlar son bitirme işlemlerinde talaşlı imalat ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

BÖLÜM 3

İŞLENEBİLİRLİK VE İŞLENEBİLİRLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.1. İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik, birçok kitap, makale veya tartışmalarda kolay veya zor işlemenin bir kriteri olarak malzemenin kalitesi veya varlığını ifade etmek için kullanılır. İşlenebilirlik kavramının kesin bir tanımı olmamakla birlikte en basit şekilde aşağıdaki gibi tanımlanabilir [16].

İşlenebilirlik “bir malzemenin istenilen biçimde, boyutta ve yüzey kalitesinde işlenmesinin kolaylığını veya zorluğunu gösteren bir kavramdır” [16].

İş parçasının kimyasal bileşimi, mikro yapısı, ısıl işlem, saflık vb. bütün değişkenler işlenebilirliği etkiler. Talaş oluşumu, takım aşınması, bitirme yüzeyi kalitesi ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirlik karakteristikleri ile iş parçasının işlenebilirliği belirlenebilir. Fakat bu karakteristiklerin işleme parametrelerine de bağımlılığı önemlidir [16].

İşlenebilirlik, uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak bir malzemeyi (çoğunlukla metal) talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirebilmenin nispi kolaylığı veya zorluğudur [16].

İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, işlenebilirlik sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır [16].

İşlenebilirlik evrensel olarak tanımlanmış standart bir özellik değildir. Genellikle iş parçasının işlenebilme kabiliyeti olarak adlandırılır. İşlenebilirlik üzerinde kesici

kenarın, takım tutucunun, takım tezgahının, kullanılan işlemlerin ve işleme koşullarının da etkisi büyüktür [17].

Sertlik arttıkça kesici takımda aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalmır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (Built-Up-Edge-BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir. Örnek olarak, nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş ile uzaklaştırılması ile ilgili problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, düşük karbonlu çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için ekseriyetle soğuk çekme işleme uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak kolay talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracak için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısı iletkenlik kesme bölgesinden oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısı iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [16].

3.1.1. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

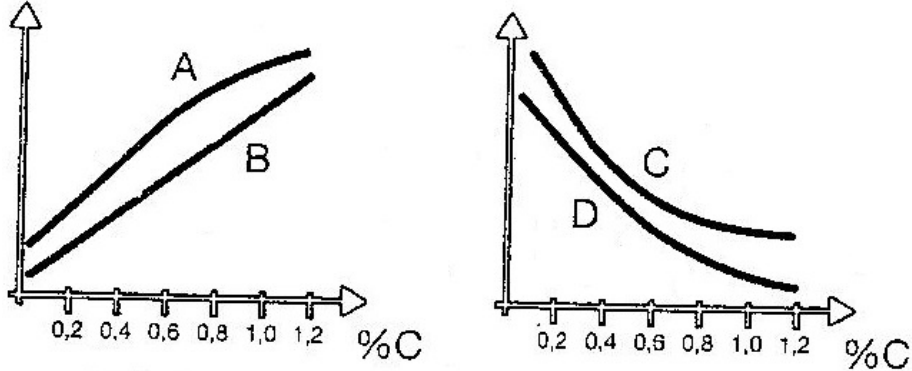
3.1.1.1. Malzeme Mikroyapısının Etkisi

Metal ve alaşımlarının işlenebilirliği, mikroyapısı ile ilgili olup, yapıda sert parçacıkların bulunması kesici takım ömrünü düşürürken, yapıdaki taneler büyüdükçe takım ömrü artar [16].

İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme şartlarının optimizasyonu amacı ile yaygın kullanılan iş parçası malzemeleri gözden geçirildiğinde öncelikle temel malzeme özellikleri ve bunların işlenebilirliği nasıl etkilediği dikkate alınmalıdır [2].

Şekil 3.1’de iş parçası karbon muhtevası ile değişen dört temel mekanik malzeme özelliğindeki genel eğilimi göstermektedir. Bunlar:

- A: Çekme Dayanımı
B: Sertlik
C: Darbe Dayanımı
D: Uzama (Yüzde uzama – süneklik) [18].



Şekil 3.1. Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin karbon muhtevası ile değişimi [18].

3.1.1.2. Isıl İşlemin Etkisi

Metal ve alaşımları çeşitli ısıl işlemlere tabi tutulduğunda sertlik, süneklik ve dayanım özellikleri değişir. Özelliklerdeki bu değişim de bu malzemelerin işlenebilirliğini etkiler [16].

3.1.1.3. Alaşım Elementlerinin Etkisi

İş parçası malzemesi içerisindeki alaşım elementleri malzemelerin işlenebilirliğini etkiler. Çelik içerisinde karbon miktarı azaldıkça, işlenebilme özelliği düşer. Çünkü azalan karbon miktarı ile süneklik arttığından kesici takım ucunda önemli derecede yıgıntı talaş oluşur. Bu da yüzey kalitesini önemli derecede kötüleştirir. Diğer taraftan karbon oranı artırıldıkça malzemenin sertliği arttığından, takım aşınması hızlanır [16]. Benzer şekilde diğer alaşım elementleri de malzemelerin özelliklerini değiştirdiği için işlenebilirliği etkiler. Ayrıca, kurşun, kükürt ve silisyum gibi bazı elementler talaş oluşumu esnasında kayma düzleminde boşluk oluşturarak veya

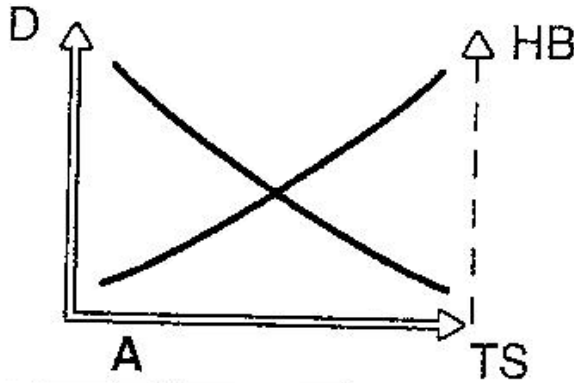
takım talaş arayüzeyinde sürtünme katsayısını azaltarak işlenebilirliği kolaylaştırır [19].

3.1.1.4. Mekanik Özelliklerin Etkisi

Malzemelerde genelde, sertlik ve çekme dayanımı arasında ilişki bulunmaktadır. Bir malzemenin sertliği ve çekme dayanımı arttıkça, işlenebilme özelliği o derece azalmaktadır [16]. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi çok düşük sertlik de yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine neden olduğu için işlenebilirliği kötüleştirir.

Düşük yüzey kalitesine, çapak oluşmasına ve kısa takım ömrüne sebep olan BUE oluşmasından dolayı problemlere yol açan çok sünek malzemeler bu durumun dışındadır. Bu tür malzemelerde soğuk çekme işlemleri ve benzeri yollarla artırılmış sertlik olumlu bir etkiye sahiptir [18].

Düşük süneklik değeri genellikle olumludur. Talaş oluşumu bakımından bir avantajdır ve enerji verimli bir talaş kaldırma yöntemi söz konusudur. Düşük süneklik yüksek sertlikle oluşur ve bunun tersi yüksek süneklik, düşük sertlik demektir. İyi işlenebilirlik, genellikle sertlik ve süneklik arasındaki bir uzlaşma noktasındadır. Şekil 3.2’de çekme dayanımına karşılık, sertlik (HB) ve süneklikteki (D) değişim görülmektedir.



Şekil 3.2. Çekme dayanımına (TS) karşılık, sertlik (HB) ve süneklikteki (D) değişim [18].

3.2. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ

Talaşlı üretim işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını (yarı mamul, döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı (torna, freze, matkap) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. İş parçası metal olduğu zaman işlem metal kesme olarak da isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir [20].

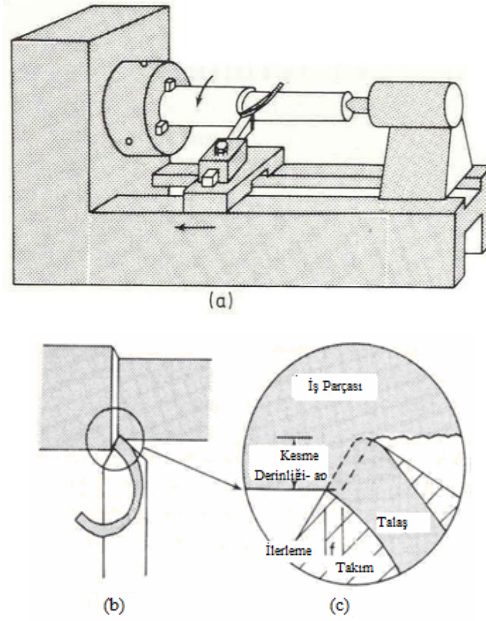
Aşağıdaki sebepler dikkate alındığında talaşlı imalat işleminin en önemli imalat yöntemlerinden biri olduğu anlaşılır;

1. Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Gerçekte bütün katı malzemeler işlenebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilir.
2. Talaşlı imalat işlemiyle düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırayla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir.
3. Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda elde edilebilir ve çok iyi yüzey kalitesi elde edilebilir [20].

Farklı geometrilerdeki iş parçalarını talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirmek için çeşitli talaşlı imalat işlemleri ve bu işlemlere özgü takım tezgahları geliştirilmiştir.

Tornalama işlemi talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemidir. Etkin bir talaşlı imalat işlemi olan tornalama işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İşlenecek olan iş parçası genelde bir aynaya bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler oluşturulur. Şekil 3.3'te torna tezgahı ve tornalama işlemi şematik olarak gösterilmektedir [21].

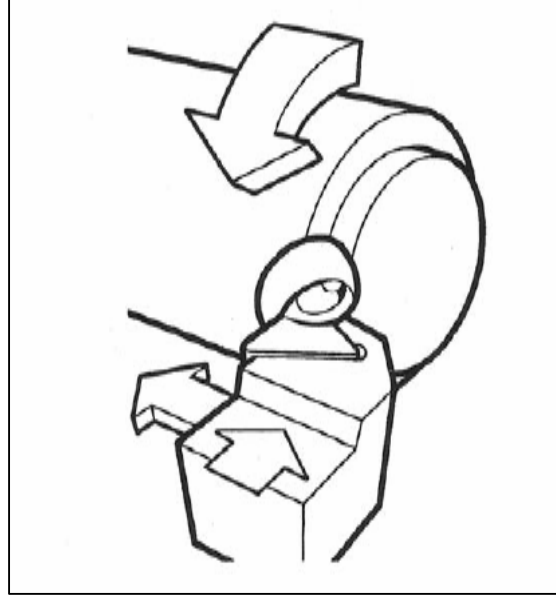
Kesme hızı (V_c), kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/dk olarak ifade edilir. İlerleme hızı (f), iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafedir. Kesme derinliği (a_p), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin çarpımıyla ekseriyetle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranı bulunur [22].



Şekil 3.3. Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi [22].
a) Torna tezgahı, b) Talaş kaldırma işlemi, c) İş parçası, kesici

3.3. TORNALAMA

Tornalama tek uçlu bir takımla gerçekleştirilen, silindirik parçalar üreten, bir çok durumda döner bir iş parçası ve sabit bir takımın kullanıldığı bir işlemdir (Şekil 3.4.). Birçok açıdan fazla karmaşık tanımlamalar gerektirmeyen, en bilinen talaşlı imalat yöntemidir. Genellikle tek kesici kenarın talaşlı imalat işlemine katıldığı bir işlem olmasına karşın tornalama işlemleri iş parçasının şekli ve malzemesi, işlemin tipi, işleme koşulları, işleme maliyeti gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterir [23].



Şekil 3.4. Tornalama yöntemiyle talaş kaldırma işlemi [23].

3.3.1. Talaş Kaldırma Mekanığı

Belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için kesici bir takımla ve güç kullanarak, iş parçası üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemine “talaş kaldırma” denilir. Kaldırılan malzeme tabakasına “talaş” denir. Talaş kaldırma işlemi plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın oluşumu, işlenen parçanın yüzey bütünlüğü, takım ucunun aşınmasını içine alan, karmaşık bir fiziksel olaydır [23].

Parça üzerinden belirli bir malzeme tabakası kaldırılması için, takımın o malzemeye nüfuz etmesi gerekir. Bu da ancak takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli ve takım malzemesinin parça malzemesinden daha sert olması halinde gerçekleşir [23].

3.4. FREZELEME

Kesici takımın kendi ekseni etrafında dönme hareketine karşılık, iş parçasının ilerlemesi ile meydana gelen talaş kaldırma işlemine “frezeleme” denir. Frezeleme yöntemi; üzerinde kesici uçlar bulunan kesici takımın kendi ekseni etrafında dönmesi

ile iş parçasının bağlı olduğu tablanın X, Y ve Z eksenlerinde hareket etmesiyle iş parçası üzerinden talaş kaldırmasıdır [24].

Frezeleme yöntemi ile düz yüzeylerin, eğrisel yüzeylerin, T kanalların, helisel kanalların, dişli çarkların ve hareket millerinin imal edilmesi için çeşitli geometriye sahip kesici takımlarla talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir [25].

Kesme hareketi; yani kesme hızı, bir freze çakısının çevresindeki kesen bir dişin, kesici kenarın bir dakikada metre cinsinden aldığı yoldur. Sürtünme hareketi; kesici takım ile iş parçası arasında kesme olayı sırasında ve talaş hızından dolayı meydana gelen harekettir.

İlerleme hareketi; kesmek üzere döndürülen kesici takımın dönme hareketine karşı, iş parçasının bir dakikada milimetre cinsinden aldığı yoldur. Yardımcı hareketler; Kesici takımın iş parçasına yanaşması ve talaş kaldırma işlemi bittikten sonra kesici takımın iş parçasından uzaklaşması için yapmış olduğu harekettir [26].

3.4.1. Frezeleme İşleminde Talaş Kaldırma

Frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma işlemi diğer talaş kaldırma işlemlerinden farklı olarak, kesici takımda bulunan kesici ağız sayısının birden fazla olması ve kesici takımların çeşitliliği bakımından oldukça karmaşık bir süreçtir. Freze tezgahında talaş kaldırma işlemi, kullanılan kesici takımın çeşidine ve frezeleme yönüne göre adlandırılır. Genel olarak frezeleme işlemi ile talaş kaldırma yöntemi dört ana başlık altında incelenebilir:

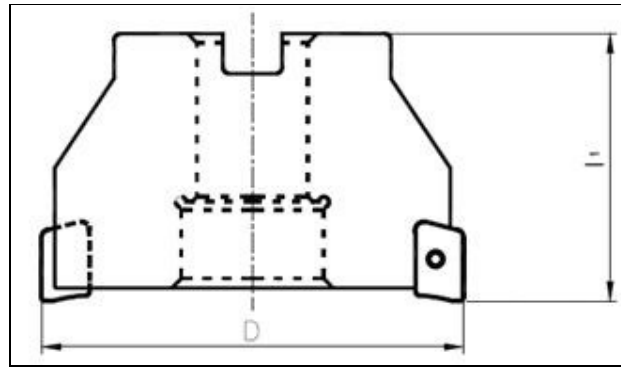
1. Silindirik vals freze çakısı ile çevresel frezeleme
 - 1.1. Aynı yönlü çevresel frezeleme
 - 1.2. Zıt yönlü çevresel frezeleme
2. Takma uçlu alın freze çakısı ile düzlem yüzeylerin frezelenmesi
 - 2.1. Simetrik frezeleme
 - 2.2. Asimetrik frezeleme
3. Form ve biçim freze çakısı ile frezeleme

- 3.1. Modül freze çakısı ile frezeleme
- 3.2. Değişik geometrilere sahip iç bükey ve dış bükey yüzeylerin frezelenmesi
- 4. Saplı freze çakısı ile frezeleme
 - 4.1. Parmak freze çakısı ile frezeleme
 - 4.2. Küresel parmak freze çakısı ile frezeleme [26].

3.4.1.1. Alın Frezeleme Yöntemi

Freze çakısının, alın ve çevresindeki kesici ağızların birlikte kesmesi ile yapılan frezeleme işlemine “alın frezeleme” denir. Elde edilen yüzeyler çakının dönme eksenine diktir. Burada kesme işleminin büyük bir kısmı, çevredeki kesici ağızlar tarafından yapılır. Alın yüzeydeki kesici ağızlar ise ince talaş kaldırma etkisi gösterirler. Silindirik alın freze çakıları ve takma uçlu alın freze çakıları ile düzlem yüzeyler işlenmeden önce iş mili diklik kontrolünün yapılması gerekmektedir.

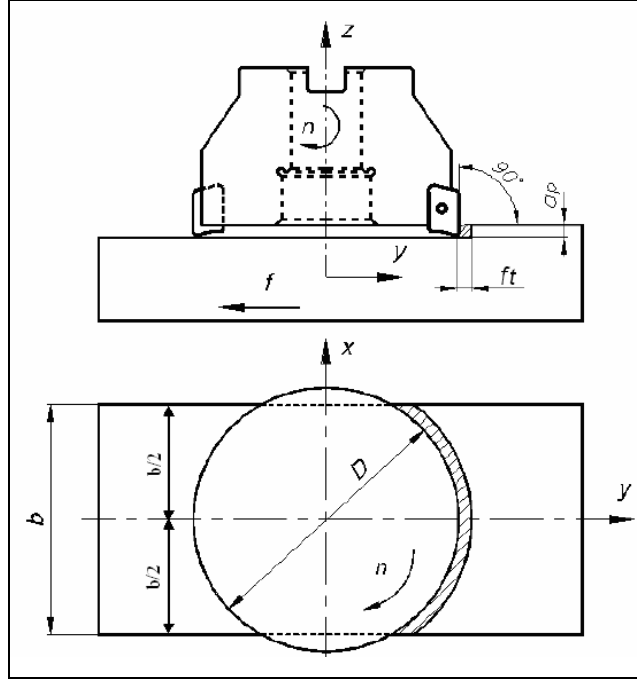
Silindirik alın freze çakıları, yüksek hız çeliğinden (HSS) bir bütün olarak imal edildiği gibi sert maden takma uçlu kesiciler sinterleme yöntemi ile imal edilir. Sinterleme yöntemi ile imal edildikten sonra, kaplama yöntemleri ile kaplanarak daha yüksek kesme hızlarına ulaşmak mümkün olmaktadır. Sert maden kesici uçlar tutucu şaftın etrafına mekanik sıkmalı veya lehimleme yöntemi ile takılırlar. Alın freze çakıları ile düzlem yüzeylerden simetrik ve asimetrik yöntemle talaş kaldırılır. Sert maden kesici ucun mekanik sıkma yöntemi ile şafta bağlantısı Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kesici uçların tutucuya yerleştirilmesi [25].

3.4.1.2. Simetrik Frezeleme Yöntemi

Alın frezeleme çakısı ile Şekil 3.6’da görüldüğü gibi simetrik frezeleme yapılmaktadır. Simetrik frezeleme yöntemi kesici takımın dönme eksenini ile iş parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakıştırmak suretiyle talaş kaldırma işlemidir. Yani kesici takım talaş kaldırırken iş parçasının tam ortasında hareket ettirilmelidir.

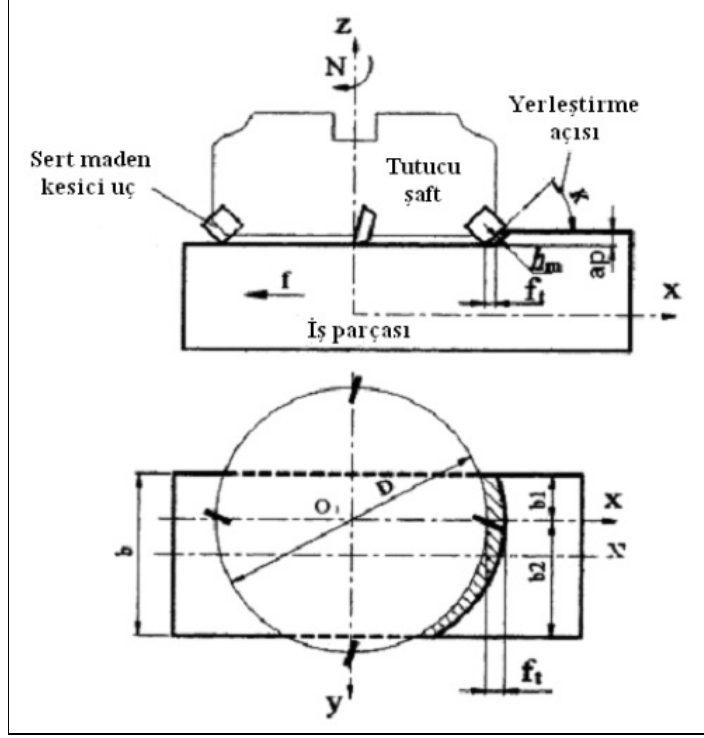


Şekil 3.6. Simetrik alın frezelemenin gösterilişi [25].

3.4.1.3. Asimetrik Frezeleme Yöntemi

Kesici takımın dönme eksenini ile iş parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakıştırmıyor ise bu frezeleme yöntemine “asimetrik frezeleme yöntemi” denir. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi alın freze çakısı ile asimetrik olarak talaş kaldırılmaktadır.

Simetrik ve asimetrik olarak talaş kaldırılabilmesi için, kesici takımın çapı frezelenen iş parçasının genişliğinden daima büyük olmalıdır [26].



Şekil 3.7. Asimetrik frezelemenin gösterilişi [26].

3.4.1.4. Çevresel Frezeleme Yöntemi

Çevresel frezeleme yöntemi, freze çakıların çevresindeki kesici uçların, talaş kaldırma işlemidir. Talaşlar kıvrık, virgül biçiminde ve talaş kesiti sürekli değişmektedir [26].

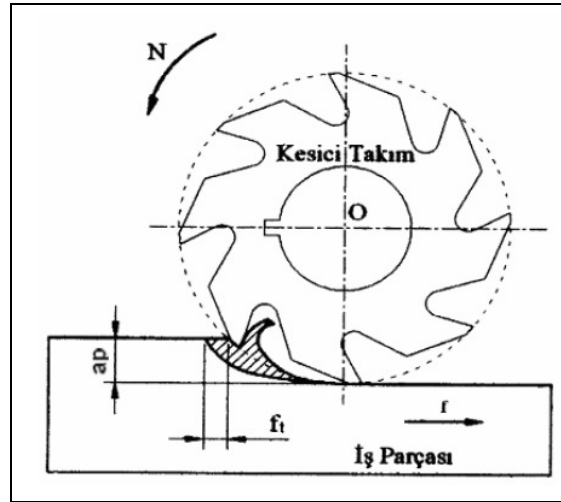
Kesici takım iş miline uzun malafalar yardımı ile bağlanır. Kesici takımın dönme eksenini ile talaş kaldırılacak yüzey paralel konumundadır. Kesici takımın dönmesiyle ve iş parçasının X, Y ve Z ekseninde belirlenen yönde ilerletilmesiyle talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

3.4.2. Aynı Yönlü Frezeleme

Aynı yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü ve iş parçasının ilerleme yönü aynı yöndedir. Freze çakısının iş parçasına batması esnasında, talaş kalınlığı en yüksektir. Virgül şeklinde talaşın meydana gelmesi esnasında talaş kalınlığı ile

beraber kesme kuvveti de azalır. Bu nedenle; son şekil verme frezeleme işleminde saplı freze çakıları ile iyi bir yüzey elde edilir. Aynı yönlü frezeleme işlemi avantajlıdır ve zıt yönlü frezelemeye göre daha ekonomiktir. Fakat aynı yönlü frezeleme yapabilmek için, freze tezgahlarının boşluğu olmayan tabla miline sahip olması gerekir.

Bu metotla, frezeleme işlemlerinde iş parçasının ilerlemesi, freze çakısının dönüş yönü doğrultusundadır. Kesme sırasında dişler, talaşı üstten kavradığından, işi bağlı olduğu tablaya (mengene, masa, bağlama kalıbı v.b) doğru bastırmaya çalışır. İşin sökülmemesi bakımından iyidir. Normal ilerleme yapılırken, kesici dişlerin kaldıracağı bir devirdeki miktar bellidir. Bu miktarı dişler, işin yüzeyinde en büyük değerden, işlenmiş yüzeyde sıfır olacak biçimde kaldırır. Freze çakısı, çok talaştan az talaşa giderken başlangıçta bağlı olduğu mili esnetmeye çalışırsa da, talaş azalarak bittiğinden, düzgün olarak dönen çakı, pürüzsüz bir yüzey çıkarır. Şekil 3.8’de aynı yönlü çevresel frezeleme yöntemi gösterilmektedir [26].



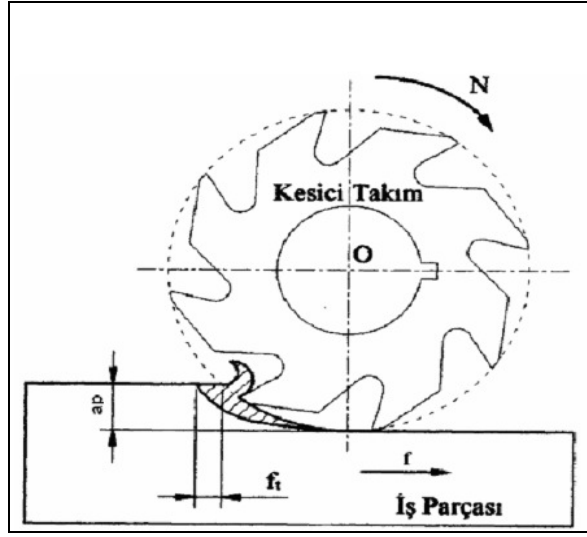
Şekil 3.8. Aynı yönlü çevresel frezelemenin gösterilişi [26].

3.4.3. Zıt Yönlü Frezeleme

Zıt yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü iş parçasının ilerleme yönüne karşı yönlendirilmiştir. Talaş meydana gelmeden önce kayar ve kesici ağız iş parçasının yüzeyinde kazıma yapar. Bundan dolayı, freze çakısının kesici ağızlarının

serbest yüzey aşınması tipik bir aşınma şeklidir. Kesici ağızların malzemeyi kavrama yolu üzerinde kesme derinliği ve kesme kuvveti büyür. Virgül şeklinde bir talaş meydana gelir (Şekil 3.9.).

Bu metotla frezeleme esnasında çakı iş parçasını boyuna itmeye ve tabladan yukarıya doğru kaldırmaya çalışır. Kesme sırasında talaş kalınlığı parçanın üst yüzeyine doğru, düzgün olarak artacağından freze çakısında bir zorlanma meydana gelir. Freze çakısındaki bu zorlanma malafa milini esnetmeye çalışır. Dolayısı ile iş parçasının yüzeyi, ilk bakışta görülmeyecek kadar dalgalı olur. İş parçasının bağlı bulunduğu ayardan yukarıyı zorlamaması için, emniyetli bir şekilde sıkılması gerekir.



Şekil 3.9. Zıt yönlü frezelemenin gösterilişi [25].

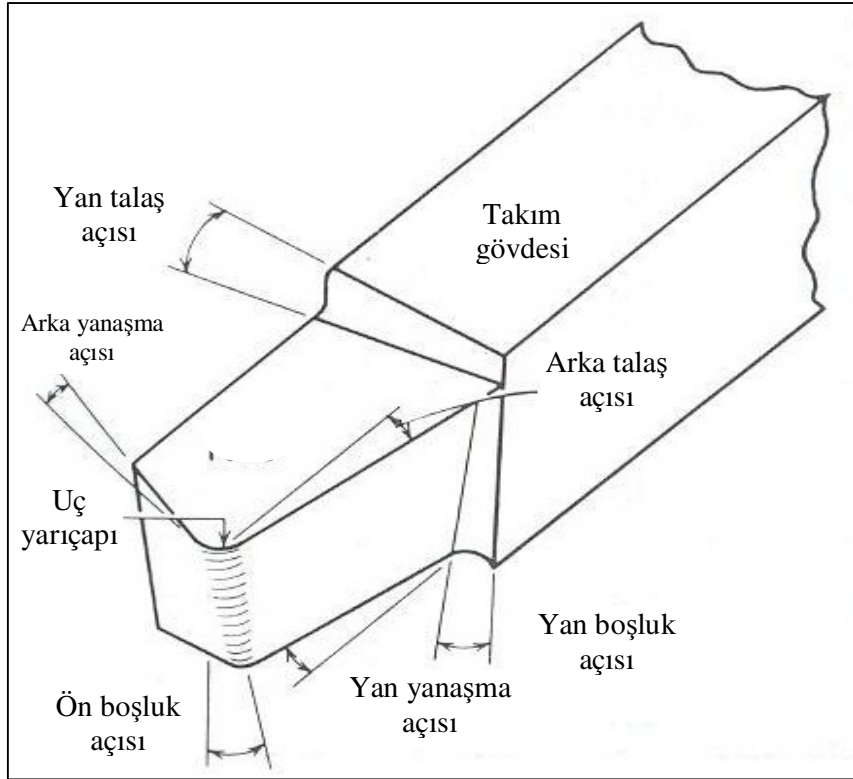
Tezgah tabla mili somunu, arasındaki boşluklar talaş kaldırmayı ve ilerlemeyi etkilemez. Kuvvete karşı kuvvetle dönen çakı, titreşimsiz bir kesme yapar. İlerleme durdurulduğunda, çakı da olduğu yerde döner. Bu anda işlemeye devam edilmediği gibi bir tehlike de mevcut değildir. Ancak; iş parçası üzerinde yüzey kalitesi açısından, kesici takım boşa döndürülmemelidir [26].

3.5. KESİCİ TAKIM

3.5.1. Kesici Takım Geometrisi

Talaşlı imalat işleminde etkin bir şekilde kesme işleminin yapılabilmesi için kesici takım uygun geometriye sahip olmalıdır. Çeşitli talaşlı imalat işlemleri için kesici takım geometrileri de farklılık gösterir. Kesici takımlar tek noktadan kesme işlemi yapan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere genelde iki kategoriye ayrılır. Bununla birlikte, bütün talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum mekanizması temelde aynı olduğu için tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar, genelde çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır. Tornalama işleminde genelde tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar kullanılır [27].

Şekil 3.10'da tek noktadan, sağ yönlü kesme (sağ yan) işlemi yapan bir kesici takım görülmektedir.



Şekil 3.10. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım [28].

3.5.2. Kesici Takım Malzemeleri

Talaşlı imalat işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [18]:

1. Yüksek sertlik,
2. Yüksek tokluk,
3. İş parçasına karşı kimyasal olarak asallık,
4. Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye (dissolution) karşı kararlılık,
5. Isıl şoklara karşı direnç.

3.5.2.1. Çok Kristalli Elmas (PCD)

Çok kristalli elmas (PCD), çok küçük elmas tanelerinin birlikte sinterlenmesi ve metalurjik olarak sementit karbür bir altlıkla birleştirilmesi ile imal edilir. Bu işlemler için, elmas tanelerinin yapımındaki gibi yüksek sıcaklık ve basınç gereklidir. İnce elmas taneleri (1 ila 30 μm) öncelikle sementit karbür bir altlık üzerinde preslenir. Elmasın kararlı bölgesinde uygun sinterleme basıncı ve sıcaklığında, tamamen sıkıştırma ve yoğun elmas-elmas bağı gerçekleştirilir. Sinterlenmiş elmas takımlar lazer kesme ile ve taşlama ile daha sonra istenilen şekil, ölçü ve gerekli hassaslıkta elde edilir. Altlık sementit karbür, sert ve kırılğan elmas için gerekli elastik desteği sağlar. Sinterlenmiş çok kristalli elmasın kalitesi, tokluğu ve aşınma direnci doğal tek kristalli elmastan daha iyidir.

Üretilmelerindeki ve daha sonra şekillendirilmelerindeki zorluklar nedeniyle sinterlenmiş PCD kesici takımlar geleneksel sementit karbür veya seramik kesici takımlardan çok daha pahalıdırlar. Çok pahalı olmalarına rağmen, takım ömrünü artırdığı ve dolayısıyla parça başına maliyeti düşürdüğü için PCD kesici takımlar birçok uygulama alanı bulmuşlardır. Sementit karbür kesici takımlara göre işleme performansında önemli derecede artış sağlarlar. Takım aşınması önemli derecede azaldığı için işlenen parça ölçüleri, bitirilmiş yüzey ve yüzey bütünlüğü daha rahat kontrol edilir.

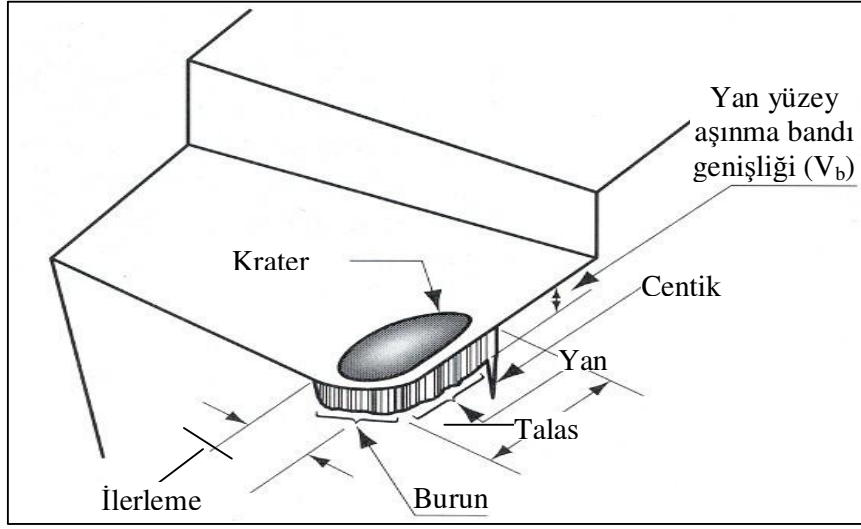
PCD kesici takımın birçok uygulamaları için pozitif talaş açısı tavsiye edilir. Bu kesici takımlarla işlerken yığıntı talaş problem olursa kesme hızının ve talaş açısının artırılması gerekir. Diğer taraftan, kesici uç kırılması veya küçük kırılmalar problem olursa, ilerleme hızı düşürülmelidir. PCD ile işleme esnasında çoğunlukla soğutma sıvısı kullanılmaz. PCD takımlar aşındıklarında bilenebilirler [20].

3.5.3. Takım Aşınması

Hemen hemen bütün talaşlı imalat işlemleri esnasında kesici takımlar belirli bir süre sonra etkin olarak kesme kabiliyetlerini kaybederler. Şekil 3.11 kesici bir takım üzerindeki aşınmaları şematik olarak göstermektedir. Kesici takım geometrisindeki tedrici şekil değişikliği (aşınma), anlık yüksek kuvvetlerinden dolayı kesici ucun kırılması ve yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takım malzemesinin dayanımının azalarak plastik deformasyona uğraması kesici takımın kesme kabiliyetini kaybetmesinin nedenlerindedir [27].

Kesici takımın aşınması sonucu ortaya çıkan diğer bir olumsuzlukta titreşimdir. Titreşim sonucu iş parçası yüzey pürüzlülüğü artar. İş parçası yüzey pürüzlülüğü kesici takımda küçük kırılmalar şeklinde aşınma olduğunda da artar. Talaşlı imalat işlemi esnasında titreşim kesici takım üzerinde çevrimsel yükler oluşturacağı için kesici takımın kırılmasına da neden olabilir. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır:

1. Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
2. Sıcaklık artışı,
3. Aşırı titreşim,
4. Yüksek gürültü,
5. İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
6. İşlenen yüzeyin bozulmasıdır.



Şekil 3.11. Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi [19].

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın kesme kabiliyetini kaybettiği üç faktör mevcuttur:

1. Kırılma: Kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler nedeniyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) esnasında mekanik ve ısıl yorulmalar sonucu kırık oluşumundan dolayı kesici takımda kırılma ve pullanma soyulma şeklinde oluşan aşınmalardır.
2. Plastik deformasyon: Kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç ve sıcaklık sonucu oluşur. Plastik deformasyona uğramış kesici takım geometrisi değiştiği için kesme işlemini etkin bir şekilde yapamaz, sıcaklık artar ve talaş akışı değişir. Plastik deformasyona direnç için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca, uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastik deformasyona direnç artırılabilir.
3. Tedrici takım aşınması: Kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede görülür. Talaş yüzeyindeki aşınma “krater aşınması” ve yan yüzeydeki aşınma da “yan yüzey (yanak) aşınması” olarak isimlendirilir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu alanın

derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması bu aşınma bandının genişliği ile ölçülür. Kesici takımın iş parçası orijinal yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla bir aşınma görülür. Çentik aşınması olarak adlandırılan bu aşınmanın sebebi iş parçası yüzeyinin soğuk haddeleme veya önceki işlemlerden dolayı sertleşmiş olması, dökümden kalan sert malzemeler ve diğer nedenlerdir [19].

3.6. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaşlı imalatta üretilen parçalar gözle incelendiği zaman yüzey her ne kadar düz gibi görünse de gerçekte parça yüzeyindeki gerçek sürtünme alanı parça alanından daha az olmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) gereksinimi yaklaşık olarak 1,6 μm 'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayınla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir [29].

3.6.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli bir parametredir. Bunların bazıları:

1. Sürtünmeli yataklar,
2. Korozyon ortamında çalışan parçalar,
3. Yuvarlanmalı yataklar,
4. Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
5. Sızdırmazlık yüzeyleri,
6. Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
7. Masterlar vb. [29].

3.6.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

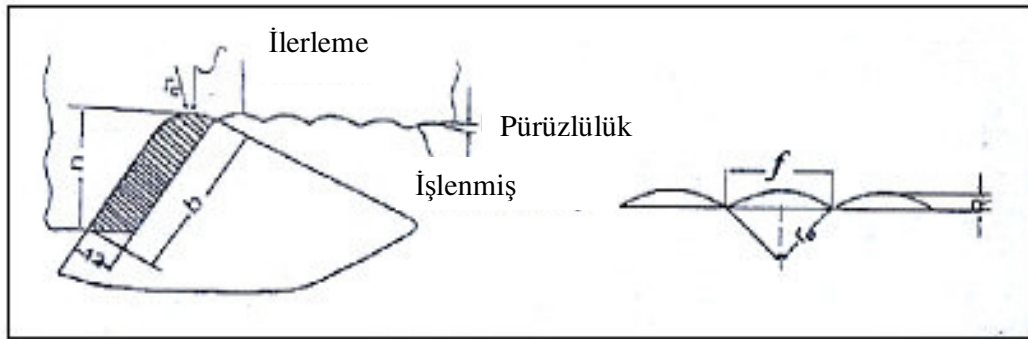
Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler şunlardır:

1. Takım tezgahının rijitlik durumu,
2. Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar,
3. Takım tutucu rijitlik durumu,
4. Takım aşınmasının etkileri,
5. Takım geometrisi,
6. Kesme parametreleri,
7. Malzemenin mekanik özellikleri,
8. Soğutma sıvısının etkileri [29].

3.6.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu

İdeal yüzey pürüzlülüğünün oluşumu Şekil 3.12’de şematik olarak gösterilmektedir. Uygulamada, genellikle aşağıda tanımlanan ideal pürüzlülük şartlarına ulaşmak mümkün değildir. Normalde gerçek pürüzlülükte en etkili pürüzlülük tipi doğal yüzey pürüzlülüğüdür. Doğal yüzey pürüzlülüğüne sebep olan en önemli faktörlerden biri yığıntı talaş oluşumudur. İdeal yüzey pürüzlülüğü, geometrik hesaplamalarla elde edilen ve aşağıda verilen eşitlikle elde edilir [30].

$$R_a = 0,064 \times f^2 / 8r \quad (3.1)$$



Şekil 3.12. İlerleme ve takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi [30].

Yığıntı talaş devamlı olarak birikir, dağılır ve dağılan sert parçalar iş parçasına sürtünür. Talaş takım sürtünmesini azaltan ve yığıma uç oluşumunu azaltan takım geometrisi ve kesme parametreleri daha düzgün yüzey oluşmasını sağlar. Genelde yüzey pürüzlülüğü değerleri olarak taşlama işlemi için 0,05-1,6 µm, finiş tornalama için 0,1 den 1,0 µm, frezeleme ve kaba tornalama için ise 1,6 µm'den daha yüksek olan R_a değerleri kabul edilebilir [29].

3.6.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri

Çeşitli şekillendirme işlemleri sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için farklı metotlar mevcuttur. Talaşlı imalat metotlarıyla elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde izleyici uca sahip cihazlar kullanılır. Yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için kullanılan bazı metotlar şöyledir;

İzleyici uçlu cihazlar: Çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. İzleyici ucun inceliği ölçüm esnasında doğruluk açısından önem arz ettiğinden genelde iğne olarak 900 uç açılı ve 4-12 µm yarıçapa sahip iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir [31].

Optik metot: Bir yüzey üzerine yansıtılan ışının geliş açısı ile yansıma açısı aynı olacaktır. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörlerle ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir.

Temas metodu: Yüzey üzerinde dolaştırılan bir probun sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen neticelerinin karşılaştırılması esasına dayanır.

Mekanik metot: Çelik bilye kullanılarak en düşük 500 g ağırlığın yüzeyde, yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçme tekniğidir.

Hidrolik metot: Belli eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belli hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan bir ilişki ile pürüzlülük değeri ölçülmesi esasına dayanır.

Yüzey dinamometresi metodu: İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, parçaların pürüzlülük değerine bağlıdır. İki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilebilir.

X ışını metodu: Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508 μm arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir.

Elektron mikroskobu metodu: Elektron mikroskobu en küçük düzensizlikleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu bu metodu sınırlamaktadır.

Replika metodu: Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz - asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında %80 oranında bilgi verir.

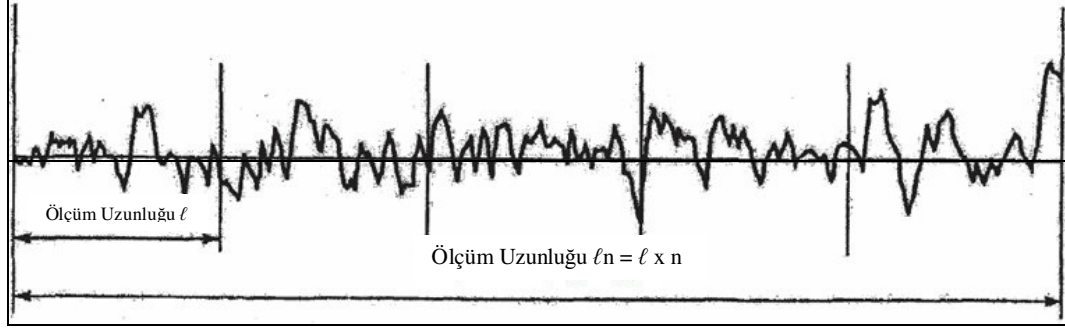
Elektro fiber optik metot: Yüzey pürüzlüğü ölçülecek malzeme X, Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur [29].

3.6.5. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

3.6.5.1. Örnekleme Uzunluğu ve Örnekleme Sayısı

Şekil 3.13'te l ile ifade edilen örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile ln ile ifade edilen ölçüm uzunluğu oluşur. ln

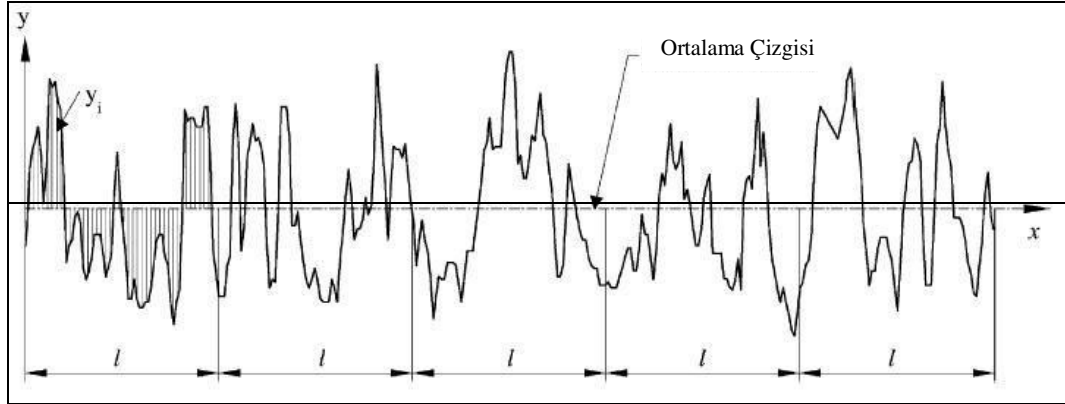
uzunluğu $n \geq 5$ olmak üzere, örnekleme uzunluğu (ℓ) ile n çarpılarak elde edilir ($\ell n = \ell \times n$) [32].



Şekil 3.13. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu [32].

3.6.5.2. Ortalama Çizgisi

Ölçme uzunluğu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur [29]. Şekil 3.14'te tipik yüzey pürüzlülüğu üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi [32].

3.6.5.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğu (R_a)

Şekil 3.15'te gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşun mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülüğ parametresidir. Bu parametrenin

tanımlaması ve ölçmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez. Matematiksel tanımlaması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [32].

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (3.2)$$

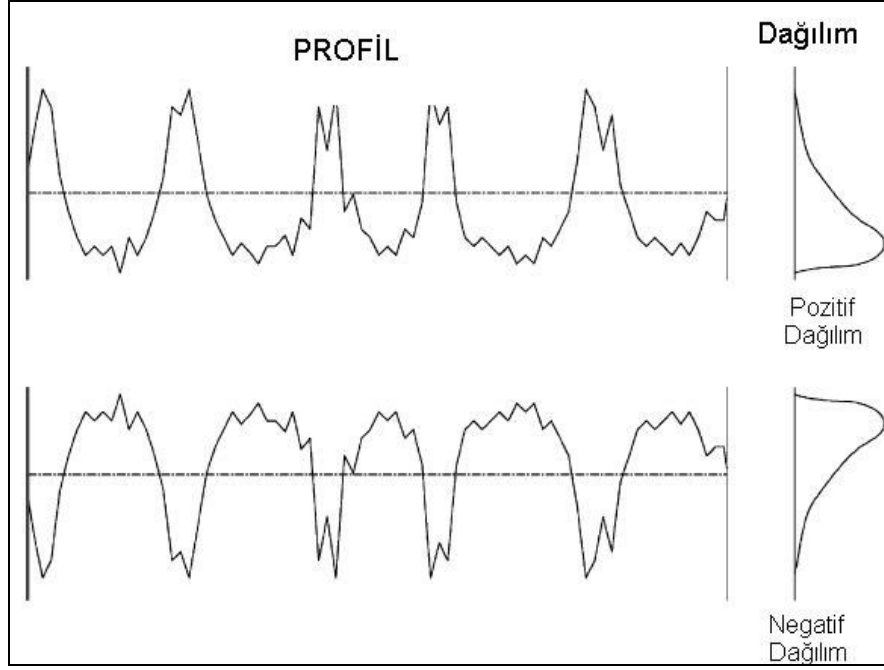
$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (3.3)$$

3.6.5.4. Genlik Dağılım Eğrisi (R_{sk})

Şekil 3.15'te gösterildiği gibi bu parametre profil genlik yoğunluğun ortalama çizgiye göre simetrisini belirten dağılım eğrisidir. Aynı R_a ve R_q değerine sahip profilleri ayırt etmeye yarayan bir değişkendir. Matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir [32].

$$R_{sk} = \frac{1}{R} \int_{-\infty}^{\infty} y^3 p(y) dy \quad (3.4)$$

$$R_{sk} = \frac{1}{NR} \left(\sum_{i=1}^N Y_i^3 \right) \quad (3.5)$$



Şekil 3.15. Profil ve genlik dağılım eğrisi [32].

BÖLÜM 4

ALÜMİNYUM OKSİT SERAMİK-ALÜMİNA (Al_2O_3)

4.1. ALÜMİNA YAPISI

Alümina sıkıştırılmış kristal yapıya, güçlü kimyasal bağlanma ve kararlılığa sahip bir seramik malzemesidir [33]. Doğada genellikle boksit adı verilen saf olmayan hidroksitler şeklinde bulunur [34]. Hammaddesi boksit, ismini ilk bulunduğu yer olan Fransa'nın güneyindeki bir kasabadan alır [35].

Doğada saf kristal olarak bulunan alümina, korundum halinde fakat feldspat ve killerde olduğu gibi genellikle silikatlarla birlikte bulunur. Sentetik olarak hazırlanan alümina kristalleri ise alüminyum oksit olarak adlandırılmakta, ancak çoğu kez her ikisi için de alümina ismi kullanılmaktadır. Saf alümina beyaz renklidir, fakat farklı renklerde ortaya çıkması eser miktarlarda dahi olsa içerdiği safsızlıklardan kaynaklanmaktadır. Kırmızı renkli doğal alümina halk arasında yakut, mavi renkli olanı ise safir olarak bilinmekte olup, değerli taşlardır [36].

Mühendislik seramikleri arasında, günümüzde en çok kullanım payı, % 85 ile alüminaya aittir. Alüminanın ilk ticari kullanım alanı, buji ve laboratuvar malzemeleridir. Üretim imkanlarının gelişmesi ve araştırmalardan oluşan bilgi birikimi sonucu günümüzde alüminanın kullanım alanı önemli miktarda artmıştır. Alümina, mukavemet ve ergime sıcaklığının yüksek, elektrik iletkenliğinin düşük olması nedeni ile kimyasal maddelere ve mekanik yüklere karşı en dayanıklı refrakter malzemelerden biridir. Bunun yanı sıra elektrik yalıtkanları, elektronik çevrelerde altlık olarak, kesici uçlarda, ısı motorlarında ve enerji santrallerinde, aşınmaya maruz parçalarda, aşındırıcılarda ve kompozit malzemeler gibi çok geniş bir alanda kullanılır [36].

Alümina esaslı seramikler bulunma zorluğu çekilmeden kolayca elde edilebildikleri ve diğer teknik seramiklere göre düşük maliyetli oldukları için tercih edilirler [35]. Ayrıca yüksek sertlikleri, iyi oksitlenme dirençleri ve kimyasal kararlılıkları nedeniyle de en sık kullanılan seramik malzemeleri arasındadırlar. Aynı zamanda 2050 °C ile ergime noktası da en yüksek seramiklerden biridir [37]. Ancak tokluklarının düşük olması nedeniyle uygulamaları sınırlıdır [38].

Saf alümina düşük sıcaklıklarda birkaç formdadır. Fakat bütün formlar zaman, kristal boyutu ve basınca bağlı olarak 750-1200 °C arasında α -alüminaya dönüşür. 1600 °C üzerinde yapılan ısıtma bu dönüşümü hızlandırır. Alüminanın, α fazına dönüşümü tersinir değildir [39].

SiC, Si₃N₄ gibi karbür, nitrit esaslı seramikler çok yüksek sertliğe sahiptirler, ancak oksitlenirler. Alümina, zirkonya gibi oksit seramiklerin oksitlenme problemi yoktur, ancak bu seramiklerin de sertlikleri düşüktür. Bu nitrit ve karbürler gibi alümina da kırılğan bir malzemedir [40]. Bu nedenle; yüksek dayanım gerektiren yapısal uygulamalarda problem yaratabilir. Yapıya yttria, tetragonal zirkonya eklenmesi ile seramiğin dayanımı artırılabilir. Çizelge 4.1'de Alüminanın fiziksel ve termal özellikleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.1. Alüminanın fiziksel ve termal özellikleri [11].

ÖZELLİKLER	ALÜMİNA	
	minimum	maksimum
Atomik Hacim (ortalama), m ³ /kmol	0,005	0,058
Yoğunluk, g/cm ³	3,42	3,80
Enerji İçeriği, MJ/kg	1600	2000
Bulk Modul, GPa	293	316
Basınç Dayanımı, MPa	1900	2300
Elastik Limit, MPa	403	423
Dayanma Sınırı, MPa	334,4	390,2
Kırılma Dayanımı, MPa.m ^{1/2}	4	7,3

Çizelge 4.1. (devam ediyor).

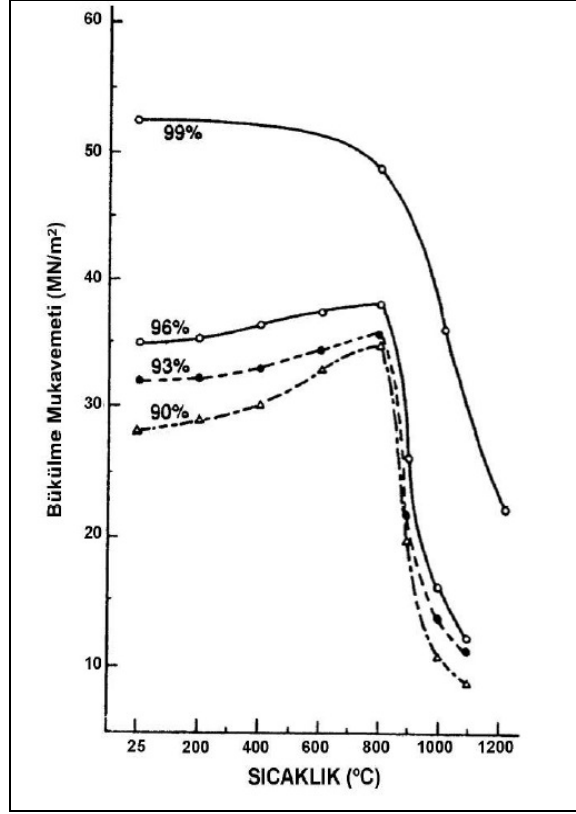
Sertlik, MPa	18000	22000
Kopma Modülü, MPa	462	655
Poisson's Oranı	0,22	0,28
Kesme Modülü, GPa	131	142
Kopma Mukavemeti, MPa	403	423
Young's Modülü, GPa	343	370
Maksimum Çalışma Sıcaklığı, K	1400	1700
Ergime Noktası, K	2238	2338
Özgül Isı, J/kg.K	648	750
Isıl İletkenlik, W/m.K	16	27,5
Isıl Genleşme, $10^{-6}/K$	4,5	8,2

Alüminanın belli başlı özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Yüksek basma mukavemeti,
2. Yüksek sertlik,
3. Abrasif aşınmaya direnç,
4. Çok geniş bir aralıktaki kimyasallar ile etkileşime karşı direnç (hatta yüksek sıcaklıklarda),
5. Biouyumluluk,
6. Termal şoka direnç,
7. Yüksek sıcaklıklarda refrakterlik,
8. Yüksek dielektrik mukavemeti,
9. Yüksek sıcaklıklarda yüksek elektrik direnci,
10. Mikrodalga radyo frekanslarını geçirgenliği,
11. Kolay hammadde temini [11].

Genelde alüminanın mukavemeti, genişçe bir kompozisyon aralığında; Al_2O_3 içeriğine, gözenek miktarına, tane boyutuna bağlı olmaktadır. Şekil 4.1 alümina içeriği ve mukavemet arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bükülme mukavemeti, % 99

alümina içeriği için daha yüksek olarak görülmektedir. 800 °C'nin üzerinde % 90, % 93 ve % 96 alümina için mukavemetteki bu azalma % 99 alümina için de geçerlidir.



Şekil 4.1. Farklı alümina içerikli seramiklerin sıcaklık (°C)–bükülme mukavemeti ilişkileri [41].

4.2. ALÜMİNA ÜRETİMİ

İstenilen özelliklerde ve çok küçük tane boyutlarında alümina tozlarının üretilmesi üzerine pek çok araştırma yapılmış olup, bu çalışmaların sonunda istenilen özellikleri verebilecek seramik tozlarının hazırlanması için değişik yöntemler geliştirilmiştir. Halen dünyanın ticari alümina ihtiyacının çoğu hammadde olarak boksitin kullanıldığı Bayer prosesi ile üretilen alüminadan karşılanmaktadır. Boksit rezervi bakımından farklı olan bazı ülkeler alümina ayırma işlemi için alternatif metotlar geliştirmişlerdir. Alümina üretim yöntemlerini; asidik yöntemler, elektrotermik yöntemler, indirgeme metodu, kavurma metodu, bazik yöntemler ve sinter metodu şeklinde sınıflandırmak mümkündür [42].

4.2.1. Asidik Yöntemler

Asidik metotlarla üretilen alümina Bayer ve diğer proseslerden elde edilen ürüne yakın kalitede olmaktadır. Bu metotlarla genellikle alüminalı cevher kalsinasyon sonrası asidik ortamda liç edilmektedir [43].

Asidik yöntemlerle boksit cevherlerinden doğrudan ya da kalsinasyon sonrasında HCl, HNO₃ ve H₂SO₄ çözeltileri içinde liç işlemleri uygulanmaktadır. Kullanılan aside bağlı olarak AlCl₃, Al(NO₃)₃ veya Al₂(SO₄)₃ çözeltileri elde edilirken demir oksitler de bu çözeltilerde çözüldüğünden çözeltilerde demir iyonları da bulunmaktadır. Bazı yöntemlerden farklı olarak demir bileşenlerinin de çözelti fazında bulunması, yan bileşen olarak demir bileşenlerinin de değerlendirilebilmesi söz konusu olmuştur. Demir bileşenlerinin kristalizasyon v.b. yöntemlerle ayrılmasından sonra geriye kalan AlCl₃, Al(NO₃)₃ veya Al₂(SO₄)₃ çözeltilerinin önce buharlaştırılması ve ardından kalsinasyonu ile Al₂O₃ elde edilebilmektedir. Buharlaştırma esnasında asit çözeltileri geri kazanılabilmektedir. Asidik proseslerin zorlukları ise; çözünme esnasında kullanılan asidin korozyona sebep olması ve çözelti fazındaki alüminyum ve demir bileşenlerinin ayrılmasında ortaya çıkmaktadır [36].

Asidik prosesler, çözündürme işleminde kullanılan çözeltilerin türüne ve prosesin uygulanması biçimine bağlı olarak değişik isimler almaktadır [42]. Bunlar;

1. Amonyum sülfat prosesi,
2. Hidroklorik asit prosesi,
3. Nitrik asit prosesi,
4. Sülfürik asit prosesi,
5. Hidroflorik asit prosesi [42].

4.2.2. Elektrotermik Yöntemler

Bu yöntemlerde cevher ve indirgeyici bir madde karışımına bazen CaCO₃ ve BaCO₃ gibi katkıları yapılarak bir elektrik fırınında beraberce eritilmektedir. Sıvı bir faz olarak

ve katkı maddesine bağlı olarak kalsiyum alüminat (CaO , Al_2O_3) yahut baryum alüminat (BaO , Al_2O_3) şeklinde ayrılan alümina alkalizasyon işlemine tabi tutularak çözündürölmektedir. Ayrılan çözültiden daha sonra alümina trihidrat şeklinde kristallendirilmektedir. Bu prosesler çok fazla elektrik enerjisi gerektirdiğinden ekonomik olmayıp, sadece enerjinin çok ucuz olduğu yerlerde uygulanabilmektedir. Bunun yanında üretilen alümina elektroliz yoluyla alüminyum üretimi için gereken özellikleri tam olarak karşılayamamaktadır. Bazı elektrotermik yöntemler aşağıda verilmiştir [43].

1. Serpek prosesi,
2. Hanglund prosesi,
3. Hall prosesi.

4.2.3.İndirgeme Metodu

Bu yöntemle endüstrideki yan ürünler değerlendirilebilmektedir. Çok çeşitli indirgeme yöntemleri vardır. Bunlar;

1. Pedersen prosesi,
2. Baryum prosesi [43].

4.2.4. Kavurma Metodu

Bayer metodunun geliştirilmesinden önce alümina, boksit, anhidrit, kostik karışımının fırınlarda kavrulması ile elde edilmekteydi. Prensip olarak boksit, kireç taşı, baryum karbonat, sodyum sülfat ve benzeri maddelerden birisi ile karıştırılır. Bu karışım fırınlarda kavrularak suda çözünebilen alkali alüminat oluşturduktan sonra trihidroksit alümina çöktürölür. Bazı kavurma metotları aşağıda verilmiştir [44];

1. Kireç-soda prosesi,
2. Sülfat-soda prosesi.

4.2.5.Bazik Yöntemler

Bazik yöntemler günümüzde yaygın olarak kullanılan en önemli alümina üretim prosesleridir. Bu yöntemlerde temel prensip; alüminanın basınç ve sıcaklık yardımıyla boksitten bir alkali eriyiği kullanılarak çözülüp alınması, daha sonra doymuş çözeltiden kristallendirmek suretiyle tekrar elde edilmesine dayanır. Bu yöntemlerde değişik şartlarda NaOH ve Na₂CO₃ çözeltilerinde çözündürme yapılır. Boksit cevheri doğrudan kullanıldığı gibi bazen CaO veya CaCO₃ ile kalsine edilmiş olarak kullanılmaktadır. Bazik yöntemlerle çözündürme esnasında cevherdeki alüminyum miktarı şartlara bağlı olarak çözeltiliye geçmektedir. Diğer bileşenlerden silis ise kısmen çözeltiliye geçmekte ve bu kısım aktif silis olarak bilinmektedir. Çözünmeyen SiO₂' e ise serbest silis adı verilmektedir. Aktif silis, silikat halinde bağlı bulunan silisyum ve serbest silis ise kuvars halindeki silisyum bileşiklerini temsil etmektedir. Kuvars bazik çözelti içinde değil ancak yüksek sıcaklıklarda bazik eritiş ile çözeltiliye alınabilmektedir [43].

4.3. TİCARİ ALÜMİNA SINIFLARI

Alüminaya, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklere veya uygulanan endüstriyel işlemlere bağlı olarak değişik isimler verilebilmektedir. Bunlar; aktif alümina, kalsine alümina, yüksek saflıkta alümina ve tabular alüminadır [45].

4.3.1.Aktif Alümina

Alüminyum hidroksitlerin termal dehidrasyonu (250-1150 °C) ile aktif alümina oluşur. Önceleri aktif alümina gama alümina olarak tanımlanmış, ancak teknik literatürde bu karışıklığa sebep olmuştur. Bugün aktif alümina deyimi, yapısında porozite bulunan ve termal dehidrasyonla kimyasal olarak hidroksil şeklinde bağlı suyun çoğunun bünyeden uzaklaştırıldığı herhangi bir alümina kristal morfolojisi için kullanılır. Düşük sıcaklık aralığında (250-900 °C) yapılan ısıtmada kristal yapıları chi, eta ve gama, yüksek sıcaklıkta ise (900-1150 °C) delta, kapa ve teta alüminadır.

Aktive edilmiş alüminalar, geniş yüzey alanı, poroziteli yapı ve mükemmel bir yüzey kimyası gerektiren adsorbsiyon ve katalitik uygulamalarda artan bir şekilde kullanılmaktadır.

Adsorban olarak aktif alüminanın ilk ve en önemli kullanımı 1932 yılında desikantlardı (kurutucu). Bugün aktif alümina ve modifikasyonları petrokimya endüstrisinde ve su işlemlerinde seçici adsorbanlar olarak kullanılmaktadır. Aktif alüminanın katalitik uygulamaları ise genel olarak benzin içindeki oktan sayısını arttırma amaçlı katalitik düzeltici (reforming), otomobillerde egzoz katalizörü (katalitik konvertör) ve kimyasal reaksiyonlarda katalist altlık olarak kullanımındır [45].

4.3.2. Kalsine Edilmiş ve Yüksek Safılıkta Alümina

Alüminyum hidroksit 1100 °C'yi aşan sıcaklıklara ısıtılırsa alüminanın geçiş fazları asılır ve α alümina oluşur. Isıtma işlemi; kalsinasyon ve elde edilen ürün; kalsine alümina olarak tanımlanır. Kalsine alüminalar soda içeriği ve toplam empürite miktarına bağlı olarak üç ana gruba ayrılır.

Normal, % 0,1'den daha fazla soda, % 99-99,5 alümina düşük soda ve/veya termal olarak reaktif, % 0,1'den daha az soda, ~ % 99,7 alümina ve yüksek safılıkta, %99,9 alümina içeren bayer prosesi ile üretilen kalsine alüminalardır. Üçüncü grup kalsine alüminalara Bayer prosesi ile değil alüminyum esaslı tuzların dekompozisyonu ile elde edilen % 99,99 çok yüksek safılıkta alümina da dahil edilir [45].

4.4. ALÜMİNA ESASLI SERAMİKLERİN KULLANIM ALANLARI

Alümina, oksit esaslı seramik hammaddeleri arasında tüketimi en fazla olanıdır. Yüksek sertlik, düşük yoğunluk, ısıl kararlılık ve korozyon dayanımı gibi üstün özellikleri yanı sıra düşük birim maliyeti alümina tüketimini artırmaktadır [46].

Alümina, yer kürede doğal olarak en fazla bulunan minerallerden boksit içinde bulunur. Dünya alümina üretiminin yaklaşık % 90'ı alüminyum metal üretiminde

kullanılırken geriye kalan % 10'luk kısım ise ısıya dirençli dolgu malzemeleri, pigment, katalist, refrakterler, aşındırıcılar ve seramik malzemelerin üretiminde kullanılırlar. Seramik sektöründe kullanılan alüminanın dünya yıllık üretimi 4 milyon ton civarındadır. Bayer yöntemi neticesinde oluşan alüminyum hidroksitler yapıdaki kristal suyunu uçurmak için yapılan kalsinasyon işlemleri sırasında birçok ara fazdan geçtikten sonra alfa veya gama formu olmak üzere iki kararlı nihai kristal yapısına ulaşılır. Kristal yapısı sıkı paketlenmiş hegzagonal sistem olan alfa alüminanın ergime sıcaklığı 2053 °C'dir. Kristal yapı içerisinde alüminyum (Al) iyonlarının bulunduğu koordinasyon sayısı 6 olan sıkı paket pozisyonlarının 2/3' ü alüminyum iyonlarınca doldurulmuş, 1/3' ü ise boş bulunmaktadır.

Bayer yönteminden gelen ve az miktarda kalsinasyon işlemi gören alfa alümina yüksek miktarda ara geçiş fazları gösterdiklerinden seramik sektöründe doğrudan kullanılamaz. Ülkemizde Seydişehir Alüminyum İşletmelerinden özellikle elek altı olarak tabir edilen alümina tam alfa yapısına dönüşmemiş olduğundan yapısal seramik uygulamalarında doğrudan kullanılmamaktadır. Elek altı alüminanın çeşitli kalsinasyon ve temizleme işlemleri ile yapısal seramiklerde de kullanılabilceği çeşitli araştırmalar sonucunda uygun bulunmuştur [46].

Alümina seramikleri içerisindeki alüminanın saflık derecesi istenilen kompozisyon ve mikroyapıya göre değişmektedir. Örneğin, % 99 yüksek saflığındaki alümina için safsızlıkların toplamı % 0,2'yi geçmemektedir. Bunun içinde çok az miktarda oksitler ilave edilerek uygun proses koşulları ve son özellikler kazandırılır [46].

Alümina seramiklerin özelliği içerdikleri alümina miktarının artmasıyla iyileşir. En arzu edilen kullanım %90 ve yukarısı alümina içeriğidir. Yüksek saflılıkta alüminalar genelde implant seramikler ve sodyum buhar lambaları için kullanılır. % 2 katkılı alüminalar için % 99,5 ve daha düşükleri kullanılabilir. Alüminanın endüstriyel kullanım alanları aşağıda Çizelge 4.2' de gösterilmektedir.

Alümina esaslı seramikler, belki mühendislik seramiklerinin en iyi bilinen grubudur. Malzemeler önemli uygulamalar için uygun tipte, çok geniş bir aralıkta üretilmiştir. Bu nedenle kompozisyonların ve mikro yapıların çok geniş bir aralığı mevcuttur.

Çizelge 4.2. Alüminanın endüstriyel kullanım alanları [44].

Uygulama	Maliyet	Avantajlı Özellik
1.Elektriksel izolasyon		
Buji izolatörleri	Düşük-orta	Yüksek mukavemet termal genişleme direnci
Kablo askıları	Orta	Yüksek mukavemet
Kovanlar	Düşük -orta	Termal şok
Anten izolatörleri	Orta	Yüksek mukavemet düşük kayıp
Yüksek güç elektrik sigortaları	Orta	Yüksek termal öz iletken yüksek mukavemet
Vakum makinesi izolasyon bileşenleri	Orta	İyi yüksek sıcaklık özellikleri
Tabanlar (altlıklar)	Orta	Yüksek termal öziletken, yüksek mukavemet
2.Elektrik iletkenliği		
İyonik iletkenler	Yüksek	300-500 °C
3.Mekanik uygulamalar		
Değirmen astarlan	Orta	
Zirai aletler	Orta	İyi aşınma direnci
Aşındırıcı toz	Orta	Sertlik ve aşınma direnci
Sıkıştırıcı rulolar	Orta	Sertlik ve aşınma direnci
Mermi patlama nozulları	Orta	Aşınma direnci ve mukavemet
Aşınmaya dirençli yataklar	Orta	Sertlik
4.Termomekanik uygulamalar		
Termokupl izolatörleri	Orta	
Lamba elementleri izolatörleri	Orta	Sert, refrakter
Kaynak jigleri	Orta	Daha iyi termal sok
Döküm tüpleri, uçları	Orta	Refrakter
Sıcak baskı kalıpları	Orta-yüksek	Güçlü refrakter
Katalizör destekleri	Orta	Genellikle poroz
Laboratuar cihazları	Orta	Saf refrakter, kolay işlenebilir
Nükleer reaktör element ayırıcı	Orta-yüksek	
5.Kimyasal uygulamalar		
Kimyasal tesis bileştirme tüpleri	Orta	Aside karşı dirençli, korozyon direnci yüksek

Alümina'dan poroz ve yoğun ürünler yapılır. Poroz ürünler genellikle ergimiş alüminadan yapılır. Yeniden kristallenmiş poroz olmayan alümina, ergimiş alüminadan daha saftır. Saf alümina, tamamen saydam olarak bazı cihazlarda

kullanılmaktadır. Yoğun alümina buji üretiminde kullanılır. Alümina yoğun olarak seramik kesici takımlarında, sert metal kaplamalarda ve hafif zırh yapımında da kullanılır. Bu alanlardaki çalışmalar hala devam etmektedir [44].

4.4.1. Aşınmaya Karşı Alümina Seramikler

Alüminanın yüksek sertliği ve mekaniksel dayanımı çalışma esnasında aşınmaya maruz kalan makine elemanları ve mühendislik malzemeleri şeklinde olan kullanımı ön plana çıkarmıştır. Yapısal amaçla mühendislik uygulamalarının basında korozif olan ve olmayan pompa salmastraları, musluk ve vana contaları, tekstil sektöründe kullanılan iplik kılavuzları, madencilik ve çimento sektöründe kullanılan aşınmaya dirençli plaka kaplamaları, metalleri taslamada kullanılan seramik taslama diskleri ve bıçak gibi kesici metalleri keskinleştirmede kullanılan seramik taslama elemanları sayılabilir. Enjeksiyonla kalıplama, ekstrüzyonla çekme, kuru presleme ve asıltı döküm gibi silikat esaslı geleneksel seramiklerde uygulanan üretim yöntemlerinin, alümina seramiklerinde uygulanması karmaşık şekilli parçaların başarılı olarak üretilmesini mümkün kılmıştır. Ülkemizde tekstil iplik kılavuzları gibi aşınmaya dirençleri seramik parçalar üretilmekte ve pazar bulmakla birlikte son yıllarda alüminadan iplik rehberlerinin üretimi de pazar gündemine girmiştir [46].

4.4.2. Alümina Seramiklerin Savunma Amaçlı Kullanımları

Alümina seramiklerinin en iyi bilinen askeri uygulaması hafif balistik dayanımı artırmak için seramik plakalarla kaplanmasıdır. 1960'lı yıllardan beri uygulanan bu yöntem özellikle Amerika Birleşik Devletleri-Vietnam savaşı sırasında geliştirilmiştir. Balistik amaçlı kullanımlar için değişik seramik malzemeler önerilmekle birlikte alümina, fiyatının uygunluğu nedeni ile en fazla tüketilen teknik seramik malzemesidir. Plakaların şekillendirilmesinde kuru ve/veya izostatik presleme yöntemleri kullanılır. Seramik ile kaplı balistik sistemin çalışma prensibi süpersonik hızlarla gelen mermilerin sivri delici kısımlarının sert seramik tarafından parçalanarak körleştirilmesi veya ufalanması, daha sonrada ufalanmış bu parçacıkların polimer esaslı balistik altlık ile durdurulması esasına dayanır. Farklı

tehdit seviyelerine göre seramik altlık malzeme kalınlıklarının kombinasyonu çeşidi durdurulabilir [46].

Alüminanın diğer bir askeri uygulaması roket ve uçak uç kısımlarında kullanılan radar dalgalarına geçirgen Radome'lar şeklinde kendisini gösterir. Radome'lar alt çapları 35 cm ve yükseklikleri 100 cm kadar olabilen içi boş konik seramik parçalarıdır. Özellikler süpersonik hızlar ile uçan roket ve uçakların radar sistemlerinin muhafazasında rol oynarlar.

Tipik bir yüzeyden–yüzeye ve havaya atılabilecek rokette kullanılması gereken Radome'da aranması gereken malzeme özellikleri; sıcaklıkla kararlı kalabilen düşük dielektrik sabiti, düşük yoğunluk, iyi termal şok direnci ve yağmur gibi atmosferik şartlar altında iyi erozyon ve darbe dayanımları göstermektedir. Bu özellikleri verecek birçok yapısal seramik malzeme çeşidi olmakla beraber uygulama amacına bağlı olarak minimum % 97'lik alümina Radome olarak kullanılabilir. Yapılan hesaplamalar sıcak preslenmiş alümina veya alümina tek kristalinden yapılmış 3,2 mm kesit kalınlığındaki Radome'ların 11800 km/saat hız ile giden roketlere takılması halinde 2 mm çapındaki yağmur damlacıklarının darbe etkisine karşı koyabileceği ortaya koymuştur. Radome'ların üretilmesinde kullanılan yöntemler geleneksel slip döküm olabileceği gibi malzeme boyutlarının artması ile diğer yöntemler de kullanılabilir. Alüminanın termal ve plazma yöntemleri ile kaplanması alternatif üretim şekilleri olarak ileri sürülmüşse de boyutların istenen toleranslar içinde tutulamaması izostatik şekillendirme yönteminin geliştirilmesini gerekli kılmıştır [46].

4.4.3. Alümina Seramiklerin Biyolojik Amaçlı Kullanımları

Alümina esaslı yapısal seramiklerin tıbbi alanda uygulanmaları son 20 yıldan beri üzerinde çalışılmakta olan bir konudur. Günümüzde alümina, kemiğin yerine ve ağız dişin yerine alabilecek şekilde kullanılabilir (Şekil 4.2.). Bunun nedenleri seramik malzemelerin genel olarak basma yükleri altında üstün mekanik dayanımlar göstermesi ve vücut şartlarında inert kalarak yaşayan kısımlarda herhangi bir kimyasal etkileşime girmemesidir. Kalça kemiklerinden olan femur başının alümina

esaslı seramiklerden yapıma protezlerle değiştirilmesi günümüzde mümkündür. Geleneksel olarak metalik ve yüksek yoğunluklu polietilenin kullanıldığı bu uygulamada karşılaşılan aşınma problemi alüminadan yapıma top (femoral head) yuva (acetabular cup) kısımlar ile minimuma indirilmiştir. Kullanım alanlarının getirdiği önemden dolayı alüminanın şekillendirilmesinde kullanılan tozların oldukça saf olması ve ekonomik olarak pahalı olabilecek yüzey parlatma ve sertleştirme yöntemlerinin de üretim kademesinde uygulanması biyolojik amaçlı ürünler için kaçınılmazdır [46].



şekil 4.2. Alüminanın diş protezlerinde uygulaması.

Alüminanın bu sistemlere sağladığı diğer bir avantaj ise protezin kemiğe yapıştırılmasında kullanılan çimentoya olan gereksinimin son yıllarda önerilen yeni yöntemlere bağlı olarak ortadan kalkmasıdır. Geleneksel olarak vücutta kullanılan polimetilmetaklaratın en büyük dezavantajı olan zamanla gözlenen gevşemenin ortadan kaldırılması için alümina protezlerin kemiğe yapıştırılacak kısımlarının gözenekli dizayn edilerek dokunun bu gözenekli kısımlarda zamanla büyümesi ve mekaniksel doğal bir bağlanmanın oluşturulmasına çalışılır. Alüminanın kemiğe yapışacak kısmında oluşturulacak 75–100 mikron boyutundaki gözeneklere organik doku ve kemik büyümesinin oluşturularak sağlam bağlanmanın gerçekleştirebileceği fakat kimyasal ve radyasyon tedavisi gören hastalarda ise bu büyümenin gözlendiği bazı araştırmacılar tarafından gösterilmiştir [47].

Çok kristalli alüminaya göre daha az sayıda yapısal hata içermeleri ile kalıcı nitelikteki protezlerin kemik ile mekanik olarak bağlanmasıyla vida olarak da kullanılır. Özellikle basma kuvvetlerinin önem kazandığı diş kökü uygulamalarında veya yapay diş bağlantılarının yapımında da tek kristal alümina çok değişik şekil ve boyutlara sahip parçalar kullanılabilir. Tek kristalli alüminadan yapılma kök kısım üzerine çok kristalli alüminadan yapılma kısımların yerleştirilmesi ile de daha kompleks kompozit uygulamalara gidilebilmektedir. Bu türdeki bir uygulamanın getireceği avantaj tek kristal alümina ile yapay diş arasındaki sertlik farkının çok kristalli alümina kullanılarak azaltılması ve kök üzerine yerleştirilecek dişin yerine ve yandaki diğer dişlere uyum sağlamasını gerçekleştirmektedir [46].

4.4.4. Teknik Seramik Olarak Alümina

Alümina bir oksit seramik malzemesidir. Değişik modifikasyonları olmasına rağmen, ticari kullanım alanına sahip olanı α -Al₂O₃' tür. Alümina esaslı malzemelerde diğer ürünler; SiO₂, CaO, MgO olup spinel ve silikat formunda bulunurlar [46].

Alümina üretimi, daha az olmakla beraber farklı yöntemlerle de yapılabilmektedir. Bu şekilde gerçekleştirilen alümina üretimi sırasında, seramiksel işlemlerle "su içeren" alüminyum oksit bir kalsinasyon prosesinden geçirilmektedir. Buradan oluşan fazlar çıkan maddelerin strüktürel yapısına ve pişirimin şekline bağlıdır [48]. Alümina, nispeten yüksek sıcaklıkta ergiyen bir maddedir. Asit ve bazlara karşı son derece dayanıklıdır. Bu dayanıklılık bileşime bağlıdır. Alümina, birçok metal ve cam eriyiğine karşı da dayanıklıdır. Alüminanın ısı iletkenliği düşük sıcaklıklarda hızlı düşüş gösterir, ayrıca relatif olarak düşük elektrik iletkenliğine sahiptir. Saflığı arttıkça elektrik direnci düşmektedir [47].

Alümina, makine ve tezgahlarda aşınmaya dayanıklı malzeme olarak, kimya endüstrisinde korozyona dayanıklı malzeme olarak, elektronik ve elektro teknikte yalıtkan malzemesi olarak ısıtma sistemlerinde ve yüksek sıcaklık malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca optik ve tıp tekniklerinde özel amaçlı kullanım alanları mevcuttur [48].

Alüminanın çok çeşitli bir kullanım yönü vardır. Bunlar geleceğin seramik teknolojisi ile daha da ortaya çıkarak daha geniş bir çevreye hitap edecektir. Şekil 4.3'te Alüminanın çeşitli karışımlarla taşlama taşı olarak kullanıldığını görmek mümkündür.



Şekil 4.3. Alüminanın taşlama taşı olarak kullanımı.

4.5. ALÜMİNANIN DİĞER SERAMİKLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Alüminyum Oksit seramik malzemesi içerik ve özellik olarak üstünlüğünü görmek için farklı seramiklerle karşılaştırılması gerekmektedir. Bunun için; Zirkonyum Dioksit (Zirkonya, ZrO_2), Magnezyum Oksit (Magnezya, MgO), Silisyum Dioksit (Silika, SiO_2), Titanyum Dioksit (Titana, TiO_2) malzemeleri Çizelge 4.3'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.3'te Alümina'nın diğer seramiklerle özellikleri karşılaştırılırken, göze çarpan en önemli farkları, Enerji İçeriği, Bulk Modülü, Elastik Limiti, Kırılma Dayanımı, Sertliği, Kesme Modülü, Kopma Mukavemeti, Young's Modülü, Isıl İletkenlik değerlerinin diğer seramiklere nazaran daha yüksek olmasıdır. Bu özellikleri sayesinde geleceğin teknoloji seramik malzemelerinde önemli bir yer oluşturmakta ve tercih edilme nedenlerini açıkça belli etmektedir.

Çizelge 4.3. Seramiklerin özellikleri [11].

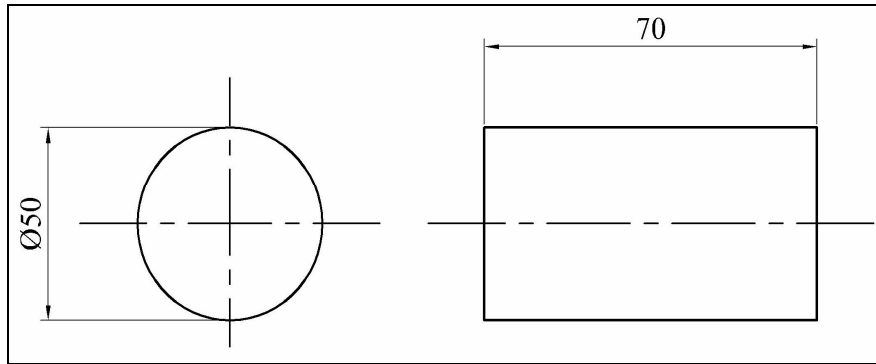
ÖZELLİKLER	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	MgO	SiO ₂	TiO ₂
	ort.	ort.	ort.	ort.	ort.
Atomik Hacim (ortalama), m ³ /kmol	0,0054	0,0205	0,0057	0,00925	0,00635
Yoğunluk, g/cm ³	3,61	5,575	3,56	2,41	4,01
Enerji İçeriği, MJ/kg	1800	250	125	22,5	125
Bulk Modul, GPa	304,5	142,15	251,5	35,15	213,6
Basınç Dayanımı, MPa	2100	3200	1249,95	1350	2167,5
Elastik Limit, MPa	413	413	125	100	350,4
Dayanma Sınırı, MPa	362,3	373,5	103,405	93	307,1
Kırılma Dayanımı, MPa.m ^{1/2}	5,65	4,5	2,75	0,645	2,85
Sertlik, MPa	20000	10625	6000	7000	9810
Kopma Modülü, MPa	558,5	588,5	150	155	290,6
Poisson's Oranı	0,25	0,27	0,36	0,17	0,28
Kesme Modülü, GPa	136,5	69,9	107	30,1	101,25
Kopma Mukavemeti, MPa	413	413	125	100	350,4
Young's Modülü, GPa	356,5	175	300	70,55	259
Maksimum Çalışma Sıcaklığı, K	1550	1885	2325	1420	1875
Ergime Noktası, K	2288	2898	3107,5	0	2113
Özgül Isı, J/kg.K	699	480	955	705	690
Isıl İletkenlik, W/m.K	21,75	2,2	45	1,4	8,3
Isıl Genleşme, 10 ⁻⁶ /K	6,35	7,25	10,5	0,65	10,1

BÖLÜM 5

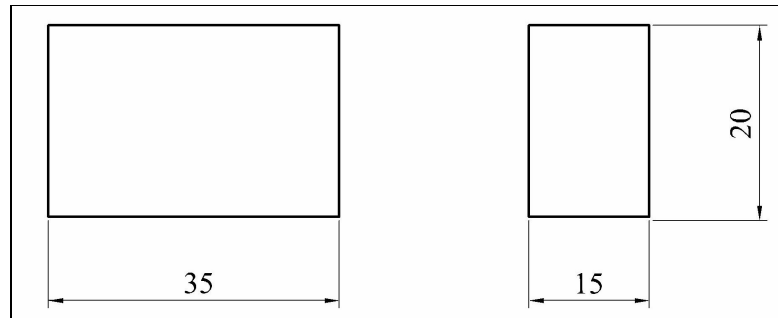
MALZEME VE METOD

5.1. DENEY NUMUNELERİ

Bu çalışmada, iş parçası malzemesi olarak alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanılmıştır. Alüminyum oksit “alümina” olarak ta isimlendirilmektedir. Alümina iş parçası malzemeleri İstanbul’da faaliyet gösteren Civelek Porselen’den temin edilmiştir. Tornalama deneylerinde Şekil 5.1’de boyutları verilen silindirik kesitli ve frezeleme deneyleri için de Şekil 5.2’de boyutları verilen prizmatik alümina malzemeler kullanılmıştır.



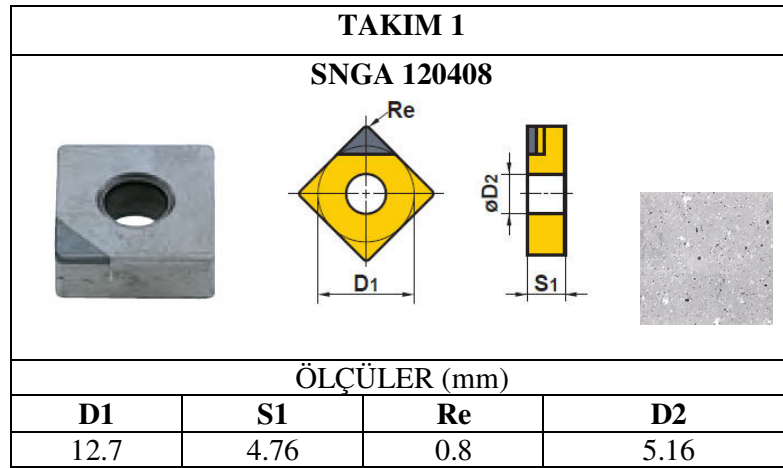
Şekil 5.1. Tornalama deneyleri için alümina deney numunesi boyutları.



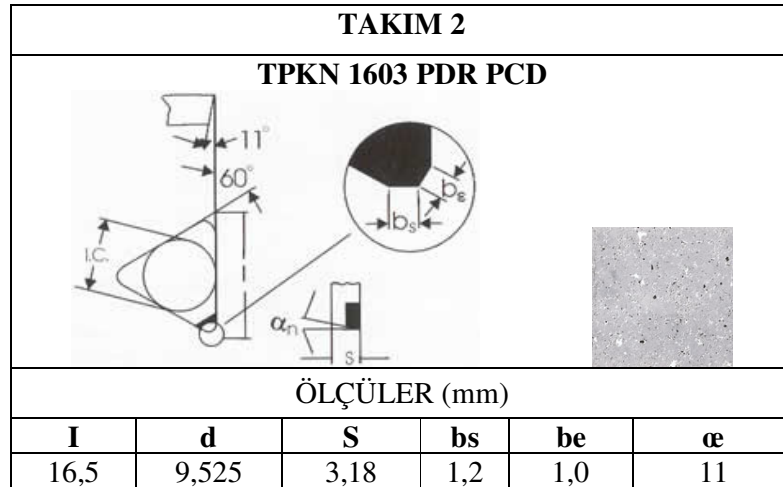
Şekil 5.2. Frezeleme deneyleri için alümina deney numunesi boyutları.

5.2. KESİCİ TAKIMLAR VE TAKIM TUTUCULAR

Tornalama deneyleri için MITSUBISHI firması tarafından ticari kalitede üretilen SNGA 120408 kodlu çok kristalli elmas (PDC) kesici takımlar kullanılmıştır. Frezeleme deneyleri için de KARCAN firmasına TPKN 1603 PDR kodlu PCD takımlar özel olarak imal ettirilerek kullanılmıştır. Şekil 5.3'te tornalama ve frezeleme deneylerinde kullanılan kesici takımların geometrisi ve boyutları verilmiştir.



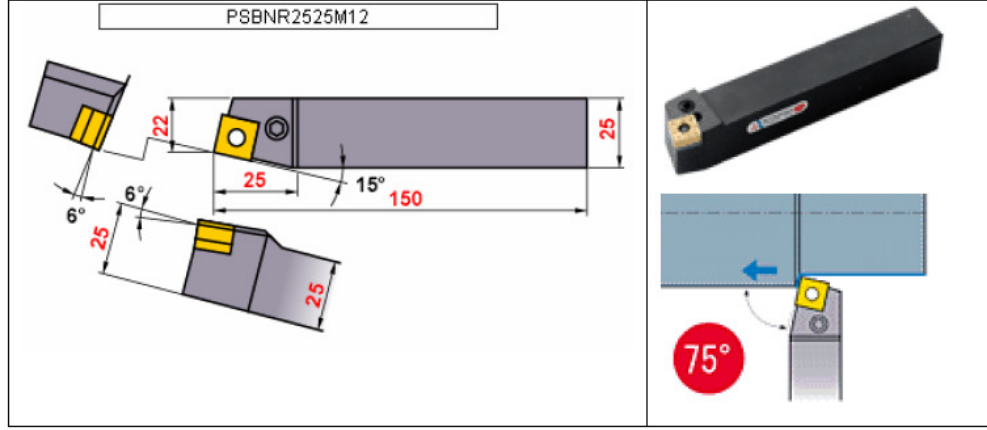
(a)



(b)

Şekil 5.3. Tornalama (a) ve frezeleme (b) işlemlerinde kullanılan kesici takımların geometrisi ve boyutları [49].

Tornalama deneyleri için kullanılan SNGA 120408 kodlu kesici takımlar bir PSBNR 2525 M12 kodlu bir takım tutucuyla rijit bir şekilde CNC torna tezgahına bağlanmıştır. Şekil 5.4'te bu takım tutucuya ait özellikler verilmektedir.



Şekil 5.4. Tornalama deneylerinde kullanılan takım tutucu özellikleri [49].

Frezeleme deneyleri ise alın frezeleme metoduyla yapılmıştır. TPKN 1603 PDR kodlu kesici takımlar 50 mm çaplı bir alın freze çakısına rijit bir şekilde bağlanmıştır. Kullanılan alın freze çakısı 5 kesici takımı bağlayabilme kapasitesine sahiptir. Ancak, deneysel amaçlı olarak tek bir kesici takım bağlanmıştır.

5.3. KULLANILAN TAKIM TEZGAHLARI

Deneyler Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalında bulunan Taksan TTC-550 marka CNC Tornada ve Knuth marka bir universal frezede yapılmıştır. Taksan TTC-550 CNC Torna Tezgahına ayna-punta arasında bağlanmıştır. Taksan TTC-550 CNC Torna Tezgahının iş mili değişken kademesiz hıza sahip olup 4000 dev/dak'ya kadar çıkabilmektedir ve gücü de 10 kW'tır.

5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI

İşlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümleri için Karabük Üniversitesi'nde bulunan Marsurf PS1 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Ölçümler için kesme uzunluğu 0,8 mm ve değerlendirme uzunluğu da 5 mm olarak alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü olarak ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a) dikkate alınmıştır. Alınan 5 farklı ölçümlerden en yüksek ve düşük değer çıkarılıp geri kalan 3 değer aritmetik ortalaması alınarak ortalama R_a değeri hesaplanmıştır.

5.5. TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) VE STEREO MİKROSKOP

Farklı kesme hızları ve ilerlemelerde sabit kesme derinliğinde yapılan deneyler sonrasında takımlarda meydana gelen yanak aşınmaları takım mikroskobunda incelenmiş ve her iki takım içinde aşınma durumlarına bakılmıştır. Bu incelemeler Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Metalürji Anabilim Dalı'nda yer alan "INSTRUMENT JSM-6060" marka kodlu SEM cihazında gerçekleştirilmiştir. Kesici takım aşınma miktarları Karabük Üniversitesi'nde bulunan Mitutoyo marka stereo mikroskop ile belirlenmiştir.

5.6. DENEY DEĞİŞKENLERİ

CNC tornada yapılan deneyler, dört farklı kesme hızında, tek ilerlemede, tek kesme derinliğinde ve kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Kullanılan bu deney değişkenleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Frezede yapılan deneyler ise 12.5 m/dk ilerlemede ve 0.05 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.1. Tortalama deney değişkenleri.

Kesme Şartı	Parametre/Özellik
Kesici Takımlar	SNGA 120408 Mitsubishi PCD Takım
Kesme Hızı (m/dk)	7,5-15-22,5-30
İlerleme Hızı (mm/dev)	0,1
Kesme Derinliği (mm)	0,5
Kesme Boyu (mm)	70
Kesici Ağız Sayısı (adet)	1
Takım Tutucu	PSBNR 2525 M12
Malzeme sertlik (HV)	2100
Kesme Yöntemi	Boyuna tornalama

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada Alümina (Al_2O_3) seramik malzemenin çok kristalli elmas (PCD) kesici takımlarla işlenmesinin incelenmesi ve işlemede en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. İşleme deneyleri, metal ve alaşımlarının işlenmesinde kullanılan kesme hızlarına göre oldukça düşüktür. Bunun nedeni ise alümina seramik malzemenin oldukça sert ve aşındırıcı olan yapısıdır. Talaşlı imalat işlemlerinde kesme hızı genellikle artan sertlikle düşer. Aksi takdirde hızlı takım aşınmasından dolayı kabul edilebilir bir işleme gerçekleştirilemez. Bu çalışmada kullanılan kesme hızları kesici takım firmaları ile yapılan görüşmeler sonucu elde edilen bilgilere göre belirlenmiştir.

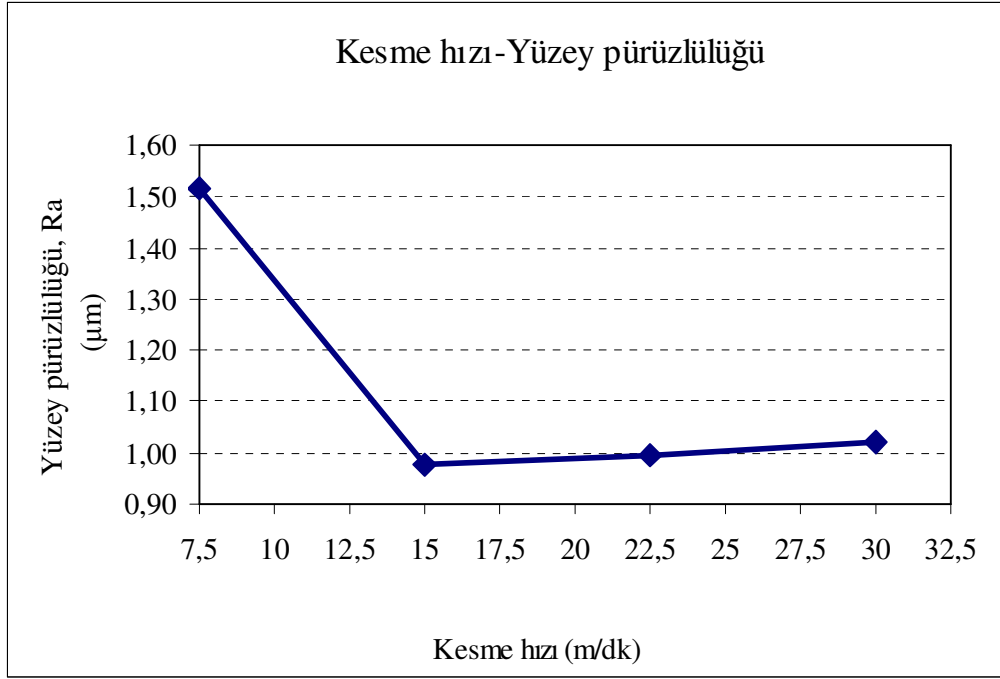
6.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ

Tornalama yöntemiyle yapılan deneyler sonucu kabul edilebilir yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ancak, frezeleme yöntemiyle yapılan deneyler sonucu işlenmiş yüzeyde kopmalar ve kırılmalar meydana gelmiştir. Tornalama yöntemiyle elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri Çizelge 6.1.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Tornalama deneyleri sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri

Deney	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Kesme Derinliği (mm)	Ra 1 (μ m)	Ra 2 (μ m)	Ra 3 (μ m)	Ra Ort. (μ m)
1	7,5	0,1	0,5	1,544	1,432	1,566	1,514
2	15	0,1	0,5	0,863	1,022	1,046	0,977
3	22,5	0,1	0,5	0,994	0,994	1,003	0,997
4	30	0,1	0,5	0,975	1,024	1,061	1,02

Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 6.1.'de de ayrıca grafik olarak verilmiştir.



Şekil 6.1. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına bağlı değişimi.

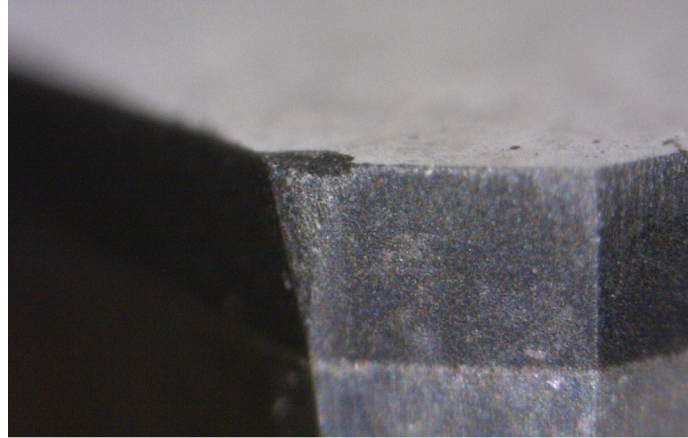
Çizelge 6.1'deki verilerden ve Şekil 6.1'deki grafikten yüzey pürüzlülüğünün en düşük kesme hızı olan 7.5 m/dk'da en yüksek değerine çıktığı ve kesme hızının 15 m/dk'ya çıkmasıyla en düşük seviyesine indiği ve kesme hızındaki daha fazla artışla tekrar artış eğilimine geçtiği görülmektedir. Ancak, 15, 22.5 ve 30 m/dk kesme hızlarında elde edilen yüzey pürüzlük değerleri arasında çok fazla bir değişim görülmemektedir.

Metal ve alaşımlarının işlenmesinde kesme hızına bağlı benzer yüzey pürüzlülük eğilimleri çeşitli çalışmalardan görülmüştür [26]. Bu durum (düşük kesme hızlarında yüksek yüzey pürüzlülük değeri ve kesme hızındaki artışla en düşük bir değere düşmesi ve daha sonra artan kesme hızıyla tekrar artış eğilimine girmesi) özellikle sünekliği yüksek malzemelerin işlenmesinde görülmektedir. Sünek malzemelerin işlenmesinde yüzey pürüzlülük değeri üzerinde kesici uçta yığıntı talaş oluşumunun ve oluşan bu talaşın işlem esnasında kopmasının önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir.

İş parçası malzemesi olan alüminanın hemen hemen hiçbir sünek davranış sergilememesi nedeniyle bu çalışmada elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri dolayısıyla benzer bir mekanizma ile açıklanamaz.

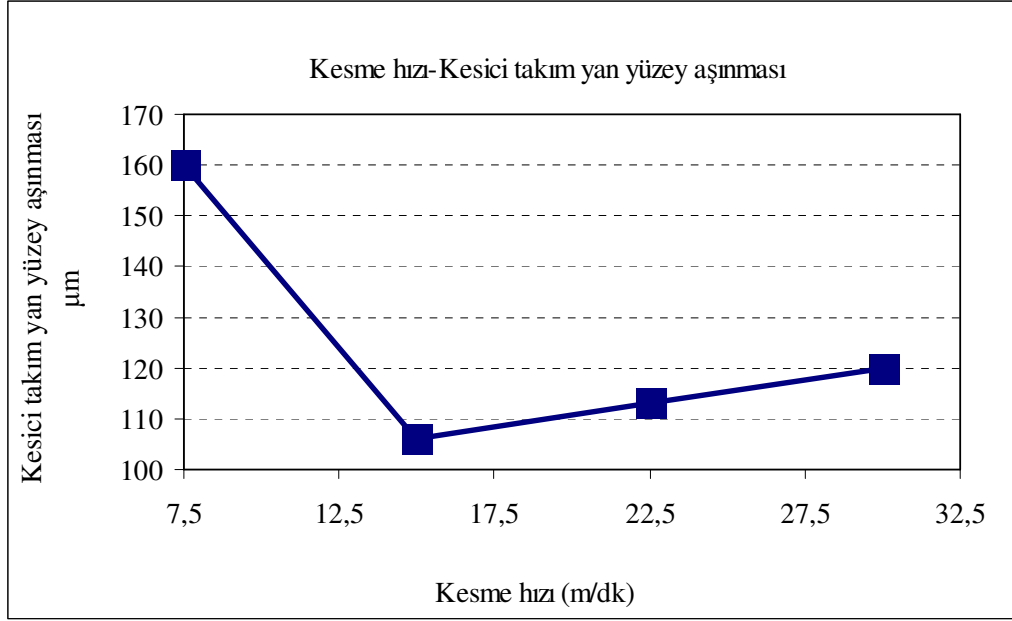
6.2. KESİCİ TAKIM AŞINMASI

Alümina seramik malzemelerin işlenmesi sonucu kesici takımlarda oluşan aşınmalar öncelikli olarak bir takım mikroskobu ile incelenmiştir. Tornalama işlemi sonucu kesici takımdaki aşınmaların düşük kesme derinliği nedeniyle esas olarak kesici ucun burun bölgesinde yüzey aşınması biçiminde olduğu görülmüştür. Bu kesici takımlarda aşınma tedrici bir biçimde gerçekleşmiştir. Frezeleme işleminde ise kesici uçta önemli kırılmalar görülmüştür (Şekil 6.2.). Bölüm 6.1’de frezeleme işlemi ile elde edilen yüzeylerde kırılmalar olduğu belirtilmişti. Dolayısıyla frezeleme işleminde kullanılan kesici takımlardaki kırılmaların işlenmiş yüzeylerdeki kırılma ve kopmalardan kaynaklandığı söylenebilir. Kesici uç biçiminin kırılma sonucu değişmesi, işleme esnasında kuvvetleri artırır ve bu da alümina gibi kırılğan malzemelerin yüzeyinde kırılmalara neden olur.



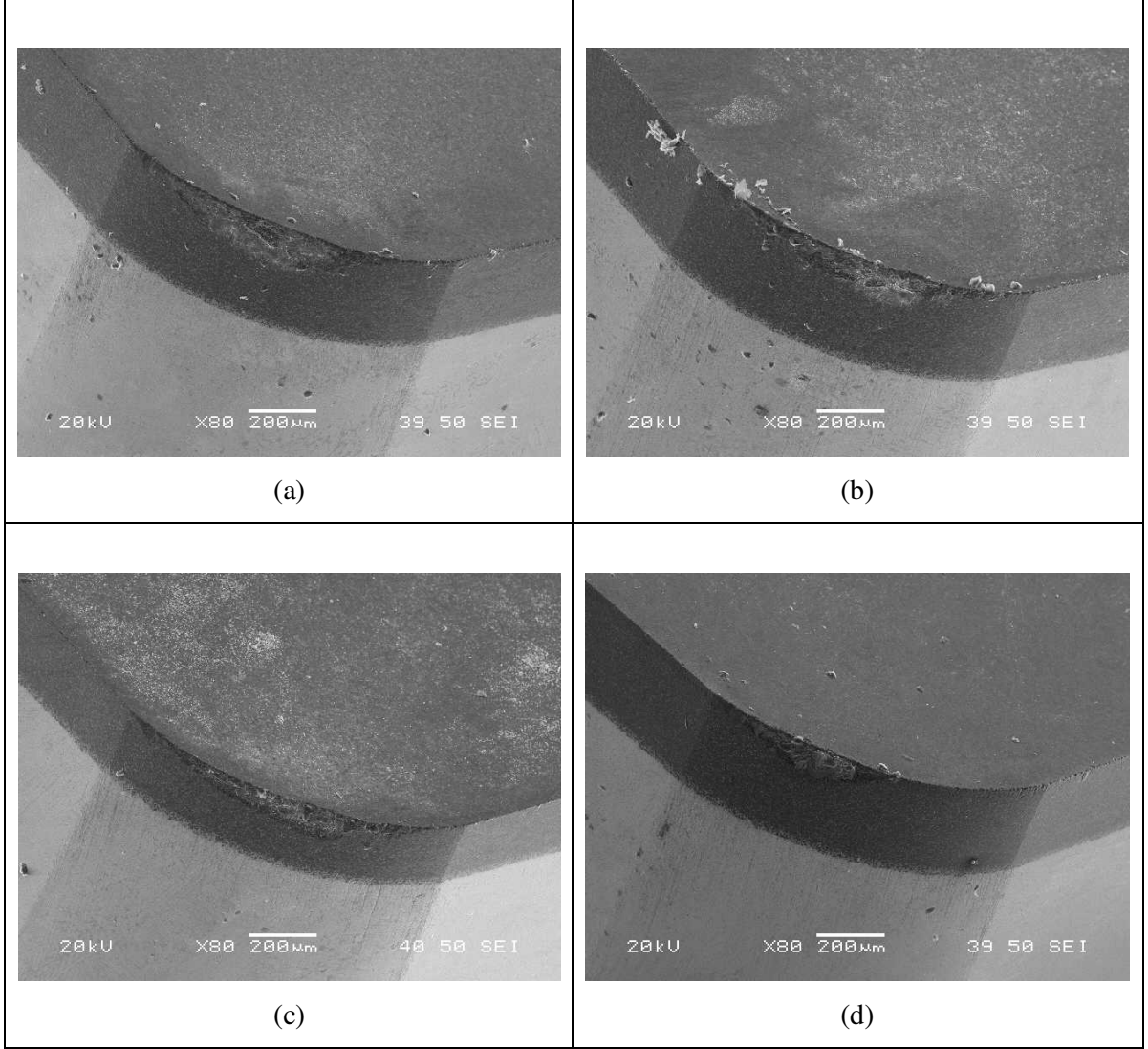
Şekil 6.2. Frezeleme işleminde kullanılan kesici takım.

Tornalama işlemi sonucu her bir kesici takımla belirlenen koşullarda sabit miktarda talaş kaldırıldıktan sonra oluşan kesici takım yüzey aşınmalarının miktarı takım mikroskobu ile belirlenmiştir. Şekil 6.3.’de farklı kesme hızlarında yapılan tornalama işlemleri sonucu gerçekleşen aşınma değerleri verilmiştir.



Şekil 6.3. Kesici takım aşınmasının kesme hızına bağlı değişimi.

Şekil 6.3.'den en yüksek aşınma değerinin en düşük kesme hızı olan 15 m/dk'da yapılan işleme sonucu gerçekleştiği görülmektedir. Bu kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün en yüksek olduğu Bölüm 6.1'de belirtilmişti. Kesme hızındaki artışla takım aşınması azalmaktadır. 15 m/dk kesme hızında gerçekleşen en yüksek takım aşınması 130 µm iken 22 m/dk kesme hızında bu değer 70 µm'ye düştüğü görülmektedir. Diğer kesme hızlarında gerçekleşen aşınma değerleri de yaklaşık olarak 70 µm civarındadır. Şekil 6.4.'te tornalama işlemlerinde kullanılan aşınmış kesici takımların tarama elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları verilmiştir. Kesici takımlardaki aşınmalar SEM fotoğraflarından da açıkça görülmektedir. En düşük kesme hızındaki yüksek aşınma miktarı bu hızdaki yüksek kesme kuvvetleri ile açıklanabilir. Yüksek kesme kuvvetleri işleme esnasında PCD kesici takımdan daha çok tanenin ayrılmasına ve dolayısıyla daha çok aşınmaya neden olur.



Şekil 6.4. Torna kesici takımları kesme kenarlarının SEM görüntüleri, a) $V=7.5$ m/dk, b) $V=15$ m/dk, c) $V=22.5$ m/dk, d) $V=30$ m/dk

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılan alümina seramik (Al_2O_3) malzemeler üzerinde çok kristalli elmas (Polycrystalline Diamond - PCD) kesici takımlar kullanılarak tornalama ve alın frezeleme yöntemiyle işleme deneyleri yapılmıştır. Kesme hızının işlenmiş seramik malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

1. Alüminyum oksit (alümina) seramik malzemelerin tornalama yöntemiyle PCD kesici takımlar kullanılarak şekillendirilebildiği görülmüştür. Frezeleme yönteminde kesici uçların kırılması sonucu işlenmiş yüzeylerde ciddi kırılmalar ve kopmalar görülmüştür.
2. Deneylerde en yüksek ortalama yüzey pürüzlük değeri R_a 1,514 μm , 7,5 m/dk kesme hızında elde edilirken, en düşük yüzey pürüzlülük değeri R_a 0,977 μm , 15 m/dk kesme hızında elde edilmiştir. Oluşan bu yüzey pürüzlülük değerleri aralarında işleme kalitesi yönünden kıyaslandığında taşlama hassasiyetinde yüzeylerin oluştuğu görülmektedir.
3. Kesme hızının 15 m/dk'dan 22,5 m/dk'ya çıkmasıyla yüzey pürüzlülük değeri azalmış ve bu değerden sonraki kesme hızlarında da yüzey pürüzlülük değerinde ciddi değişimler gözlenmemiştir.
4. Kesici takımların SEM görüntülerine bakıldığında, bütün takımlarda tedrici yan yüzey aşınmaları meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu aşınmalar aşırı olmamakla birlikte, en yüksek aşınma değeri 15 m/dk kesme hızında gözlemlenmiştir.

Daha sonra yapılacak olan çalışmalara örnek teşkil etmesi açısından öneriler aşağıda verilmiştir:

1. Farklı bir geometriye sahip PCD kesici takımlarla deneyler tekrar edilebilir.
2. Alın frezeleme yönteminde farklı özelliğe sahip başka bir PCD kesici takım kullanılabilir.
3. Farklı kesme hızları, farklı ilerleme ve değişik kesme derinliklerinde deneyler tekrar edilebilir.
4. Takım ömrünü tespit etmek için deneyler yapılabilir.
5. Alümina yerine farklı bir seramik malzeme kullanılarak çalışmalar devam ettirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Gezgın, A., “Prizmatik parçaların frezelenmesi esnasında kesici uç sayısının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-87 (2007).
2. Uzun, G., “Farklı ısıl işlemlerin Ç 5140 çeliğın işlenebilirliğine etkisinin incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük , 10-50 (2008).
3. Baykara, T., “İleri teknoloji seramikleri üzerine bilimsel ve endüstriyel çalışmalar” Uluslararası Seramik Kongresi Kitabı, *Tübitak – MAM Malzeme Araştırma Bölümü*, 20-60 (1992).
4. Petrofes, N.F., “Shaping advanced ceramics with electrical discharge machining”, Ph.D., *Texas A&M University*, 15-21 (1989).
5. Sarkar, B.R., Doloi, B., and Bhattacharyya, B., “Parametric analysis of electrochemical discharge machining of silicon nitride ceramics”, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 28: 873-881 (2006).
6. Küçüktürk, G., “Elektro erozyon iletken olmayan seramiklerin işlenmesin için yöntem geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-80 (2008).
7. Bhattacharyya, B., Doloi, B.N., and Sorkhel, S.K., “Experimental investigation into electrochemical discharge machining (ECDM) of non-conductive ceramic material”, *Journal of Materials Processing Technology*, 95 (1-3): 145-154 (1999).
8. Gudimetla, P., Wang, J., and Wong, W., “Kerf formation analysis in the abrasive waterjet cutting of industrial ceramics”, *Journal of Materials Processing Technology*, 128 (1-3): 123-129 (2002).
9. Wakuda, M., Yamauchi, Y., and Kanzaki, S., “Material response to participle impact during abrasive jet machining of alumina ceramics”, *Journal of Materials Processing Technology*, 132: 177-183 (2003).
10. Wakuda, M., Yamauchi, Y., and Kanzaki, S., “Effect of workpiece properties on machinability an abrasive jet machining of ceramics materials”, *Journal of Materials Processing Technology*, 26 (2):193-198 (2002).

11. Eray, M.E., “Yeni tasarım döngüsel turbo motorun kompozit malzemelerle türbin performansının artırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 15-70 (2009).
12. Günay, M., “Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-80 (2009).
13. Yergök, Ç., “Polikristal elmas takımlarla germanyumun kaba işlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği*, Ankara, 30-60 (2010).
14. Black, I., Livingstone, S.A., and Chua, K.L., “A laser beam machining (LBM) database for the cutting of ceramic tile”, *Journal of Materials Processing Technology*, 84: 47-55 (1998).
15. Dhupal, D., Doloi, B.N., and Bhattacharyya, B., “Pulsed Nd-YAG laser turning of micro-groove on aluminium oxide ceramic (Al₂O₃)”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48 (2): 236-24 (2008).
16. Özçatalbaş, Y., “1050,4140,8620 Çeliklerinin ısıtma işlemiyle değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-40 (1996).
17. Demirok, S., “Çeliklerin farklı sertlik oranlarında işlenebilirliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 25-50 (2008).
18. Sandvik Coromant, “Modern metal cutting-a practical handbook, English Edition”, *Sandvik Coromant*, Sweden, 1-3: 20-100 (1994)
19. Çiftçi, İ., “Takım tasarımı ders notları”, *Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 36 (2011)
20. Çiftçi, İ., “Kesici takımlar ve kesme teorisi, ders notları”, *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 30 (2011).
21. Özçatalbaş, Y., Ercan, F. ve Türker, M., “Ç1050 çeliğinde mikroyapı ve mekanik özelliklerin talaş morfolojisi ile işleme özelliklerine etkisi” *9. Uluslar Arası Metalürji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 319-324 (1997).
22. Trent, E.M., “Metal cutting”, *Butterworths Press*, London, 1-171 (1989).
23. Özdemir, H., “Tornalama işleminde kesme kuvveti ölçümünde kullanılacak dinamometre tasarımı ve üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 5-56 (2006).
24. Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 30-80 (1992).

25. Kulaksız, Ö., Çakır, Ö., ve Ulusoy, O., “Metal meslek bilgisi”, *Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları*, Ankara, 18-29 (1995).
26. Çiftçi, K., “Mikroalaşımli çeliklerin frezelenmesinde kesme parametrelerinin talaşlı işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 10-15 (2005).
27. Groover, M. P., “Fundamentals of modern manufacturing – Materials, processes and systems”, *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 220-639 (1996).
28. Amstead, B.H., Ostwald, P.F. and Begeman, M.L., “Manufacturing processes, Eighth Edition”, *John Wiley & Sons*, New York, 457 (1987).
29. Özses, B., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-25 (2002).
30. Shaw, M.C., “Metal cutting principles”, *Oxford University Press*, London, 210-265 (1985).
31. Bayrak, M., “Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-35 (2002).
32. Gadelmavla, E, S., and Koura, M, M., “Roughness parameter”, *Journal Of Material Processing Technology*, 123: 133-145 (2002).
33. Otman, M., R., Mustafa, N.,N.,N., and Ahmad, A.,L., “Effect of thermal treatment on the microstructure of sol-gel derived porous alumina modified platinum”, *Microporous and Mesoporous Materials*, 30: 268-275 (2006).
34. Kirk, R., E., Otmer, D.,F., Grayson, M., and Eckroth, D., “Encyclopedia of Chemical Technology”, *John Wiley & Sons*, New York, 2: 31-241, 630-631 (1978).
35. Taktak, S., ve Baspınar, M., S., “Wear and friction behaviour of alumina/mullite composite by sol-gel infiltration technique”, *Materials and Design*, 26: 459-46 (2005).
36. Gülfen, G., “Hidroklorik asit çözeltisinde milas boksit cevherlerinin çözünürlüğü”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 30-70 (1998).
37. Chewia, K., K., “Ceramic matrix composites”, *Chapman and Hall*, UK, 1-49 (1993).
38. Mo, C., B., Cha, S., I., Kim, K., T., Lee, K., H., and Hong, S., H., “Fabrication of carbon nanotube reinforced alumina matrix nanocomposite sol-gel process”, *Materials Science and Technology*, 395: 124-128 (2005).

39. Sarkar, D., Adak, S., and Mitra, N., "Preparation and characterization of an Al₂O₃-ZrO₂ nanocomposite, part-I: powder synthesis and transformation behaviour during fracture.", *Composites*, 30: 1-8 (2006).
40. Saito, S., "Fine ceramics", *Elsevier*, 80-180 (1998).
41. Gençer, E., ve Nemli, H.F., "Boksitten alümina üretiminin kimyasal temeli ve teknolojisi", alümina üretiminde grup eğitimi, *United Nations Industrial Development Organization*, Aluterv-FKI, 10-50 (1979).
42. Alp, A., "Muğla boksitlerinden alümina üretiminde verimlilik koşullarının incelenmesi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 20-30 (1996).
43. Pehlivan, M., "Alümina üretim yöntemleri", *Etibank Bülteni*, (50): 11-14 (1983).
44. Güler, A., "Muğla boksitlerinin alümina üretiminde değerlendirilmesi ve liç kinetiği" *Mühendislik Projesi*, 10-30 (2003).
45. İpek, M., "İki farklı yol ile üretilmiş Alümina-Zirkonya kompozitlerin sinterlenme ve kırılma davranışlarının incelenmesi", Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 50-60 (2005).
46. Toy, Ç., ve Baykara, T., "21. yüzyılın malzemesi seramikler", *Bilim ve Teknik Dergisi*, (317): 6-13 (1994).
47. Ilgar, F., "TiO₂ katkısının alüminanın sinterlenme davranışına etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 10-50 (2008).
48. Ören, H., "Alümina esaslı seramiklerin kazımalı aşınma özellikleri", Bitirme Tezi, *Sakarya Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği*, 20-40 (1998).
49. Mitsubishi Carbide and Tools Division, "Kesici takım kataloğu", *Mitsubishi Material*.

ÖZGEÇMİŞ

Şenol ŞİRİN 1984 yılında Trabzon OF'ta doğdu. OF H.M.B. ULUSOY Anadolu Meslek Lisesi CNC Bölümünden mezun oldu. 2004 yılında GAZİ Üniversitesi Talaşlı Üretim Öğretmenliğinde Lisans Eğitimine başladı ve 2008 yılında iyi dereceyle mezun oldu. Aynı yıl yüksek Lisans Eğitimine Karabük Üniversitesi Makine Eğitimi bölümünde başladı. İş hayatına dönen güç ve enerji sistemleri üzerine Ar-Ge yapan bir mühendislik şirketinde başladı. Halen Düzce'de faaliyet gösteren bir Rulman Fabrikasında Ar-Ge departmanında Proses Mühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yeni Mahalle 423. Sok No:9 Daire:3
Gümüşova / DÜZCE

Tel : (505) 703 66 61

E-posta : senolsirin@hotmail.com