

**ALÜMİNA TAKVİYELİ ALÜMİNYUM ESASLI KOMPOZİTLERİN
FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN
İŞLEME PERFORMANSINA ETKİSİ**

Caner Emre AKÇAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2008

ANKARA

Caner Emre AKÇAY tarafından hazırlanan ALÜMİNA TAKVİYELİ ALÜMİNYUM ESASLI KOMPOZİTLERİN FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN İŞLEME PERFORMANSINA ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ömer KELEŞ
Tez Danışmanı, Makine Müh. A. D.

Doç. Dr. Mustafa ÜBEYLİ
Ortak Tez Danışmanı, TOBB ETÜ Mak. Müh. A. D.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Can COĞUN
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Doç. Dr. Ömer KELEŞ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Yrd. Doç. Dr. Adem ACIR
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Tarih: 07/07/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Caner Emre AKÇAY

**ALÜMİNA TAKVİYELİ ALÜMİNYUM ESASLI KOMPOZİTLERİN
FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN
İŞLEME PERFORMANSINA ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Caner Emre AKÇAY

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2008**

ÖZET

Bu çalışmada, hacimce %15 Al_2O_3 parçacık takviyeli $Al_6Zn_2Mg_2Cu$ alüminyum esaslı kompozit; sıvı faz sinterleme yöntemi ile üretilmiştir. Üretimden sonra tavlanmış ve mekanik özellikleri test edilmiştir. Daha sonra, yüzey frezeleme yöntemi ile işleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yığma kenar yüksekliği ölçülmüştür. Yüzey frezeleme işlemlerinde üç farklı kesici takım (kaplamasız WC, TiN kaplamalı WC, TiCN kaplamalı Al_2O_3), üç farklı kesme hızı (90, 120, 150 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,08, 0,12, 0,16 mm/diş) ve sabit kesme derinliği (1 mm) kullanılmıştır. Sonuç olarak; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yığma kenar oluşumu açısından ilerleme hızının kesme hızından daha etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, ilerleme hızının artmasıyla kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı, yığma kenar yüksekliğinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, bu işleme koşullarında en iyi başarımları kaplamasız WC takım ile elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 914.1.093
Anahtar Kelimeler : Metal Esaslı Kompozitler, Frezeleme, Kesme Kuvvetleri, Yüzey Pürüzlülüğü, Yığma Kenar
Sayfa Adedi : 106
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ömer KELEŞ
: Doç. Dr. Mustafa ÜBEYLİ

**INFLUENCE OF CUTTING PARAMETERS ON THE MACHINING
PERFORMANCE OF ALUMINA PARTICLE REINFORCED
ALUMINUM MATRIX COMPOSITES IN MILLING
(M.Sc. Thesis)**

Caner Emre AKÇAY

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
July 2008**

ABSTRACT

In this study, 15 vol.% Al_2O_3 particle reinforced $Al_6Zn_2Mn_2Cu$ aluminum metal matrix composite was manufactured with liquid phase sintering technique. After production, it was annealed and mechanical properties were tested. Later, the formation of cutting forces, surface roughness and built-up edge height during machining with face milling technique, was measured. Three different cutting tools (uncoated WC, TiN coated WC, TiCN coated Al_2O_3), three different cutting speeds (90, 120, 150 m/min), three different feed rates (0,08, 0,12, 0,16 mm/z) and constant depth of cut (1 mm) were used in face milling operations. In conclusion; it was seen that, feed rate was more effective than cutting speed in terms of cutting forces, surface roughness and built-up edge formation. It was concluded that as feed rate increases, cuttings forces and surface roughness increase, built-up edge height decreases. Furthermore, in these machining conditions best performance obtained with uncoated WC tool.

Science Code : 914.1.093

**Key Words : Metal Matrix Composites, Milling, Cutting Forces,
Surface Roughness, Built-Up Edge**

Page Number: 106

**Adviser : Assoc. Prof. Dr. Ömer KELEŞ
: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÜBEYLİ**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli Hocalarım Doç. Dr. Ömer KELEŞ ve Doç. Dr. Mustafa ÜBEYLİ'ye, Gazi Üniversitesi Talaşlı İmalat Laboratuvarı'nın kullanılmasında ve deneylerin yapılmasında yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Adem ACIR ve Arş. Gör. Mustafa GÜNAY'a, ODTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları'nın kullanılmasında yardımcı olan Dr. Serdar KARAKAŞ ve Arş. Gör. Evren TAN'a, TOBB ETÜ Malzeme Laboratuvarı'nın kullanılmasında yardımcı olan Arş. Gör. Teyfik DEMİR'e ve teknisyen Kamil ARSLAN'a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan babam ve anneme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. KOMPOZİT MALZEMELER, FREZELEME VE İŞLENEBİLİRLİK	10
3.1. Kompozit Malzemeler.....	10
3.1.1. Parçacıklarla takviye edilmiş kompozit malzemeler	12
3.1.2. Dağınımla dayanımı arttırılmış kompozit malzemeler	12
3.1.3. Metal anayapılı kompozitler	13
3.1.4. Metal anayapılı kompozitlerin üretim yöntemleri	14
3.1.5. Alüminyum oksit (Al_2O_3)	19
3.1.6. Alüminyum anayapı.....	19
3.2. Frezeleme	26
3.2.1. Frezeleme ile ilgili temel tanımlar	26
3.2.2. Kesici takımlar	33
3.3. İşlenebilirlik	39

Sayfa

3.3.1. Kesme kuvvetleri	40
3.3.2. Yüzey pürüzlülüğü.....	42
3.3.3. Yığma kenar eğilimi	45
3.3.4. Alüminyumun işlenebilirliği.....	45
4. DENEYSEL YÖNTEM.....	47
4.1. Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi.....	47
4.1.1. Toz özelliklerinin belirlenmesi	47
4.1.2. Kompozit numunelerin üretimi.....	48
4.1.3. Isıl işlem.....	52
4.1.4. İç yapı incelemesi	53
4.1.5. Mekanik özelliklerin belirlenmesi	54
4.2. Kompozitlerin Frezelenmesi	58
4.2.1. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi	60
4.2.2. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi	62
5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	64
5.1. Tozların Özellikleri	64
5.2. İç Yapı.....	67
5.3. Mekanik Özellikler.....	71
5.3.1. Makro sertlik.....	71
5.3.2. Eğme dayanımı	72
5.4. Kompozitlerin Frezelenmesi	74
5.4.1. Kesme kuvvetleri	74
5.4.2. Yüzey pürüzlülüğü	83

	Sayfa
5.4.3. Yığma kenar yüksekliği	86
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
6.1. Sonuçlar	94
6.2. Öneriler	96
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	106

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Bazı metal anayapılı kompozitlerin potansiyel uygulama alanları.....	13
Çizelge 3.2. Saf alüminyumun fiziksel özellikleri.....	20
Çizelge 3.3. Alüminyum alaşımlarının gösterimi.....	20
Çizelge 3.4. Bazı kesici takımların akma dayanımı değerleri.....	33
Çizelge 3.5. Farklı talaş kaldırma işlemleri ile elde edilen R_t ve R_a yüzey pürüzlülük değerleri.....	44
Çizelge 4.1. Numune üretimi için kullanılan tozlar ve kullanım miktarları.....	49
Çizelge 4.2. Takım geometrisi ve kesme şartları.....	58
Çizelge 4.3. Kullanılan kesici takımların özellikleri.....	59
Çizelge 4.4. Perthometer M1 (Mahr) yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının özellikleri.....	62
Çizelge 5.1. Ortalama toz boyutları.....	65
Çizelge 5.2. Makro sertlik ölçüm sonuçları.....	71
Çizelge 5.3. Üç nokta eğme deneyi ile elde edilen mukavemet değerleri.....	73
Çizelge 5.4. Özgül kesme kuvvetinin ilerleme kesme kuvveti ve ortalama talaş kalınlığına bağlı olarak değişimi.....	77

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Değişik şekilli takviyeli kompozitler (a) Tek yönlü ve sürekli elyaflar (b) Kesikli elyaflar (c) Parçacık Takviyeli (d) Dikey elyaflar (e) Rasgele düzlemsel yönlendirilmiş elyaflar.....	11
Şekil 3.2. Olası toz şekillerinin gösterimi.....	15
Şekil 3.3. İki toz karışımı kullanılarak yapılan sıvı faz sinterlemenin aşamaları...	17
Şekil 3.4. Çözelti-tekrar çökelme işlemi.....	18
Şekil 3.5. (a) Uyumlu arayüzey (b) Uygunsuz dislokasyonlar.....	23
Şekil 3.6. (a) Çevresel frezeleme (b) Alın frezeleme.....	26
Şekil 3.7. (a) Aynı yönlü frezeleme (b) Karşıt yönlü frezeleme.....	28
Şekil 3.8. Yanaşma açısı ve talaş kalınlığı.....	28
Şekil 3.9. Özgül kesme kuvvetini oluşturan değişkenler.....	29
Şekil 3.10. Alın freze için kesme kuvveti bileşenleri.....	29
Şekil 3.11. Artı talaş açısı.....	30
Şekil 3.12. Eksi talaş açısı.....	30
Şekil 3.13. Kesici ucu tanımlayan işlevsel açılar.....	31
Şekil 3.14. Kesici ucun konumunu belirleyen açılar.....	31
Şekil 3.15. Alın frezelemede geometri açısından temel tasarımlar.....	32
Şekil 3.16. ISO 1832'ye göre kesici takım kodlama sistemi.....	34
Şekil 3.17. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi.....	42
Şekil 3.18. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili örnekler.....	44
Şekil 4.1. ASTM standardına göre üç nokta eğme numunesi boyutları.....	55
Şekil 4.2. ASTM standardına göre üç nokta eğme deneyi düzeneği.....	55

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Uygulanan frezeleme yöntemi ve kesme kuvvetlerinin yönleri.....	59
Şekil 5.1. Toz boyutu grafiği.....	64
Şekil 5.2. F_x kuvvetinin ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak değişimi (a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al_2O_3	76
Şekil 5.3. F_y kuvvetinin ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak değişimi (a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al_2O_3	80
Şekil 5.4. F_z kuvvetinin ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak değişimi (a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al_2O_3	82
Şekil 5.5. Ra değerinin ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak değişimi (a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al_2O_3	85
Şekil 5.6. Yığma kenar yüksekliğinin ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak değişimi (a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al_2O_3	92

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Hassas terazi.....	49
Resim 4.2. İki boyutlu toz karıştırma birimi.....	50
Resim 4.3. 50x50 iç boşluğa sahip kalıp.....	51
Resim 4.4. 30 ton kapasiteli mekanik pres ve elektrik fırını düzeneği.....	51
Resim 4.5. Alümina parçacıkların kompozit içerisindeki dağılımı.....	52
Resim 4.6. Kül fırın.....	52
Resim 4.7. Optik mikroskop düzeneği.....	53
Resim 4.8. Makro sertlik ölçüm cihazı.....	54
Resim 4.9. Üç nokta eğme deneyi düzeneği – 1.....	56
Resim 4.10. Üç nokta eğme deneyi düzeneği – 2.....	56
Resim 4.11. Üç nokta eğme deneyi düzeneği – 3.....	57
Resim 4.12. Üç nokta eğme deneyi düzeneği – 4.....	57
Resim 4.13. İş parçası bağlama aparatı ve KISTLER 9257B dinamometre.....	60
Resim 4.14. Kesme kuvveti ölçme düzeneği.....	61
Resim 4.15. Yükseltici.....	61
Resim 4.16. Takım tutucuya kesici takımın bağlantı şekli.....	62
Resim 4.17. Perthometer M1 (Mahr) yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	63
Resim 4.18. Perthometer M1 (Mahr) yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının ucu.....	63
Resim 5.1. Al ₂ O ₃ tozunun 500x büyütmede TEM ile çekilen fotoğrafı.....	65
Resim 5.2. Zn tozunun 500x büyütmede TEM ile çekilen fotoğrafı.....	66
Resim 5.3. Mg tozunun 500x büyütmede TEM ile çekilen fotoğrafı.....	66

Resim	Sayfa
Resim 5.4. Cu tozunun 500x büyütmede TEM ile çekilen fotoğrafı.....	66
Resim 5.5. Al tozunun 500x büyütmede TEM ile çekilen fotoğrafı.....	67
Resim 5.6. Kompozitin iç yapısı (a) Dağlanmamış 50x (b) Dağlanmamış 100x...	68
Resim 5.7. Kompozitin iç yapısı (a) Dağlanmamış 500x (b) Dağlanmış 500x.....	69
Resim 5.8. Kompozitin iç yapısı (a) Dağlanmamış 1000x (b) Dağlanmış 1000x...	70
Resim 5.9. Eğme dayanımı testi.....	73
Resim 5.10. Kesici takımların 50x büyütmede TEM ile çekilmiş fotoğrafları (a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al ₂ O ₃	74
Resim 5.11. Yığma kenarın 250x büyütmedeki görüntüsü.....	86
Resim 5.12. Yığma kenarın 1000x büyütmedeki görüntüsü.....	86
Resim 5.13. Kaplamasız WC’de oluşan en düşük ve en yüksek yığıntı yükseklikleri.....	88
Resim 5.14. TiN kaplamalı WC’de oluşan en düşük ve en yüksek yığıntı yükseklikleri.....	89
Resim 5.15. TiCN kaplamalı Al ₂ O ₃ ’de oluşan en düşük ve en yüksek yığıntı yükseklikleri.....	90

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
VB	Yanak aşınması
HB	Brinell sertliği
HRC	Rockwell sertliği
WC	Tungsten (Volfram) karbür
TiCN	Titanyum karbo-nitrür
TiN	Titanyum nitrür
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
TiC	Titanyum karbür
Al₂O₃	Alüminyum oksit
ZrN	Zirkonyum nitrür
VC	Vanadyum karbür
Co	Kobalt
Ni	Nikel
TaC	Tantalyum karbür
NbC	Niyobyum karbür
Mo_xC	Molibden karbür
SiC	Silisyum karbür
Al	Alüminyum
Mg	Magnezyum
B₄C_p	Bor karbür (parçacıklı)
α-Al₂O₃	Alfaser alüminyum oksit
δ-Al₂O₃	Saffil alüminyum oksit
Cu	Bakır
Pb	Kurşun
Sn	Kalay

Simgeler	Açıklama
Zn	Çinko
Mn	Mangan
Si	Silisyum
n	Ana mil hızı, dev/dak
V_c	Kesme hızı, m/dak
v_f	Dakikadaki ilerleme hızı, mm/dak
f	Devir başına ilerleme, mm/dev
f_z	Kesici uç başına ilerleme, mm/diş
a_p	Eksenel talaş derinliği, mm
a_e	Radyal talaş derinliği, mm
V	Birim zamanda kaldırılan talaş hacmi, mm ³
h_x	Bozulmamış talaş kalınlığı, mm
h_m	Ortalama talaş kalınlığı, mm
κ	Yanaşma açısı
λ_s	Kesici ucun eğimi
γ₀	Etkin talaş açısı
γ_p	Eksenel talaş açısı
γ_f	Radyal talaş açısı
k_c	Özgül kesme kuvveti, N/mm ²
F_x	İlerleme kesme kuvveti, N
F_y	Radyal kesme kuvveti, N
F_z	Eksenel kesme kuvveti, N
r	Uç yarıçapı, mm
φ	Kavrama açısı
P_s	Kesme gücü, kW
P_m	Takım tezgahı gücü, kW
Si₃N₄	Silikon nitrür
Y₂O₃	Yttriyum oksit
HNO₃	Nitrik asit

Simgeler**Açıklama****HCl**

Hidroklorik asit

HF

Hidroflorik asit

P

Kırılma kuvveti, N

w

Genişlik, mm

t

Kalınlık, mm

L

Destek arası mesafe, mm

Kısaltmalar**Açıklama****MAK**

Metal Anayapılı Kompozit

FBB

Fiziksel Buhar Biriktirme

AISI

Amerikan Demir ve Çelik Endüstrisi

SAE

Otomotiv Mühendisleri Derneği

KYBN

Küp Yapılı Bor Nitrür

ÇKKYBN

Çok Kristalli Kübik Yapılı Bor Nitrür

ÇKE

Çok Kristalli Elmas

KBB

Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD)

FBB

Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)

TM

Toz Metalürjisi

GP

Guinier-Preston

YHÇ

Yüksek Hız Çeliği

ISO

Uluslararası Standart Örgütü

ODTÜ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

TOBB ETÜ

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

ASTM

Amerikan Test ve Malzeme Derneği

TEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

TAKIM A

Kaplamaşız WC Kesici Takım

TAKIM B

TiN Kaplamalı WC Kesici Takım

TAKIM CTiCN Kaplamalı Al₂O₃ Seramik Kesici Takım

1. GİRİŞ

İnsanoğlu var olduğu günden bugüne kadar elde ettiği kazanımları geliştirmeye ve faydalarını artırmaya çalışmıştır. İlk çağlarda bütün işlerini kendi gücünü kullanarak yaparken, zaman içerisinde daha az güç kullanarak daha fazla iş yapabileceği makineler geliştirmiştir. Sanayi devrimi ile birlikte makineleşme çağı başlamış ve artık insan gücü ile yapılan birçok iş, makineler vasıtasıyla yapılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeleri takiben demiryolu, otomotiv ve havacılık sanayisinde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu gelişmelerin sonucu olarak daha yüksek dayanıma ve daha düşük ağırlığa sahip malzemeler geliştirilmiştir.

Zaman içerisinde, malzemelerin geliştirilmesi ile birlikte bugün kullanılan, yüksek mukavemet değerlerine sahip, hafif malzemeler geliştirilmiştir. Son birkaç yıldır metal anayapılı kompozitlerin (MAK) özellikle otomotiv, havacılık ve elektronik alanlarındaki uygulamalarında belirgin bir artış olmuştur. Metal anayapılı kompozitler yüksek iletkenlikleri sayesinde elektrik taşıma hatları ve elektronik devrelerde, yüksek özgül dayanım değerlerinden dolayı havacılık ve otomotiv uygulamalarında yerini almıştır [1].

Bir malzemenin istenilen şekle getirilebilmesi için talaşlı veya talaşsız imalat yöntemleri ile işlenmesi gerekmektedir. Talaşlı imalat yöntemlerinde, iş parçasına istenilen şeklin verilebilmesi için bir takım tezgahı ve kesici uç gereklidir. İşlenebilirlik, bir malzemeye şekil verebilme kabiliyetini belirten bir kavramdır. Bir malzemenin işleme merkezi ve kesici uca en az hasarı verecek şekilde işlenmesi onun iyi bir işlenebilirliği olduğunu gösterir. İşlenebilirlik konusu takım ömrünü, yüzey hassasiyeti ve kesme kuvvetlerini kapsamaktadır. Bir malzemenin işlenmesinde kullanılan takımın ömrünün, işlenen yüzeyin düzgünlüğünün ve işleme sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin bilinmesi, hem kesici uç hem de takım tezgahı tasarımı açısından önemlidir.

Metal anayapılı kompozitlerde takviye elemanı olarak çok sert seramik parçacıklar bulunduğundan dolayı aşırı aşındırıcı özelliğe sahip olmakta ve işlenmesi güç

olmaktadır. Bu sorunun çözümüne katkıda bulunmak amacıyla; farklı kesme şartları, kesici takımlar, takviye elemanları ve takviye oranları kullanılarak metal anayapılı kompozitlerin işlenebilirliği üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, seramik takviyeli alüminyum anayapılı kompozitlerin frezede işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yığıntı yüksekliği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Bu amaçla, hacimce %15 oranında ortalama 43,3 μm boyutunda küresel $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ parçacık takviyeli $\text{Al}_6\text{Zn}_2\text{Mg}_2\text{Cu}$ alüminyum alaşım anayapılı kompozit malzeme, toz metalürjisi yöntemlerinden sıvı faz sinterleme yolu ile üretilmiştir. Daha sonra ise tavlama ısı işlemleri uygulanmış, iç yapısı incelenmiş ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Sonra, bu malzemelerin kaplamasız WC, TiN kaplamalı WC ve TiCN kaplamalı Al_2O_3 seramik takımlar kullanılarak üç farklı kesme hızı 90, 120, 150 m/dak, üç farklı ilerleme hızı 0,08, 0,12, 0,16 mm/diş ve sabit 1 mm talaş derinliği değerlerinde dik işleme merkezinde yüzey frezeleme yöntemi ile işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Son olarak da, kesici uçlarda oluşan yığıntı kenarların taramalı elektron mikroskobu ile fotoğrafları çekilmiş ve yığıntı kenar yükseklikleri ölçülmüştür.

İkinci bölümde, konunun öneminden ve daha önce yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. Daha önce yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda metal anayapılı kompozitlerin işlenebilirliği ile ilgili çalışmaların büyük çoğunluğunun tornalama üzerine yapıldığı, freze üzerine yapılan çalışmaların ise çok az olduğu, frezeleme üzerine yapılan çalışmalarda metal anayapı olarak alüminyum ve takviye elemanı olarak ise genellikle SiC parçacık kullanıldığı görülmüştür.

Üçüncü bölümde, çalışmanın içeriğini oluşturan kompozit malzemeler, sıvı faz sinterleme, kesici takımlar, frezeleme işlemi, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ile ilgili teorik konular açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, kompozit numunelerin üretiminden frezeleme işlemine kadar uygulanan deneysel yöntemlerden, deneylerin hangi şartlarda ve laboratuvarlarda yapıldığından bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde, deneysel çalışmaların sonuçları, grafikleri, resimleri verilmiş ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Kesme kuvvetlerinin, yüzey pürüzlülüğünün ve yığma kenar yüksekliğinin her işleme şartında değerlendirilebilmesi için grafikler çizilmiş ve yorumları yapılmıştır. Kesici uçların taramalı elektron mikroskobu ile çekilen fotoğrafları da bu bölümde verilmiştir.

Altıncı bölümde ise deneysel çalışma sonuçlarının genel değerlendirilmesi yapılmış ve bu kompozit için bu çalışmada ele alınan işleme şartlarında en uygun işleme değişkenleri ve kesici takım belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmanın devamı niteliğinde yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Metal anayapılı kompozitlerin talaşlı imalat yönteminde işlenebilirliği ile ilgili çalışmaların büyük çoğunluğu tornalama üzerine [2-56], bir kısmı delme üzerine [57-63], bir kısmı da frezeleme üzerine [64-74] yapılmıştır. Literatür araştırmasında, metal anayapılı kompozitlerin; tornalanması [3, 4, 6, 10, 18, 20, 24, 32, 38, 41, 55, 56], delinmesi [63], frezelenmesi [67, 68, 70] sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Manna ve Bhattacharayya [3] SiC seramik parçacık takviyeli alüminyum anayapılı kompozitin tornada işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Bu amaçla LM6Mg15SiCp alüminyum metal anayapılı kompozit malzeme kaplamasız WC uç kullanılarak tornada işlenmiş, farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği değerlerinde kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yığma kenar oluşumu incelenmiştir. Sonuç olarak kesme kuvvetlerinin ilerleme kuvvetinden daha büyük olduğu ve aynı işleme şartlarında ilerleme kuvvetinin kesme hızına bağlı olarak çok fazla değişmediği, kesme kuvvetinin ise kesme hızına bağlı olarak azaldığı görülmüştür.

Chan vd. [4] Al6061/15SiC_p alüminyum metal anayapılı kompozit malzemenin çok hassas elmas tornalama işlenmesindeki yüzey oluşumunu kuramsal ve deneysel olarak incelemiştir. Sonuç olarak yüzey pürüzlülüğünün hem işleme şartları hem de malzeme özelliklerinden etkilendiği, kesme hızı ve takım ilerleme hızının artması ile arttığı görülmüştür. Talaş derinliğinin ise düşük kesme hızları dışında yüzey pürüzlülüğüne çok fazla etkisi olmadığı görülmüştür.

Çiftçi vd. [6] ağırlıkça % 16 oranında ortalama 30, 45 ve 110 µm boyutlarında SiC takviyeli 2014 alüminyum anayapılı kompozitin tornada işlenebilirliğini incelemiştir. İşlenebilirlik çalışmalarında küp yapılı bor nitrid (KYBN) uç ile sabit ilerleme hızı ve talaş derinliği değerinde kesme hızına bağlı olarak takım aşınmasını, yüzey pürüzlülüğünü ve yığma kenar oluşumunu incelemiştir. Bütün

kesme hızı değerlerinde en kötü yüzey 110 μm boyutunda SiC takviyeli kompozitin işlenmesi sırasında elde edilmiştir. SiC parçacığının büyük olması takım üzerinde daha fazla aşınmaya ve bu şekilde kötü bir yüzey elde edilmesine neden olmuştur.

Krishnamurthy vd. [10] SiC ve grafit takviyeli alüminyum anayapılı kompozitlerin tornalanması sırasında oluşan bileşke kuvvetinin işleme şartlarına göre değişimini incelemişlerdir. Tornalama işlemlerinde kaplamasız K10 dereceli WC takım, kesme kuvveti ölçümlerinde ise gerinim ölçerli dinamometre kullanılmıştır. Sonuç olarak, Al/SiC ve Al/grafit metal anayapılı kompozitlerin her ikisi için de bileşke kesme kuvvetinin değişimine en fazla etkiyen değişkenin talaş derinliği, ikinci olarak en fazla etkiyen değişkenin takviye oranı olduğu görülmüştür. SiC takviyeli alüminyum anayapılı kompozitte takviye oranının artması ile birlikte bileşke kesme kuvvetinin arttığı, grafit takviyeli alüminyum anayapılı kompozitte takviye oranının artması ile birlikte bileşke kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Kesme hızı arttıkça Al/SiC kompozitte bileşke kesme kuvveti artmış, Al/grafit kompozitte ise azalmıştır. Kesme hızında olduğu gibi ilerleme hızı da arttıkça Al/SiC kompozitte bileşke kesme kuvveti artmış, Al/grafit kompozitte ise azalmıştır.

Pedersen ve Ramulu [18] % 20 oranında ortalama 3-4 μm boyutunda SiC_p takviyeli magnezyum metal anayapılı kompozitin TiCN ve TiN kaplamalı WC uçlar ile farklı kesme şartlarında tornalanması sırasında oluşan takım aşınmasını, kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Deneysel çalışmanın sonuçlarına göre kesme hızının ve kesme kenarı açısının kesme kuvvetlerine belirgin bir etkisi olmadığı, kesme kuvvetinin ilerleme hızı ve talaş derinliğinin artması ile arttığı görülmüştür. Ayrıca kesme hızı, talaş derinliği ve kesici kenar açısının yüzey pürüzlülüğüne çok az miktarda etkisi olduğu asıl etkili değişkenin ilerleme hızı olduğu görülmüştür.

Hochengap vd. [20] hacimce % 56 oranında grafit parçacık takviyeli AC8A alüminyum metal anayapılı kompozit malzemenin tornada K10 dereceli WC takım ile işlenmesinde oluşan talaş yapısını, kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülüğünü ve

takım aşınmasını incelemişlerdir. Tornalama işlemleri kuru ve yağ-su karışıklı ortamda yapılmıştır. Tornalama işlemleri sonucunda kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinde düşme olmadığı, kesme kuvvetlerine etkiyen asıl değişkenlerin ilerleme hızı ve talaş derinliğı olduğu görölmüştür. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına bağı olduğu ve ilerleme hızı arttıkça arttığı, talaş açısının ve kesme sıvısının kesme kuvvetleri üzerine etkisi olmadığı görölmüştür.

Özben vd. [24] hacimce % 5, 10 ve 15 oranında SiC takviyeli AlSi7Mg2 alüminyum anayapılı kompozitin tornada K10 dereceli TiN kaplamalı WC takım ile kuru ortamda farklı kesme şartlarında işlenebilirliğini incelemişlerdir. Sonuç olarak yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ve parçacık takviye oranının artması ile arttığı görölmüştür.

Kılıçkap vd. [32] ağırlıkça % 5 oranında ortalama 24 µm boyutunda SiC takviyeli alüminyum metal anayapılı kompozitin kaplamasız ve TiN kaplamalı WC uçlar ile kuru şartlarda tornalanması sonucunda oluşan takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Yüksek kesme hızlarında daha düşük, yüksek ilerleme oranlarında ise yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edildiğı görölmüştür.

Varadarajan vd. [38] hacimce % 25 oranında ortalama 2,7-2,9 µm çapında ve 40-200 µm uzunluğunda alüminasilikat (% 44-48 Al₂O₃, % 52-56 SiC) elyaf takviyeli LM13 alüminyum alaşım metal anayapılı kompozitin TiN, TiC, TiCN kaplı WC ve çok kristalli küp yapılı bor nitrür (ÇKKYBN) takım kullanılarak tornalanmasında kesme kuvvetleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü oluşumunu incelemişlerdir. Sonuç olarak ÇKKYBN takım; aşınma ve yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından en uygun takım olmuştur. Kaplamalı WC ve ÇKKYBN takımlarda kesme hızının ve ilerleme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin arttığı görölmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün ise karbür takımlarda kesme hızına bağı olarak arttığı, ÇKKBN takımda ise azaldığı görölmüştür.

Şahin vd. [41] ağırlıkça sırasıyla % 0, 10, 20, 30 oranında ve ortalama 16, 32, 66 µm boyutlarında Al₂O₃ takviyeli 2024 alüminyum anayapılı kompozitlerin tornada işlenebilirliğini incelemişlerdir. Kesici takım olarak TiN kaplamalı WC ve Ti+Ti(C,N)+TiN kaplamalı WC kullanılmıştır. Sonuç yüzey pürüzlülüğünün takviye oranının ve parçacık boyutunun artışı ile arttığı görülmüştür.

Lin vd. [55] % 20 oranında ortalama 12,8 µm boyutunda SiC parçacık takviyeli A359 alüminyum metal anayapılı kompozitin tornada ÇKE uç ile kuru ortamda işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetini ve takım aşınmasını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Kesme hızı ve ilerleme hızının artması ile hem kesme kuvvetinin hem de takım aşınmasının arttığı görülmüştür.

Varadarajan vd. [56] hacimce % 30 oranında ve ortalama 5 µm boyutunda SiC parçacık takviyeli 2124 alüminyum alaşım metal anayapılı kompozitin tornada işlenebilirliğini incelemişlerdir. Kesici takım olarak sinterlenmiş WC ve sinterleme sonrası mikrodalga ışınlaması uygulanmış WC kullanılmıştır. Kesme kuvvetlerinin ilerleme oranının artması ile arttığı, kesme hızına bağlı olarak çok fazla değişim göstermediği, yüzey pürüzlülüğünün ise hem kesme hızı hem de ilerleme hızının artması ile arttığı görülmüştür.

Haq vd. [63] hacimce % 10 oranında ortalama 25 µm boyutunda SiC takviyeli LM25 alüminyum anayapılı kompozitin kuru işleme şartlarında TiN kaplamalı YHÇ takım ile delinmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri, tork ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. En düşük kesme kuvveti, ilerleme hızı, kesme hızı ve nokta açısının en düşük olduğu, en düşük yüzey pürüzlülüğü ise kesme hızının, nokta açısının en büyük, ilerleme hızının en düşük olduğu durumda elde edilmiştir.

Reddy vd. [67] ağırlıkça %20 SiC_p takviyeli 2024 alüminyum anayapılı kompozitlerin çevresel frezelenmesini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla iş parçası olarak SiC takviyeli ve takviyesiz 2024 alüminyum alaşım, kesici takım olarak TiAlN kaplı karbür takım kullanılarak, farklı kesme değerlerinin yüzey kalitesi ve işlemeden

sonra oluşan alt yüzey hasarının büyüklüğüne etkileri incelenmiştir. Al-SiC kompozit malzemenin işlenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin Al alaşımının işlenmesi sonucu elde edilen değerlerden her işleme şartında daha küçük olduğu ve ilerleme hızının artırılması sonucunda yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir. Aynı ilerleme hızında ise kesme hızının artması durumunda yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlenmiştir.

Fanghong vd. [68] SiC parçacık takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin yüksek kesme hızlarda kaplamalı karbür uçlar ile çevresel frezeleme işlemi sırasındaki başarımlarını incelemişlerdir. Kesici takım olarak TiAlN kaplı karbür uç kullanılmıştır. Kesme hızının artırılması ile kesme kuvvetlerinin, kesme sıcaklığının ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir.

Cronjager [70] Al_2O_3 , SiC ve B_4C takviyeli dövme alüminyum (AlMgSiCu, AlMg3) ve döküm alüminyum (AlSi7, AlSi12CuMgNi) anayapılı kompozitlerin frezede işlenmesi sırasında oluşan takım aşınmasını, kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Yağlayıcı kullanılması ile takım aşınmasının ve kesme kuvvetlerinin düştüğü, takım aşınmasının artmasından dolayı kesme kuvvetlerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca ilerleme oranının artması ile yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür.

Literatür Araştırmasının Sonuçları

Yapılan literatür araştırmasıyla aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Metal anayapı olarak en çok alüminyum alaşım kullanılmıştır.
- Takviye elemanı olarak grafit, SiC, Al_2O_3 , B_4C parçacık, bunlar arasında en çok SiC parçacık takviye kullanılmıştır.
- Metal anayapılı kompozitlerin talaşlı imalatla işlenebilirlik çalışmalarının büyük çoğunluğu tornalama üzerine yapılmıştır.

- İşlenebilirlik çalışmalarında takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, yığma kenar ve talaş oluşumu incelenmiştir. Bu ölçütlerden en fazla takım aşınması, sonra da kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde çalışılmıştır.
- Metal anayapılı kompozit malzeme üretiminde genellikle basınçlı döküm yöntemi kullanılmıştır.
- Kesici takım olarak genellikle WC, TiN kaplamalı WC, KYBN ve ÇKE kullanılmıştır. Bunlar arasında en iyi başarımı KYBN ve ÇKE takım göstermiştir.
- Yapılan çalışmalarda genellikle kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin; takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiş ve en iyi işleme şartları belirlenmiştir.
- Al_2O_3 takviyeli metal anayapılı kompozitlerin frezede işlenmesinde WC uçların ÇKE takıma yakın değerler verdiği görülmüştür.
- Kesme kuvvetlerinin incelendiği çalışmalarda genellikle 3 bileşenli piezoelektrik esaslı Kistler dinamometre kullanılmıştır.
- Yapılan çalışmaların sonuçlarından, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne ilerleme hızı, talaş derinliği ve takviye oranının etki ettiği, kesme hızının ise kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne çok fazla etkisi olmadığı ancak takım aşınmasında en önemli değişken olduğu görülmüştür.
- Al_2O_3 takviyeli metal anayapılı kompozitlerin frezede işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmaların çok az olduğu görülmüştür.

3. KOMPOZİT MALZEMELER, FREZELEME VE İŞLENEBİLİRLİK

3.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme; iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar. Kompozit malzemeler yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite sabiti/yoğunluk oranları elde edilmesini sağlamaktadır [75]. Kompozit malzemeler terimi yeni olmamakla beraber, ilk uygulamalar antik Çin, İsrail ve Mısır'da görülmüştür. Tuğlalar içerisine saman yerleştirmek suretiyle yapıların daha mukavemetli olmalarını sağlamışlardır. [76].

Bir kompozit malzeme, takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen anayapıdan oluşmaktadır. Anayapının işlevi, takviye elemanına yük aktarılmasını sağlamak, takviye elemanı ve anayapıyı bir arada tutmak ve takviye elemanlarını dış etkilere karşı korumaktır. Takviye elemanın işlevi ise gelen yükü taşımak ve anayapının katılığını ve dayanımını arttırmaktır. Kompozit malzemelerin üstün ve zayıf yanları şöyle sıralanabilir [75].

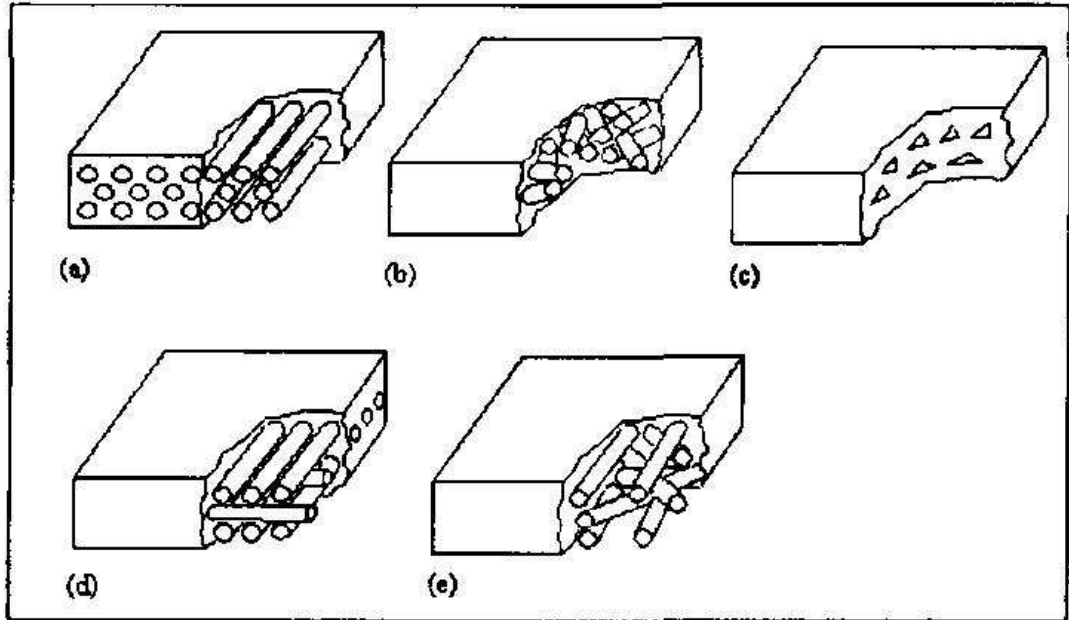
Üstün yanları,

- 1- Yüksek dayanım
- 2- Yüksek katılık
- 3- Yüksek yorulma dayanımı
- 4- Mükemmel aşınma direnci
- 5- Yüksek sıcaklık kapasitesi
- 6- İyi korozyon direnci
- 7- İyi ısı iletkenliği
- 8- Düşük ağırlık
- 9- Çekicilik ve estetik görünüm

Zayıf yanları,

- 1- Üretim güçlüğü,
- 2- Pahalı olması,
- 3- İşlenmesinin güç olması yanında maliyetinin yüksek oluşu ve gerekli yüzey kalitesinin elde edilmeyişi,
- 4- Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmayışı,
- 5- Kırılma uzamasının az oluşu gibi etmenler sayılabilir [75].

Kompozit malzemelerin üstünlükleri dayanım/yoğunluk oranı düşünüldüğünde ortaya çıkmaktadır. Kompozit malzemelerin daha yüksek özgül dayanıma sahip olması makine elemanlarının ağırlıklarının azaltılması demektir. Bu durum, bütün hareket eden parçalarda, özellikle taşıma araçlarında çok önemli bir etmendir. Çünkü ağırlıkta azalmalar enerji tasarrufuna ve verimliliğin artmasına yol açmaktadır [75].



Şekil 3.1. Değişik şekilli takviyeli kompozitler (a) Tek yönlü ve sürekli elyaflar (b) Kesikli elyaflar (c) Parçacık Takviyeli (d) Dikey elyaflar (e) Rasgele düzlemsel yönlendirilmiş elyaflar [75]

Üç çeşit kompozit malzeme grubu bulunmaktadır. Bunlar takviye elemanlarına göre şöyle sıralanabilir.

- 1- Elyaf takviyeli kompozitler
- 2- Parçacık takviyeli kompozitler
- 3- Tabakalı kompozitler

Parçacık takviyeli kompozitler iki alt grupta incelenebilir,

- 1- Parçacıklarla dayanımı arttırılmış kompozitler
- 2- Dağınımla dayanımı arttırılmış kompozitler [75].

3.1.1. Parçacıklarla takviye edilmiş kompozit malzemeler

Bu tip kompozitler; tek veya iki boyutlu gözle görülebilen veya görülemeyen parçacıkların anayapı ile oluşturdukları malzemelerdir. En çok kullanılan parçacıklar ise Al_2O_3 ve SiC seramiklerdir [75].

3.1.2. Dağınımla dayanımı arttırılmış kompozit malzemeler

Bu tür kompozitler, mikronaltı çökeltiler veya parçacıkların metal anayapı içinde düzgün dağılmasıyla elde edilir. Bu parçacıkların çapı 0,01 ile 0,1 μm ve uzunluğu 50-200 μm arasında kullanılan parçacıkların hacim oranı %1-15 arasında değişir. Bu küçük parçacıklar metal malzemede dislokasyon hareketini engellediği için dayanımı artırır ve anayapı kuvvetlerini taşır. Bu tip kompozitlere çökelme sertleşmesi uygulanmış alüminyum alaşımı örnek gösterilebilir [75].

Kompozit malzemeler anayapı malzemesine göre; plastik, metal ve seramik anayapılı kompozitler olmak üzere üç gruba ayrılır [75].

3.1.3. Metal anayapılı kompozitler

Metal anayapılı kompozitler yüksek sıcaklık özellikleri çok iyi olduğu için havacılık ve otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır [75].

Çizelge 3.1. Bazı metal anayapılı kompozitlerin potansiyel uygulama alanları [75]

Kompozit Türü	Uygulama Alanı	Bazı Ayırt Edici Özellikleri
Alüminyum-Grafit	Yataklar	Daha ucuz, daha hafif, kendi kendine yağlama, Cu, Pb, Sn, Zn tasarrufu
Alüminyum-Grafit Alüminyum- α -Al ₂ O ₃ Alüminyum-SiC/Al ₂ O ₃	Otomobil pistonları, silindir gömlekleri, biyel kolları	Aşınma direnci, soğuk çalıştırma, daha hafif, yakıt tasarrufu,
Bakır-Grafit	Kaymalı elektriksel kontaklar	Mükemmel iletkenlik, yapışmama özelliği
Alüminyum-SiC	Turboşarj pervaneleri	Yüksek sıcaklık kullanımı
Alüminyum-Cam veya Karbon	Turboşarj pervaneleri	Çok hafif malzemeler
Magnezyum-Karbon elyaf	Uzay yapıları için boru şeklinde kompozitler	Sıfır ısı genleşme, yüksek sıcaklık mukavemeti, iyi özgül mukavemet ve katsayı
Alüminyum-Zirkon, Alüminyum-SiC, Alüminyum-Silika	Kesici takımlar, Makine örtüleri, Pervaneler	Sert, yıpranma aşınma dirençli malzemeler
Alüminyum-Kömür Alüminyum-Kil	Düşük maliyetli ve düşük enerjili malzemeler	Sert, aşınma dirençli malzemeler

Parçacık takviyeli metal anayapılı kompozitlerde aşınma ve sürtünme özelliklerinde önemli gelişmeler sağlanmaktadır. SiC, Al₂O₃, WC, TiC, zirkonya, silika, bor karbür gibi sert parçacıklar alüminyum alaşımlarının yıpranma aşınma direncini önemli derecede geliştirirken, grafit ve mika gibi yumuşak katı yağlayıcı parçacıklar alüminyum alaşımlarının yapışma direncini geliştirmektedirler. MAK'ler, diğer mühendislik malzemelerine göre daha yüksek mekanik sönümleme özellikleri nedeniyle uzay mekiği yapımı içinde çekici görünmektedir [75].

3.1.4. Metal anayapılı kompozitlerin üretim yöntemleri

Metal anayapılı kompozitlerin çok çeşitli üretim yöntemleri mevcuttur. Bunlar,

1. Sıvı metal emdirilmesi
2. Sıkıştırılmalı veya sıvı dövme döküm tekniği
3. Basınçlı emdirme
4. Sıvı metal karıştırması
5. Hızlı katılaşma yöntemi
6. Yarı katı katılaşma
7. Plazma püskürtme
8. Yayınım bağlama ve vakumda presleme
9. Sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme
10. Toz metalürjisi tekniği [75]

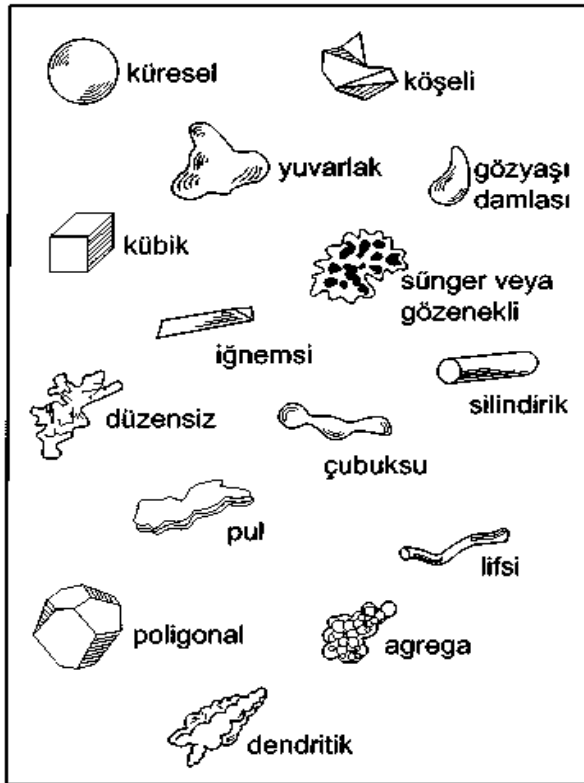
Toz metalürjisi tekniği

Toz metalürjisi (TM) ve parçacıklı malzeme işlemleri, dökümde olduğu gibi net şekilli parça üretimine imkan tanır. Fakat toz teknikleri, sadece düşük sıcaklıkta ergiyen metallere uygulanan dökümden farklı olarak hemen hemen her malzemeye uygulanabilir. Bundan dolayı toz metalürjisi yoluyla üretilen ürünlerin pek çoğu; mesela kompozitler, yüksek sıcaklık seramikleri, bazı polimerler, bakırlı çelikler, refrakter metaller, geniş bir dağılım gösteren ara metalikler, sermetler ve karışık fazlı bileşimler, döküm yoluyla üretilemezler. Toz teknolojileri, tekrar tekrar aynı ürünü kopyalamaya izin veren kalıp boşlukları sayesinde çok sayıda üretim yapılmasına imkan sağlar. Serbest şekilli üretimlerde ise bu teknoloji tek bir ürünün elde edilmesine imkan tanır. Maliyet daima önemli etmenlerden biridir. Bundan dolayı karmaşık şekilleri son boyuta getirebilmek ve şekil verebilme özelliği önemli ölçüde ekonomik yarar sağlar. Toz metalürjisi işlemleri toz metaller, seramikler, parçacık takviyeli kompozitler ve hatta plastik kalıplama ve metal dövme gibi birçok tekniğin birleşmesinden oluşur. Geniş uygulama bulan seçeneklerden bir tanesi, kompozit oluşturmak amacı ile birbiri içerisinde çözünmeyen tozları çeşitli oranlarda

karıştırmaktır. Fazların boyut, şekil ve miktarları bakımından iç yapıyı kontrol ederek, bu malzemelerde özelliklerin isteklere göre sağlanması başılır [77].

Toz özelliklerinin belirlenmesi

Parçacık, tozun bölünemeyen en küçük birimi olarak tanımlanır. Parçacık boyutu toz metalürjisinin en önemli özelliklerinden birisidir. Parçacık boyutu ölçümü, bir parçacığın boyutlarının belirlenmesidir. Küresel bir parçacık boyutu tek bir parametre olup, çap olarak verilir. Ancak, parçacık şekli daha karmaşık olduğunda, boyutu tek bir parametre ile belirlemek zordur. Yassı veya pul şeklinde bir parçacık göz önüne alındığında boyutu tanımlamak için çap ve genişliğin her ikisi de gereklidir. Şekil daha düzensiz olduğunda, olası boyut parametrelerinin sayısı artar. Taramalı elektron mikroskop kullanımı, varsayılan şeklin gerçek toz özelliklerine ne kadar yakın olduğu hakkında bilgi verir [77].



Şekil 3.2. Olası toz şekillerinin gösterimi [77]

Parçacık boyut ölçümü

Parçacık boyut ölçümü, bir parçacığın boyutlarının belirlenmesidir. Ancak bu belirleme ölçüm tekniğine, ölçülen özgül değişkene ve parçacık şekline bağlıdır. Parçacık boyut ölçümü çeşitli tekniklerle gerçekleştirilebilir. Ancak, ölçülen değişkenlerdeki farklılıklar nedeniyle, çeşitli parçacık boyut ölçüm tekniklerinin genellikle aynı sonucu vermediği bilinmelidir. Parçacık boyut ölçümü teknikleri aşağıda sıralanmıştır,

- 1- Mikroskop ile inceleme
- 2- Eleme
- 3- Çökeltme
- 4- Işık saçınımı ve kırınımı
- 5- Elektriksel alan algılaması
- 6- Işık engelleme
- 7- X ışını tekniği [77].

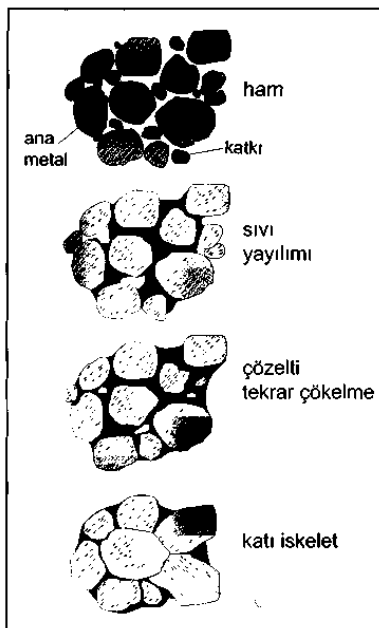
Sinterleme

Sinterleme, parçacıkların birbirine bağlanmasını sağlayarak önemli ölçüde dayanım artışına ve özelliklerinin iyileştirilmesine sebep olan pişirme işlemidir. Sinterleme aynı zamanda, ham parçayı yüksek başarımlı parçaya dönüştürdüğünden, TM'nin en önemli tekniğidir. Sinterlenen parçanın istenilen özelliklere sahip olmasının gerekliliğinin yanında, parçanın istenilen boyutlarda olması da bir zorunluluktur. Katı hal sinterleme teorik açıdan en iyi anlaşılmasına rağmen, sinterlenmiş ürünlerin %70'i sıvı fazlı sinterleme ile üretilmektedir. Bunun nedeni kompozit özelliklerinin ve hızlı sinterlemenin her ikisinin birlikte yansımalarıdır. Sinterleme işlemi, ham toz parçayı istenilen kalite, şekil ve boyuta sahip bir ürüne dönüştürür. Sinterleme döngüsü tamamlanırken, göz önüne alınması gereken ilk konu, sinter bağının istenilen seviyeye getirilmesidir [77].

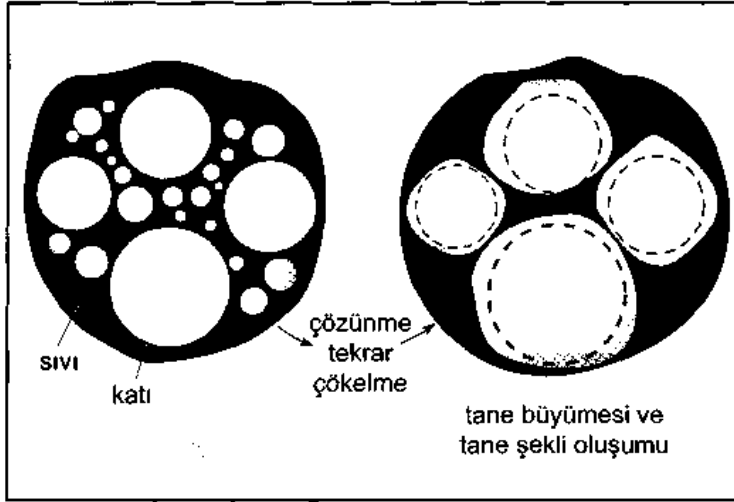
Sıvı faz sinterleme

Sinterleme sırasında sıvı faz oluşumu sinterleme hızını büyük ölçüde artırır. Esas olarak sıvı faz, taneleri birbirine bağlayan ve içinde hızlı yayılımın olduğu bağı oluşturur. Sıvı faz sinterleme için temel gereksinim ıslatmadır. Islatılan bir sıvı tabakası yoğunlaşmaya yardımcı olan ve kılcal kuvvet olarak tanımlanan yüzey gerilmesi sağlar. Genellikle, ıslatma katının sıvı içerisinde çözündüğü durumlarda gerçekleşir. Bunlara ilave olarak bu çözünürlük katının sıvı içerisinde yayınabilmesini sağlar. Bu şartlardaki yayılım hızları olası katı hal yayılımından çok daha fazladır [77].

Sıvı faz sinterlemedeki yoğunlaşma aşamaları Şekil 3.3’de temsili olarak gösterilmiştir. Başlangıçta, ısıtma sırasında taneler katı hal sinterlemesi ile birbirine bağlanır. İlk sıvı oluşturulduğunda, tanelerin yeniden düzenlenmesi ile hızlı bir yoğunluk artışı olur. Oluşan sıvı, katıyı ıslatarak katı bağlarını çözer ve yeniden düzenlenmeyi sağlar. Bundan sonra, çözelti tekrar çökelme olarak bilinen işlemde, sıvı katı atomların taşıyıcısı olur. Bu aşamada daha küçük tane kütleleri sıvı içerisinde çözünür, sıvı içinden yayınır ve daha sonra büyük tanelerin üzerine çökerir [77].



Şekil 3.3. İki toz karışımı kullanılarak yapılan sıvı faz sinterlemenin aşamaları [77]



Şekil 3.4. Çözelti-tekrar çökelme işlemi [77]

Katı tane çözünürlüğü tane boyutu ile ters orantılıdır. Dolayısı ile öncelikle küçük taneler sıvı faz içerisinde çözünür. Zamanla tane sayısı azalır ve tane boyutu artar. Çözelti-tekrar çökelme işlemi ve tane şekli yerleşimi Şekil 3.4' de gösterilmiştir.

Sıvı oluştuğunda, kılcal kuvvetler taneleri yeniden düzenler, daha sonra tane şekli yerleşimi ve yoğunluğun daha artmasına yol açan çözelti-tekrar-çökelme oluşur. Sonunda, temas eden taneler arasında kararlı boyunlar oluşur ve son yoğunlaşma katı iskeletin sinterlenmesine bağlıdır. Sıvı faz sinterlemesi elektronik seramikler, ferritler, yüksek sıcaklık seramikleri, elektrik malzemeleri, sinterlenmiş karbürler, bronz yataklar, süper alaşımlar, otomotiv yapı parçaları gibi bir çok uygulamada kullanılmaktadır [77].

Sıvı faz sinterlemenin en önemli avantajı sinterlemeyi hızlandırmasıdır. Sıvı fazda yayılım hızlı olur ve ısıtılan sıvının oluşturduğu kılcal çekme kuvveti hızlı yoğunluk artışı sağlar. Sıvı faz parçacıklar arası sürtünmeyi azaltarak yeniden düzenlenmeyi hızlandırır. Katı parçacıkların sivri uçları sıvı tarafından çözündürüldüğü için parçacıkların daha iyi yerleşmesini sağlar. Tane büyüklüğünün kontrolü mümkündür. Sıvı faz sinterlemesine uygun birçok sistemde ergime noktası yüksek olan faz aynı zamanda sert fazdır. Sert ve gevrek fazın yüksek oranda olmasına rağmen iki fazlı sünek kompozit üretilebilir [75].

3.1.5. Alüminyum oksit (Al_2O_3)

Alüminyum oksit (alümina), doğada korondum minerali şeklinde bulunur. Saf ve hidratlı alüminanın temel kaynağı ise boksit olup, Bayer süreciyle elde edilir. Tam yoğunluğu $3,98 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Alümina çeşitli biçimlerde bulunur ve yapılarına bağlı olarak iki tip mevcuttur. Bunlardan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ en yoğun ve kararlı olandır. Alüminanın α formu 2040°C ' de erir. Alümina elyaflar; metal anayapılı kompozit malzemeler için kullanılır. Du Pont tarafından üretilen ve ticari ismi FP olan α -alümina elyaflar ortalama $20 \mu\text{m}$ çapında sürekli olarak elde edilir. Yoğunluğu 3300 kg/m^3 ve elastik sabiti 380 GPa 'dır. Diğer türü olan "Safimax" veya "Saffil" olarak bilinir ve ticari ismi Imperyal Kimya Endüstrisi (ICI)'dir. Çok kristalli yapıya sahip olup temel faz ise δ -alüminadır ve RF ile temsil edilir. Bu elyaflar kesilmiş, kırılmış formda üretilir. Tipik boy/çap oranı 100-200 arasındadır. Bu elyaflar %95 alümina ile birlikte %5 silisyumdan oluşan çok kristalli bir malzeme olup ortalama tane boyutu $0,05 \mu\text{m}$ mikro kristalli formundadır [75].

3.1.6. Alüminyum anayapı

Alüminyum ve alaşımları, gerek saf gerekse alaşım olarak en sık ve yaygın olarak kullanılan malzeme grubunu teşkil etmektedir. Bunların etkin kullanılma sebebi;

- 1- Dayanım/özgül ağırlık oranının yüksek olması
- 2- Elektrik iletkenliği/özgül ağırlığının yüksek olması
- 3- Atmosfere ve diğer ortamlara karşı yüksek korozyon direncine sahip bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Bunlara ilaveten şekillendirme ve ince levha haline getirilmesi diğer bir özelliğidir. Ancak saf Al'nin oksijene olan yüksek ilgisinden dolayı döküm kabiliyetinin kötü oluşu, daha düşük mekanik özellikler göstermesi, talaşlı imalatla işlenebilirliğinin iyi olmaması ve kaynakla birleştirilmenin güçlüğü gibi sorunlar oluşturmaktadır [75].

Çizelge 3.2. Saf alüminyumun fiziksel özellikleri [75]

Özgül Ağırlığı (g/cm ³)	2,78
Ergime Sıcaklığı (°C)	660
Ergime Isısı (kJ/kg)	390
Elastiklik Katsayısı (GPa)	66
Isıl Genleşme Katsayısı (1/K)	24x10 ⁶
Isı İletim Katsayısı (W/m°K)	230
Elektrik İletim Katsayısı (m/Ωmm ²)	40

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemlerine göre işlem alaşımları ve döküm alaşımları olarak iki ana gruba ayrılırlar. Bu iki grup içinde sertleşebilen ve sertleşemeyen alaşım olarak da gruplandırılabilir. Al anayapılı malzemelerde başlıca alaşım elementleri; Mg, Mn, Si, Cu ve Zn olup, bunlar tek tek veya bir kaçı birlikte belirli özellikleri sağlamak için ilave edilmektedir. Bunlardan Al-Mg ve Al-Mn alaşımları serleşmeyen alaşım oluştururken; Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si ve Al-Zn-Mg alaşımları çökeltme ile sertleşebilen alaşım meydana getirirler. Ayrıca, Al alaşımları sayı sistemine göre 4 rakam ile gösterilmekte olup bunlardan ilk sayı temel alaşım elementlerini ve diğer sayı ise alaşımın belirli bir bileşimini gösterir [75].

Çizelge 3.3. Alüminyum alaşımlarının gösterimi [75]

Alaşım türü	Bileşimi	Isıl işlem durumu
1xxx	Saf Al (%99)	Yaşlanmaz
2xxx	Al-Cu	Yaşlanır
3xxx	Al-Mg	Yaşlanmaz
4xxx	Al-Si-Cu ve Al-Mg-Si	Mg eklenirse yaşlanır
5xxx	Al-Mg	Yaşlanmaz
6xxx	Al-Mg-Si	Yaşlanır
7xxx	Al-Mg-Zn	Yaşlanır
Döküm alaşımları		
1xx.x	Arı Al	Yaşlanmaz
2xx.x	Al-Cu	Yaşlanır

Çizelge 3.3. (Devam) Alüminyum alaşımlarının gösterimi [75]

Alaşım türü	Bileşimi	Isıl işlem durumu
3xx.x	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Bazıları yaşlanır
4xx.x	Al-Si	Yaşlanmaz
5xx.x	Al-Mg	Yaşlanmaz
6xx.x	Al-Mg	Yaşlanmaz
7xx.x	Al-Mg-Zn	Yaşlanır
8xx.x	Al-Sn-Li	Yaşlanır

Bu alaşımlara uygulanan ısıtıl işlem derecesi ise imal edildiği, işlendiği, yumuşak tavlendiği, soğuk biçimlendirme sertleşmesi ve kısmi tavlınmasına bağlı olarak aşağıda belirtilen harflerle gösterilir. Hafif metal alaşımlarında uygulanan ısıtıl işlemler de şöyle gösterilebilir.

F - Döküldüğü şekilde

M - İmal edildiği şekilde

O - Yumuşak tavlınmış

H - Soğuk biçimlendirme ile sertleştirilmiş

T1 - Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra soğutulmuş ve tabi yaşlandırılmış

T4 - Katı çözülme işlemi uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış, yani; eriyiğe sıkça ısıtıl işlem uygulanmış

T6 - Katı çözülme ısıtıl işlemi ve katı çözülme işlemi uygulanmış veya eriyiğe ısıtıl işlem uygulanmış tabi yaşlanmış

T10 - Yüksek sıcaklıkta biçimlendirme sonrası, soğutulmuş, soğuk biçimlendirilmiş ve suni yaşlandırılmış [75]

Hadde alaşımları 1xxx, 3xxx, 5xxx ve çoğu 4xxx alaşımları yaşlandırma ısıtıl işlemi uygulanarak sertleştirilemez. Uzay uygulamalarında 2xxx serisi Al alaşımından ziyade 7xxx serisi alaşımları daha iyi dayanım ve tokluk özellikleri göstermektedir. Bununla beraber 2xxx serisi Al alaşımı kompozitlerde yaygın olarak kullanılır. 7xxx Al alaşımı serisi, takviye elemanı ve anayapı arasında ara yüzeyi iyileştirdiği için

tercih edilmektedir. 2xxx, 6xxx ve 7xxx Al alaşımları kompozit yapımında yaygın olup son zamanlarda ise 8xxx Al-Li alaşımları ise iyi ıslanabilirliği nedeniyle dikkat çekmektedir [75].

Alüminyum alaşımlarının ısıt işlemleri

Alüminyum alaşımlarının ısıt işlem yani çökelme sertleşmesi bir alaşım sistemi olup, yüksek sıcaklıkta homojen katı çözeltisini ani soğutmayı ve sonradan düşük bir sıcaklıkta yaşlandırma işlemini kapsamaktadır [76]. Alüminyum alaşımlarının çökelme sertleşmesi mekanizması 3 aşamada gerçekleştirilmektedir.

1. Çözümleme ısıt işlemi
2. Hızlı soğutma
3. Yapay veya doğal yaşlandırma

Çözümleme ısıt işlemi

Yaşlandırma sertleşmesi tepkimesinde bir ikinci faz malzemesi aşırı doymuş katı çözeltide çözülür. Çökelme işlemi sırasında, çözülmüş atom kümeleri ilk olarak rasgele oluşan katı çözeltinin kafes noktalarında oluşur. Çökelme işlemi devam ederken, kümeler boyut olarak büyürler. Yeni oluşan çökelti aşırı doymuş katı çözeltiden farklı kimyasal içeriklere sahiptir ve kristal yapıları çökeldikleri malzemeden de bir miktar farklıdır [76].

Bir alaşım içerisindeki çökelti kristal yapıları anayapı ve çökelti parçacıkları arasındaki ara yüzeyin doğasını etkiler. Bu, sıra ile çökelti kristal yapıları etkiler. Ara yüzeyler kristal yapılar açısından, uyumlu, yarı uyumlu ve uyumsuz olarak sınıflandırılırlar. Uyumlu ara yüzey iki bileşen fazın kristal kafeslerinin sınırında tam kayıtlı ve kristal düzlemler arayüzeyde devamlı olarak oluşur (Şekil 3.5) [76].

Kafes parametrelerindeki farklılıklardan dolayı, bölgesel gerinimler genellikle ara yüzey alanında oluşur. Kafes uyumsuzluğu oluştuğunda kristal düzlemlerin tam

Çökelme ile sertleşebilen alüminyum alaşım sistemleri aşağıdaki gibidir,

- CuAl_2 ile sertleşen Al-Cu sistemleri
- CuAl_2 ile sertleşen Al-Cu-Mg sistemleri (Mg çökelme miktarını artırır)
- Mg_2Si ile sertleşen Al-Mg-Si sistemleri
- MgZn_2 ile sertleşen Al-Zn-Mg sistemleri
- MgZn_2 ve CuAl_2 ile sertleşen Al-Mg-Zn-Cu sistemleri [78]

Çökelme sertleşmesi için genel ihtiyaç, yaşlandırma ısı işlemi sırasında düzgün yayılmış çökeltilerin oluşmasıdır. Yaşlandırma Guinier-Preston (GP) bölgelerinin oluşmasını sağlayacak bir sıcaklıkta yapılmalıdır. GP bölgeleri olarak da bilinen Guinier-Preston bölgeleri, yaşlandırmanın erken safhalarında oluşur. GP bölgeleri, çözünence zengin alanlardır. Sertleşme mekanizması öncelikle bu GP bölgelerinin oluşması ile başlar. Daha sonra çözen ve çözünen atomlar arasındaki boyut farkı gerinimlere neden olur. Bu gerinimler haricinde, yeni oluşan atomlar dislokasyonların hareketlerini engelleyerek malzemenin mukavemetini artırır. Bu durum çökeltilerin uyumlu veya uyumsuz olmasına veya kafes noktalarına uzaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu duruma GP bölgelerinin oluştuğu alanların farklılığı neden olur [78].

Sonuç olarak, bu işlem eriyiğe sokma ısı işlemi veya homojenleştirme olarak da anılır. Al alaşımlarında 450-550°C civarında birkaç saatlik ısıtma esnasında çökelme sertleşmesine katkıda bulunan Al_2Cu , Mg_2Si ve MgZn_2 gibi bileşikler katı çözelti içerisinde çözülür [75].

Hızlı soğutma

Homojen katı çözelti alanından yapılan soğutma, alaşım elementlerinin aşırı doymuş çözeltilde kalabileceği şekilde hızlı yapılır. Bu durumda yapı aşırı doymuş homojen katı çözelti şeklinde bulunur ve alaşımlar henüz yumuşak olup iyi şekil alabilirler.

Hızlı soğuma sonrasında Al_2Cu , Mg_2Si ve $MgZn_2$ gibi ara metalik fazlar meydana gelir [75].

Yapay veya doğal yaşlandırma

Oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta yapılır. Oda sıcaklığında yapılan doğal yaşlandırmada tek fazlı yarı kararlı faz oluşturur. Çökelti anayapı içerisinde küçük boyuttaki atom yığılması olarak görüşürler ve uyumludurlar. Daha yüksek sıcaklıkta yapılan yapay yaşlandırmalarda Al alaşımları yaklaşık 100-200°C sıcaklık aralığında birkaç saat tutularak, anayapı ile yarı uyumlu sınır yüzeyine sahip yarı kararlı faz olarak büyük atom yığılması meydana getirilir.

Soğuk ya da sertleştirilmiş halde anayapı içerisinde çok ince dağılmış yarı kararlı faz parçacıkları plastik şekil vermede dislokasyonların hareketini zorlaştırır. Bu da sertlik ve dayanım artmasını sağlar. Daha yüksek sıcaklıklarda ya da sıcak sertleştirmede süre çok uzun tutulursa parçacıklarda aşırı kabalaşma olur. Sertlikle birlikte dayanım değeri tekrar düşmeye başlar [75].

Tavlama

En yumuşak, en sünek ve en kolay işlenebilir alüminyum malzeme tavlama uygulanarak elde edilebilir. Bu işlem ile gerinim sertleştirilmiş ürünlerin taneleri yeniden kristalleşir ve sertliği azalır. Tavlama uygulanmış malzemede bulunan çökelti zaman içerisinde doğal yaşlanmaya neden olmaz dolayısı ile sertleşmeyi engeller. Tavlama işleminde malzeme yüksek bir sıcaklığa çıkartılır, bu sıcaklıkta belli bir süre tutulduktan sonra yavaşça soğumaya bırakılır. Bu sıcaklık değeri alaşımın cinsine bağlı olarak 260-440°C arasında değişir. Ancak, oksitlenme ve tane büyümesi ihtimalinden dolayı en büyük tavlama sıcaklığı 415°C'yi geçmemelidir [78].

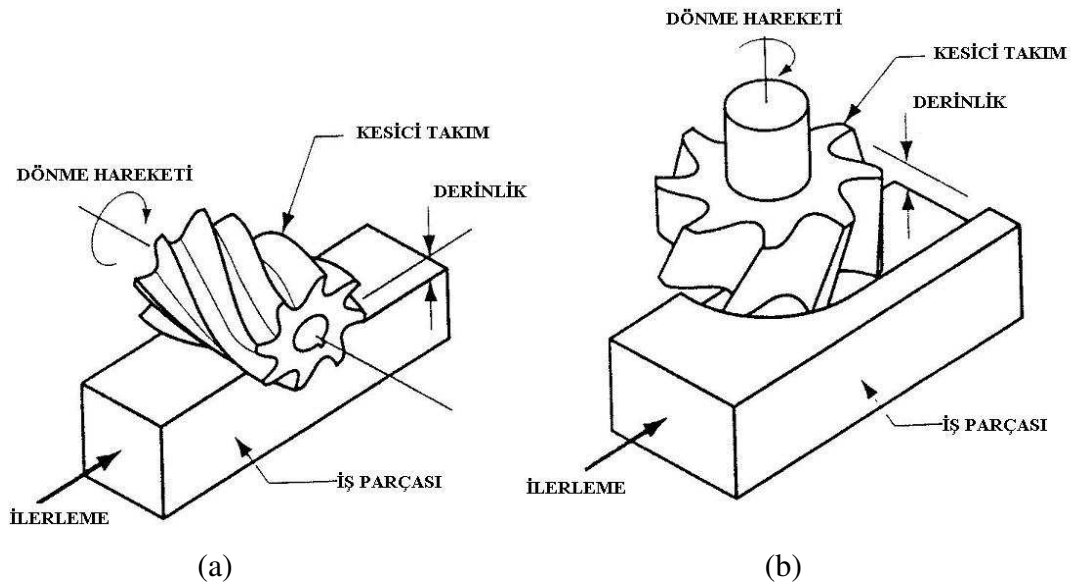
3.2. Frezeleme

Frezeleme, ilke olarak dönen bir kesici takım ile iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Frezede kesici takımın birçok kesici kenarı vardır ve her kenar belirli bir miktar talaş kaldırma kapasitesine sahiptir. Frezelemenin avantajları yüksek işleme verimliliği, iyi yüzey kalitesi, şeklin oluşturulmasındaki esnekliktir. Frezeleme genellikle düzlem yüzeylerin, dik köşelerin ve kanalların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir [79].

3.2.1. Frezeleme ile ilgili temel tanımlar

Alın Frezeleme: Genellikle takımın çevresinde ve bazı durumlarda alın yüzeyinde bulunan kesici kenarlarla gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Bu işlemden freze iş parçasının radyal ilerleme yönüne dik açı yapacak şekilde döner [79].

Çevresel Frezeleme: Takımın çevresindeki kesici kenarlarca gerçekleştirilir. Freze teğetsel ilerlemeye paralel bir eksen etrafında döner [79].



Şekil 3.6. (a) Çevresel frezeleme (b) Alın frezeleme [80]

Ana mil hızı (n – dev/dak): *Ana mile bağlı frezenin dakikada yaptığı devir sayısıdır. [79].*

Kesme hızı (V_c - m/dak): *Kesici kenarın iş parçasından talaş kaldırılması esnasındaki hızını ifade eder [79].*

Dakikadaki ilerleme veya ilerleme hızı (v_f - mm/dak): *Takımın iş parçasına doğru birim zamandaki ilerlemesidir. Bu aynı zamanda tabla ilerlemesi ve tezgah ilerlemesi olarak da adlandırılır [79].*

Devir başına ilerleme (f – mm/dak): *Özellikle ilerleme değerinin hesabında ve bir alın frezenin son işlem kapasitesinin belirlenmesi aşamasında kullanılır. Bu değer takımın bir devirdeki hareket miktarına eşit olan yardımcı değerdir [79].*

Kesici uç başına ilerleme (f_z – mm/diş): *Kesici uç başına ilerleme bir kesici kenarın parçaya girişi ile bir sonraki kesici kenarın parçaya girişi arasında geçen sürede tablanın ilerlediği mesafe olarak tanımlanır [79].*

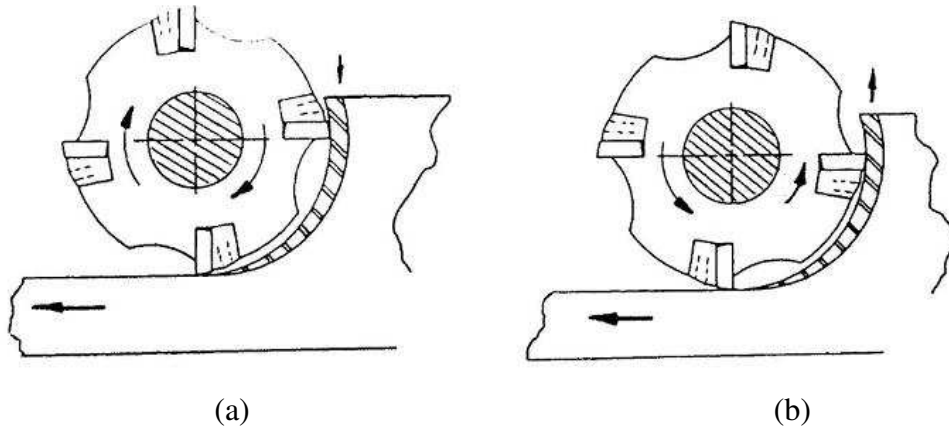
Eksenel talaş derinliği (a_p): *Takımın iş parçasından alın frezelemede eksenel, çevresel frezelemede radyal yönde (a_e) kaldırdığı talaştır [79].*

Kesme genişliği veya radyal talaş derinliği (a_e): *Takımın alın frezelemede radyal, çevresel frezelemede eksenel yönde (a_p) kapladığı iş parçası yüzey uzunluğudur [79].*

Birim zamanda kaldırılan talaş hacmi (V): *Bu değer talaş derinliği, talaş genişliği ve takımın birim zamanda aldığı mesafenin çarpımına eşittir. Talaş debisinin birimi $mm^3/dakikadır$ [79].*

Aynı yönlü frezeleme: *Frezeleme esnasında iş parçasının ilerleme yönü takımın dönüş yönü ile aynıdır. Çevresel frezeleme işleminde talaş kalınlığı, başlangıçtaki en yüksek değerden kesme işleminin sonunda sıfır olacak şekilde azalır [79].*

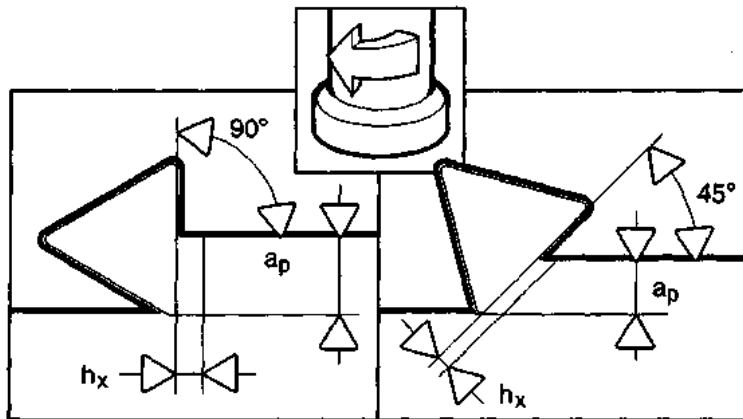
Karşıt yönlü frezeleme: *Bu yöntem klasik frezeleme de denir. Esasında iş parçasının ilerleme yönü takımın dönüş yönüne terstir. Talaş kalınlığı sıfırdan başlar ve kesme işleminin sonuna kadar artar* [79].



Şekil 3.7. (a) Aynı yönlü frezeleme (b) Karşıt yönlü frezeleme [81]

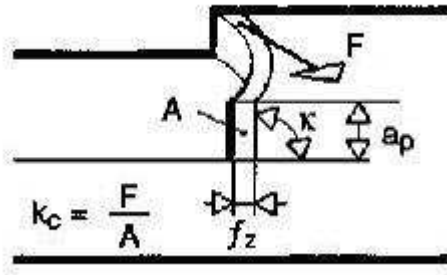
En büyük veya bozulmamış talaş kalınlığı (h_x): *Birbirini izleyen takım yolları arasındaki mesafedir. Bir başka deyişle kesici kenarın temasta olduğu malzemenin radyal yöndeki maksimum kalınlığıdır ve kenar üzerindeki en yüksek yükün değerlendirilmesi aşamasında belirli bir öneme sahiptir* [79].

Yanaşma açısı (κ): *Ana kesici kenarca oluşturulmuş yüzey ile düzlem arasında ölçülen temel büyüklüktür* [79].



Şekil 3.8. Yanaşma açısı ve talaş kalınlığı [79]

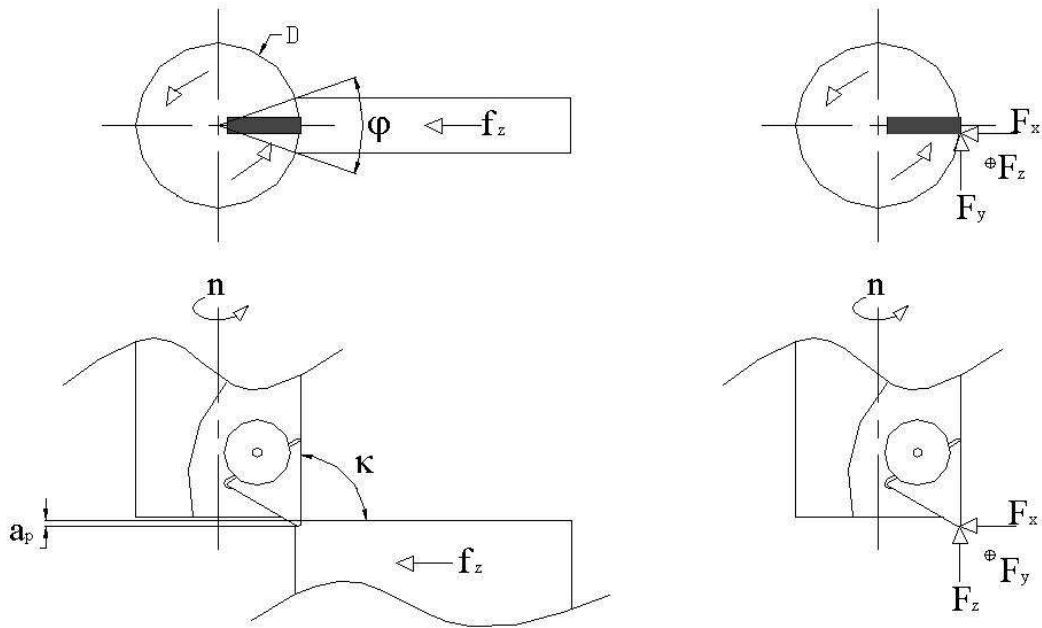
Özgöl kesme kuvveti (k_c): Özgöl kesme kuvveti 1 mm^2 'lik bir kesite sahip talaşı kaldırmak için gerekli olan kuvvettir. Bu kuvvet gerekli kesme kuvvetinin (F) deforme olmamış talaş alanına (A) bölünmesiyle elde edilir [79].



Şekil 3.9. Özgöl kesme kuvvetini oluşturan değişkenler [79]

Alın frezelemede kesme kuvvetleri

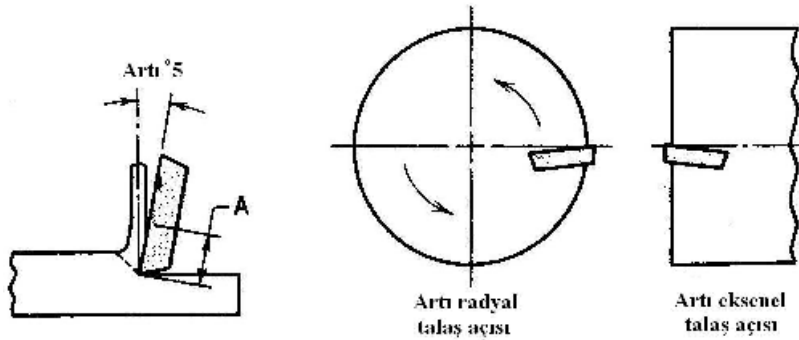
Kesme kuvvetinin üç bileşeni vardır. İlerleme kesme kuvveti (F_x), radyal kuvvet (F_y) ve eksenel kuvvet (F_z). İlerleme kesme kuvveti (F_x) frezenin dönüş yönünde etki eder ve güç üzerinde en önemli etkiye sahiptir. Radyal (F_y) ve eksenel (F_z) kuvvetler iş parçası ilerleme gücü ve iş parçası tespit sistemi üzerinde etkide bulunurlar [79].



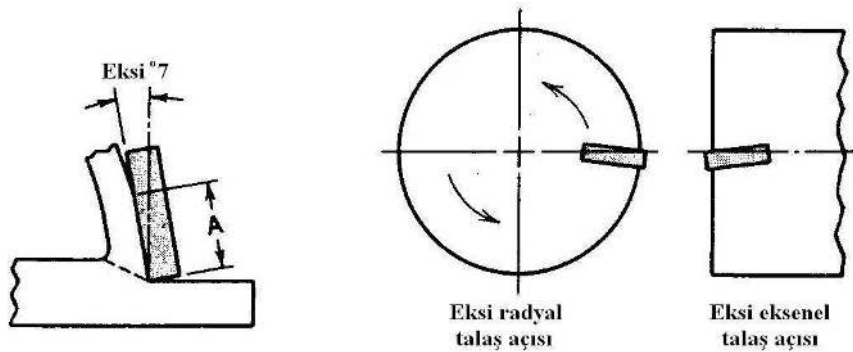
Şekil 3.10. Alın freze için kesme kuvveti bileşenleri

İlerleme kesme kuvvetinin (F_x) büyüklüğü ve yönü, kesmeye katılan her bir kesici uca ait teğetsel kuvvetlerce oluşturulur. Bu tekil kuvvetler frezenin dönmesi nedeniyle çeşitli yönlerden etki ederler. İşlemin tipi ve özellikle talaş derinliği kuvvetin büyüklüğünü ve yönünü etkiler. [79].

Şekil 3.11.'de alın freze ekseninin iş parçasının dışında olduğu durumda freze kesmeye başladığında ilk darbeye maruz kalacak kısım kesici kenarın en dış ve en zayıf noktasıdır. Bu durumda yanaşma açısı artıdır. Eğer freze eksenini iş parçasının içinde ise (Şekil 3.12) ilk temas kesici kenarın çok daha iyi desteklenen kısmına gerçekleşecektir. Yanaşma açısı eksidir ve kesme işlemi daha elverişli koşullarda başlar. Ancak kesici kenarın parçayı freze eksenine çok yakın terk etmesi durumunda takım ömrü azalacağı göz önünde bulundurulmalıdır [90].



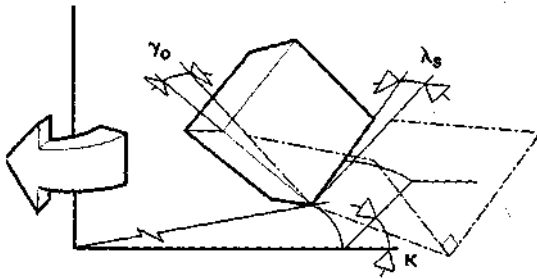
Şekil 3.11. Artı talaş açısı [82]



Şekil 3.12. Eksi talaş açısı [82]

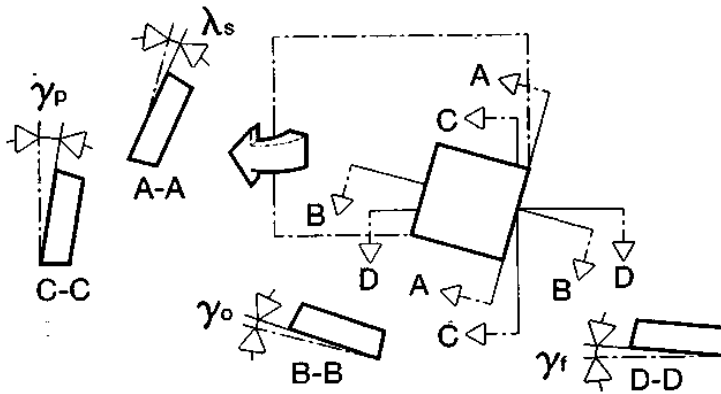
Kesici kenarın konumu

Bir alın frezenin kesme geometrisi üç boyutlu düzlemde, frezeye tespit edilmiş kesici ucun konumunu belirleyen bir çok açıyı tanımlar. Yanaşma açısı κ ana kesici kenarın işlediği düzlem ile frezenin işlediği düzlem arasında kalan açı olarak tanımlanır. Bir alın frezeleme işleminde kesici ucun konumunu belirleyen yanaşma açısı κ haricinde 4 ilave açı vardır [79].



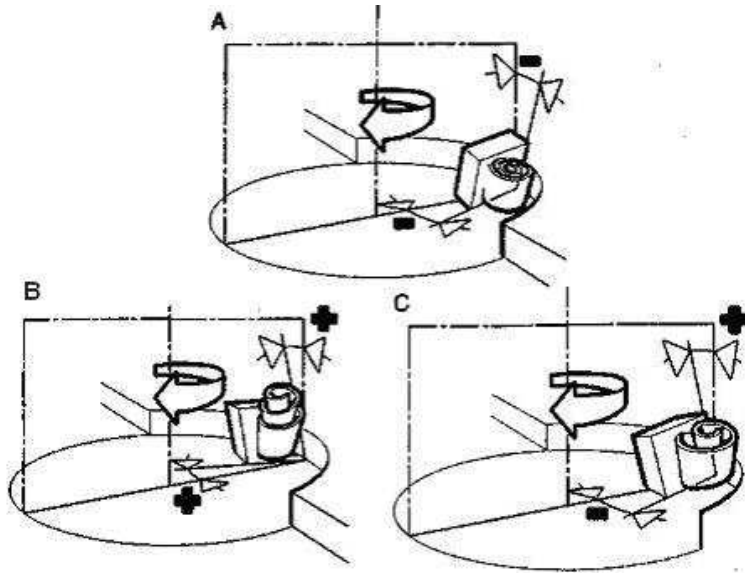
Şekil 3.13. Kesici ucu tanımlayan işlevsel açılar [79]

Bu açılardan ikisi işlevsel açılardır. Bunlar kesici ucun eğimi (λ_s) ve etkin talaş açısı (γ_o). Yanaşma açısı gibi bu açılar da talaş akışı ve talaş kaldırmak için gerekli güç üzerinde etkiye bulunurlar. Yanaşma açısı ile beraber eğim açısı, ana kenarın iş parçasına ne şekilde yaklaşacağını ve talaşların yukarı ve iş parçasından uzağa nasıl yönlendirileceğini belirlerler. Eğim açısı ana kesici kenara paralel düzlemde ölçülür. Artı olması durumunda kesici kenar parçaya girerken daha az darbeye maruz kalır [79].



Şekil 3.14. Kesici ucun konumunu belirleyen açılar [79]

Alın frezeleme işlemi için geometri açısından üç temel tasarım vardır; çift eksi, çift artı ve artı/eksi. Çift eksi geometride (Şekil 3.15 (A)), radyal ve eksenel açıların her ikisi de eksidir. Eksi kesici uçlar boşluk açısının kesici ucun hafifçe eğilmesi suretiyle oluşturdukları yerlerde kullanılırlar. Bu kesici uçlar her iki taraflarının da kullanılması nedeniyle ekonomik açılarıdır. Bu geometriye sahip frezeler ağır darbeli işlemler, sert çelik ve dökme demir gibi malzemeler ve eksenel yataklamaları zayıf tezgahlar için uygundur. Bu geometri oluşan büyük kesme kuvvetleri nedeniyle büyük güç ve rijitliğe gereksinim gösterir. Çift artı geometride (B); radyal ve eksenel açıların her ikisi de artıdır. Bu geometriye sahip kesici uç tek taraflıdır. Bu geometri için artı kesici uçlar gereklidir. Çift artı frezeler çift eksi frezelere göre daha rahat bir talaş kaldırma olanağı sağlarlar. Oluşan talaşın kalınlığı ve kesici uçların temas yüzeyi uzunlukları azaltılmıştır. İşlem esnasında daha düşük kesme kuvvetleri oluşur ve çift eksi freze ile karşılaştırıldığında aynı talaş kaldırma işlemi için daha düşük bir güç ve kenar mukavemetine gereksinim duyulur [79].



Şekil 3.15. Alın frezelemede geometri açısından temel tasarımlar [79]

Artı/eksi freze (C) artı eksenel ve eksi radyal açılara sahiptir. Bu frezelerin güç gereksinimleri çift artı frezelere göre daha fazla ve çift eksi frezelere göre ise biraz daha azdır. Eksi radyal talaş açısının yüksek kesici uç mukavemeti, artı eksenel talaş açısının ise talaşları frezeden uzaklaştırılarak iyi bir talaş oluşumu sağlanması

sayesinde bu geometri yüksek kesici uç başına ilerleme ve büyük talaş derinliği değerlerinde kullanılabilir [79].

3.2.2. Kesici takımlar

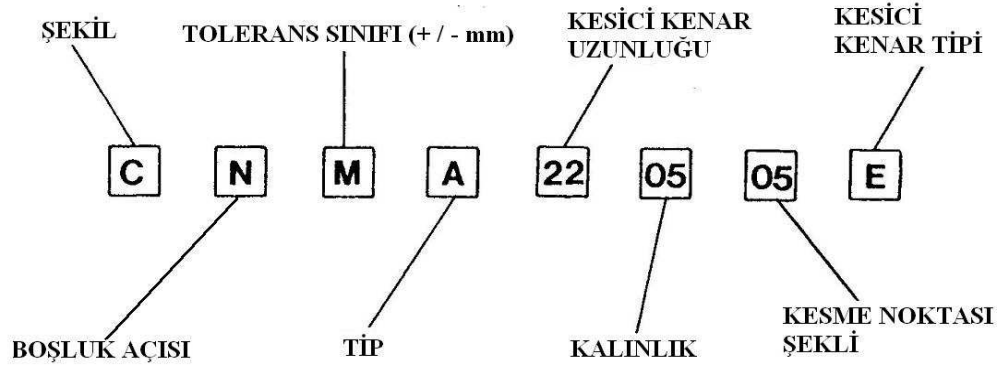
Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımlar; diğer malzemelere şekil verme, şekil değiştirme, kesme, koparma ve istenilen toleransta ölçüye getirme işlemi esnasında değişik zorlanmalara maruz kalırlar. Talaş kaldırma esnasında oluşan kuvvetler; basınç, sürtünme, ısı oluşumu ve aşınma vb. olaylar yanında ekonomiklik dikkate alınırsa, kesici takımında bulunması gereken özellikler şöyle özetlenebilir [83].

- Yüksek basma, eğme dayanımı
- Yüksek sertlik ve yıpranma direnci
- Yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı dayanıklılık ve iyi kimyasal kararlılık
- Isı birikiminin önlenmesi için yüksek ısı iletim yeteneğine sahip olması
- Ucuz olması yanında darbe etkisine karşı kafi derecede tok olmalıdır [83].

Çizelge 3.4. Bazı kesici takımların akma dayanımı değerleri [84]

Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)
Elmas	50 000
SiC	10 000
Si ₃ N ₄	8 000
WC	6 000
NbC	6 000
Al ₂ O ₃	5 000
TiC	4 000
ZrC	4 000
TaC	4 000
ZrO ₂	4 000
Kobalt ve alaşımları	180 – 2000
Düşük alaşımlı çelikler	500 – 1980
Karbon çelikleri	260 – 1300

Kesici takımlar ISO 1832'ye göre kodlanırlar. Bu kodlama kesici takımın şeklini, tipini ve boyutlarını verir.



Şekil 3.16. ISO 1832’ye göre kesici takım kodlama sistemi [81]

Bazı kesici takımlar ve akma dayanımı değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Kesici takımlar; içyapıları, ömürleri, imalat şekilleri ve mekanik özelliklerine göre 8 grupta incelenebilir.

- 1- Karbon ve alaşımlı takım çelikleri
- 2- Yüksek hız çelikleri
- 3- Stelitler (kobalt esaslı döküm alaşımı)
- 4- Sert madenler
- 5- Seramikler
- 6- Elmaslar
- 7- Kübik bor nitrürlerdir [83].

Karbonlu ve alaşımlı takım çelikleri

Karbonlu takım çeliği yaklaşık 850°C’de kızıl sıcaklıkta sertleştirilir ve bunu oda sıcaklığına kadar çok hızlı suda soğuma takip eder. Takım çelikleriyle 10 m/dak kesme hızı ile 200-300°C’de çalışma sıcaklığı elde edilebilir. [83].

Yüksek hız çelikleri (YHÇ)

Hız çelikleri, yüksek alaşımlı asal çelikler olup 600°C sıcaklığa kadar sertliklerini muhafaza ettiklerinden yüksek kesme hızlarında (30-50 m/dak) talaşlı imalatla

kullanılan kesici takımlardır. Esas itibariyle YHÇ'leri T ve M olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Bunlar ilk alaşım element olarak Tungstene (W) sahip ve diğer öncelikli element ise Molibden (Mo)'dir [83].

Stelitler

Sert alaşımlar; tungsten, krom ve kobalt alaşımı olup ticari olarak “Stelit” olarak adlandırılır. Döküm veya kaynak ile imal edilirler. Ancak hız çeliklerine göre kesme hızları çok yüksek olmadığından 800°C'ye kadar sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Kesme işlemlerinde kesici takım olarak pek fazla kullanılmamakla beraber bu takımlar kaplanarak da kullanılabilir [83].

Sert madenler

Sert maden uçlar; sıcaklığa dayanıklı takım malzemesi olup sert karbür parçacıkların yumuşak ve sünek metallerle birleştirilmesiyle üretilir. Bu malzemeler “sinterlenmiş karbür” olarak da tanınır. Bunlar iyi aşınma direnci gösterdiklerinden sanayi tarafından kabul görmüş yüksek kesme hızlarına sertliğini ve kesiciliğini kaybetmeden etkili şekilde kullanılabilir [83]. Sinterlenmiş karbürlerin iki çeşiti yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar;

- 1- Tungsten karbür + kobalt alaşımlı düz karbürü uçlar (WC+Co)
- 2- Tungsten karbür + kobalt + titanyum karbür + tantalyum karbürü uçlar (WC+Co+TiC+TaC)'dir [83].

WC-Co'lu sert maden uçlar

Sinterlenmiş karbürü oluşturan karbürler ve bağlayıcı içeriğinin mekanik özellikleri üzerine etkileri dikkate alınmalıdır. Tungsten karbür grup bileşiklerinden biri olup bunlar; nitrürler, borürler, karbürler ve silisler olarak sınıflandırılırlar. Bunlardan WC takım malzemesi yapımında kullanılan en önemli bileşenlerden biridir [83].

WC-TiC-Co ve WC-Co-TaC sert maden uçlar

WC-Co düz karbüre TiC ilavesi ile sertlik, yüksek sıcaklık dayanımı ve oksitlenme direncinin artmasının anında ısı iletme kabiliyetinin azalması ve kaynaklanmama eğilimi sağlandığından çelik türü malzemeler daha ekonomik işlenebilir. Sert madenlerde talaş yüzeyi aşınması ve kaynaklama eğilimi TaC (NbC) ilavesi ile de azaltılır. Ayrıca, TaC içerikli WC-Co alaşımları WC-TiC-Co alaşımlarından daha sünek ve kenar dayanımı daha yüksektir. Dolayısı ile bunlarda ulaşılabilecek kesme gücü daha azdır. Fakat TiC ve TaC'ün birlikte kullanılması ile daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir [83].

Kaplamalı karbür uçlar

Daha iyi kesme işlemi için yapılan araştırmalar, karbürü takımların TiC, TiN ve Al_2O_3 gibi malzemelerle değişik yöntemlerle kaplanmasına yöneliktir. Kaplanmış karbür uçlar daha uzun takım ömrü, daha fazla üretim artışı, daha kolay talaş akmasını sağlamaktadır. Kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. Bu, özellikle daha kaliteli yüzey elde edilmek istendiğinde daha yüksek hızların kullanılmasına imkan sağlar. Kaplamanın yağlayıcı ve talaş yapışmasını önleme özelliği talaş kaldırmada oluşan gerilme ve ısı miktarını büyük oranda azaltır. TiN daha düşük sürtünme katsayısı verdiği, yığılma kenar oluşumunu azalttığı için ve daha ince olduğundan dış katmanı, Al_2O_3 yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığı ve sert parçacıklara karşı aşınma direnci sağlandığından dolayı orta katmanı ve TiC de ana malzeme üzerine dayanım ve aşınma direnci daha iyi olduğu için ilk katmanı oluşturmaktadır [83].

Kaplamalı takımlar kesintili işleme sırasında çatlamalara ve soyulmalara sebep olduğundan her zaman kullanılmaz. Araştırmalar TiC, TiN ve Al_2O_3 kaplamaların aşınmaya dirençli olmasının ana sebebi, kesici yüzeyinde yapışmanın olduğu yerde yayılım aşınmasına karşı direnç göstermesinden kaynaklanmaktadır [83].

Seramik ve sermet kesici takımlar

Talaşlı imalatta kesici takımların yüksek kesme hızlarında daha uzun takım ömrü ile daha fazla üretim artışı sağlama gereksinimi, seramik kesicilerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Seri imalatın yapıldığı otomotiv, uçak vb. gibi endüstrilerde, kır dökme demir, yüksek alaşımlı ve nikel alaşımlı çeliklerin mevcut kesicilerle (YHÇ, sinterlenmiş karbürler; WC, TiC vb.) zor işlenmesi veya hiç yapılamaması gibi sebepler üretim maliyetini doğrudan etkilemektedir. Seramik kesicileri aşağıda sıralanmıştır.

- Al_2O_3 içeren düz seramik kesiciler
- Karma seramik kesiciler ($Al_2O_3 + TiC/TiN$)
- Visker takviyeli seramik takımlar ($Al_2O_3 + SiC_w$)
- Silisyum nitrür esaslı seramikler (Y_2O_3 , Si_3N_4 ve Al_2O_3 karışımı)
- Siyalonlar (Si-Al-O-N) [83].

Kaplamalı seramikler

Takım ve iş parçası arasında oluşan kimyasal etkileşimleri elimine etmek amacıyla seramik kesici ana malzemesi üzerine 2-5 μm kalınlığında ince bir tabaka kaplanır. Siyalon ve Si_3N_4 gibi ana kesici malzeme üzerine Al_2O_3 -TiC veya TiC-TiN gibi çok katlı kaplamalar, karbürli kesicilere benzer şekilde uygulanmaktadır. Bu gibi kaplamalı seramiklerde çelikler ve diğer malzemelerin yüksek kesme hızlarında işlenmesi mümkündür [83].

Sermet takımlar

Kesici takım teknolojisinde son gelişmelerden biri de sermet kesici takımlardır. “Sermet” terimi, genellikle, toz metalürjisi tekniği ile “metal” ve “seramik” tozların bir araya getirilmesi ile üretilir. Bunlardan metalik bileşen kesme esnasında termal şok direnci ve sünekliğini arttırırken seramik bileşeni ise sıcak sertlik ve oksitlenme

direnci sağlamaktadır. Sermet kesici takımlar, değişik oranlarda TiC, TiN, TaC, WC ve Mo₂C gibi sert malzemelerle Ni, Co, Mo ve Al gibi metallerden oluşur. Bunlar geleneksel WC-Co esaslı takımlardan farklı olup bazen sinterleme sıcaklığında sıvılaştan kobalt metal bir bağlayıcı ile bağlanan farklı miktardaki TiC ve TaC ve NbC parçacıklarını içerir. Sermetin temel bileşeni TiC olup çok sert ve sinterlenmiş karbürün temel elemanı olan WC'den hem ısı hem de kimyasal olarak daha karardır. Bu nedenle, daha yüksek aşınma direncine sahip bulunmaktadır. Sermetler içinde en sert olan TiC'lü türü olup tok olan tungsten karbür uçlarla sert ve gevrek olan seramik takımlar arasında boşlukları doldurmak amacıyla kullanılır [83].

Elmas

Endüstriyel uygulamalar için kullanılan elmas büyük özel amaçlı presler kullanılarak yüksek sıcaklık ve basınçlara maruz kalan karbonun grafit formunda sentetik olarak yaklaşık 1450-2350°C bantlı fırında 10 000 kPa basınç uygulanarak elde edilir. Basınç ve sıcaklığın uygulanmasıyla altı köşe yapılı olan grafit küp yapılı elmasa dönüşür. Elmas uçlu takımlar, çok yakın toleranslı ve yüksek hassasiyet gereken metal olmayan ve demir dışı malzemeleri işlemek için kullanılır. Bunlar gevrek olduğundan şoka ve kesme basıncına karşı karbürü kesiciler kadar dirençli olmadığından esas olarak bu malzemeler son bitirme yüzeylerinin işlenmesinde kullanılan takımlardır. Bu kesicilerin avantajları şöyle sıralanabilir,

- Yüksek kesme hızlarında kesme yapabilmesi ve diğer takımlara göre üretim 10-15 kat arttırabilmesi,
- 0,128 µm ve daha az yüzey hassasiyeti kolaylıkla elde edilebilmesi ve çoğu zaman iş parçası üzerinde gerekli diğer yüzey bitirme işleminin yok edilebilmesi,
- Çok sert ve yıpranmaya dirençli olduğundan, aşındırıcı malzemelerin işlenmesinde daha uzun takım ömrü elde edilmesi,
- Daha yakın toleranslı parçalar üretilebilmesi ve kesici uç üzerinde metalik parçaların kaynak olması veya yapışmasının önlenmesidir [83].

Küp yapılı bor nitrür

Yüksek sıcaklık ve aşırı yüksek basınç altında sinterlenerek elmasa yakın özelliklere sahip olan bu malzeme aşınmaya dirençlidir. Sıcak sertlik, oksitlenme direnci ve kırılma tokluğunun iyi olması nedeniyle çok kristalli bor nitrürden yapılan bu uçlar sert demir içerikli malzemelerin kesme işleminde daha uzun takım ömrü ve mükemmel uç dayanımına sahiptirler. BN bileşiği, yaklaşık eşit sayıda boron ve azot atomlarının sırasıyla düzenlenerek oluşur ve grafit yapısına benzer hekzagonal yapıya sahiptir [83].

3.3. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik evrensel olarak tanımlanmış, standart bir özellik değildir. Genellikle iş parçasının işlenebilme kabiliyeti, bir başka deyişle iş parçasının kesici bir takımla şekillendirilmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu işlenebilirlik olarak adlandırılır. Orta karbonlu bir çelik ısıl dirençli bir alaşıma göre, gri dökme demir kır dökme demire göre daha kolay işlenir. Sıvanma özelliğine sahip düşük karbonlu bir çeliğin işlenmesi ise bazı alaşımlı çeliklere göre çok daha zordur. Kesici takımlardaki gelişmeler, değişen koşullar ve yöntemler nedeniyle işlenebilirlik kavramı karşılaştırılmalı değerler cinsinden ifade edilmesi zor olan bir kavramdır. Talaşlı imalat işlemini etkileyen iş parçası malzemesine ait tüm özelliklerin karşılaştırılması işlenebilirliğin incelenmesi açısından yararlı olacaktır, ancak bu işlem malzeme temin eden kuruluşların tümünden kolaylıkla elde edilemeyen ve uzun zaman alan bir belgeleme çalışması gerektirir.

İş parçası malzemelerinin metalürjisi, kimyası, mekaniği, ısıl işlemi, katkı maddeleri, içerisindeki kalıntılar, yüzeyindeki sert tabakanın kalınlığı gibi özellikler işlenebilirliği etkilerler. Bu etkilerin yanı sıra işlenebilirlik üzerinde kesici kenarın, takım ucunun, takım tezgahının, işlemlerin ve işleme koşullarının da etkisi büyüktür. Malzemeler için işlenebilirlik verileri talaşlı imalat işlemlerinde daha sonra optimize edilecek başlangıç değerlerinin belirlenmesine yardımcı olurlar. En geniş anlamıyla

işlenebilirlik kesici takım/iş parçasına ait aşağıda verilen ölçütlerce tanımlanan bir özellik olarak adlandırılabilir [85].

- Takım ömrü
- Talaş oluşumu
- Yüzey kalitesi
- Talaş debisi
- Kesme kuvveti/güç
- Yığılma kenar eğilimi

Bir iş parçası malzemesinin mukavemeti ve sertliği tek başına işlenebilirlik için belirleyici bir unsur teşkil etmeyebilir. Yapı içerisindeki kalıntılar, işlemeyi kolaylaştırıcı katkı maddeleri, iç yapı, sert ve aşındırıcı bileşenler, talaşın sıvanma eğilimi gibi diğer faktörler de en az mukavemet ve sertlik kadar önemlidir. Bunun yanı sıra bir takım tipi ve belirli bir iş parçası malzemesi için iyi olan işlenebilirlik bir başka malzeme ve takım tipi için kötü olabilir. Bir iş parçası için işlenme kabiliyeti ve verimlilik bu anlamda birçok faktör tarafından belirlenir: iş parçası malzemesi, takım tezgahı, işlem, kesici takım, soğutma sıvısı, kesme verileri gibi [85].

3.3.1. Kesme kuvvetleri

Kesme kuvvetleri takım tarafından malzemeye talaş kaldırılması için uygulanan kuvvettir. Bu kuvvet, takım tezgahı tarafından uygulandığı için büyüklüğünün bilinmesi tasarımı açısından önemlidir. Kesme kuvveti bir taraftan takım tezgahının gücünü etkilerken bir taraftan da titreşimsiz ve katı olması için gerekli tasarım ölçütüdür. Ayrıca kesme kuvvetleri, kesici takım tasarımını da doğrudan etkilemektedir. Kesici takım tasarımını ve üretimini gerçekleştiren üretici, kesici takıma gelebilecek yükleri bildiği takdirde tasarım ölçütlerini o değerlere göre düzenler [86].

Kesme kuvvetlerinin büyüklüğü talaş/takım arasında temas uzunluğuyla ilgilidir. İki fazlı ve kesikli talaş çıkaran malzemelerin işlenmesinde, kesici takım ve talaş arasında daha az temas uzunluğundan dolayı çok düşük kuvvetler meydana gelir. Kesme hızının arttırılması, kayma açısını arttırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetleri de oldukça düşmektedir. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlarla takım/talaş arasındaki temas uzunluğu sınırlandırılarak kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir. Kesme kuvvetleri kesici uç geometrisine de bağlıdır. Örneğin, talaş açısı değerinde hem artış hem ilerleme hem de kesme kuvvetini düşürür. Ayrıca talaş açısında daha fazla artış takımın dayanımını zayıflattığından aşınmayı artırır. Takım aşındığında da takım kuvvetleri artar [83].

Kesme kuvvetlerini ölçmek için bir dinamometre kullanılmalıdır. Dinamometrelerde temel ilke, kesme kuvveti uygulanan makine elemanlarının yapısında meydana gelen uzamalar ve yer değiştirmelerin ölçülmesi esnasında dayanmasıdır. Dinamometreler kesme sırasında olabilecek yer değiştirmelerden etkilenmeyecek şekilde yeteri derecede sağlam olmalıdır. Titreşimin en aza indirilmesi ve kesme operasyonunda hassas ölçünün elde edilmesi için aygıt yüksek sağlamlığa sahip olmalıdır. Kuvvet dinamometresi tasarımında; cıvata, pim, menteşe gibi bağlama elemanları kullanımından kaçınılmalıdır. Çünkü sürtünmenin sebep olduğu sapmalara yol açabildiği için dinamometre her zaman tüm bir blok malzemedan üretilmelidir [83].

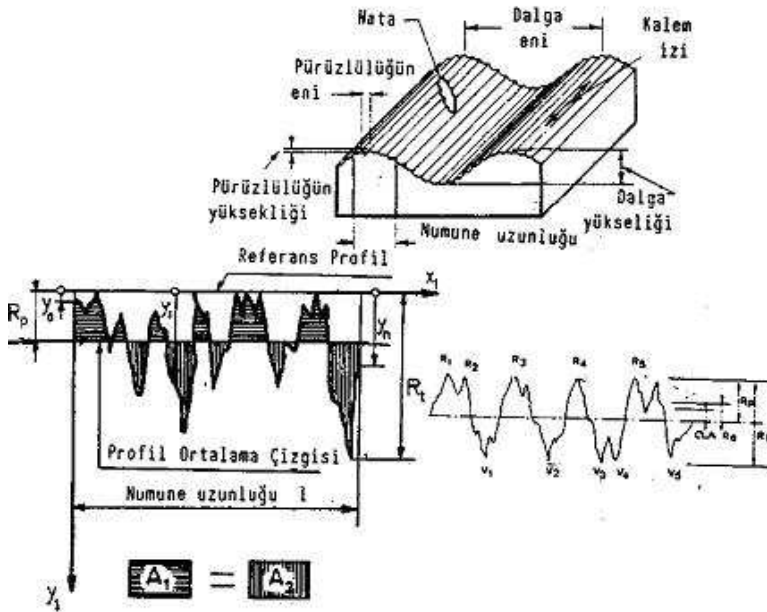
Piezoelektrik esaslı dinamometrenin çalışma prensibi

Piezoelektrik etki, doğal veya yapay olarak üretilen kristallerin fiziksel olarak şekli bozulmasıyla elektriksel yükler üretmesidir. Quartz ve potasyum-sodyum tartar, piezoelektrik özellikler gösteren doğal maddelerdir. Piezoelektrik etki, farklı yollarla deforme edilen kristaller tarafından üretilmektedir. Örneğin genleşme veya basma nedeniyle kalınlığının değişmesi bir piezoelektrik etkidir. Elektriksel yük elde etmek amacıyla, bir kristalin seçilen yüzeyine metal elektrotlar tespit edilir. Dönüştürücüye statik bir kuvvet uygulanırsa, elektriksel bir yük üretilmesine karşın, kristalin iç direnci aracılığıyla da yük yavaş bir şekilde dağılır. Bu özellik nedeniyle

piezoelektrik dönüştürücüler daha çok, kuvvetin bir işlevi olan ivme, basınç gibi dinamik büyüklüklerin ölçülmesinde kullanılmasına rağmen benzer statik büyüklükler de özel yükselticiler kullanılarak ölçülebilmektedir [86].

3.3.2. Yüzey pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometrik, boyut ve yüzey bakımından parça resimlerinde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektedir. Buna işleme kalitesi denilir. Parçanın geometrik, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan işleme kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Boyut kalitesi, parçanın gerçek boyutları ile nominal boyutları arasında izin verilen sapmalardır. Bu sapmalar boyut toleransları ile ifade edilir. Geometrik kalite, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını kapsamaktadır. Bunlar, ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksen sapmaları olmak üzere üç gruba ayrılır. Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir. Dalga geometrik sapmalar grubuna dahildir. Dolayısıyla yüzey kalitesini esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder [87].



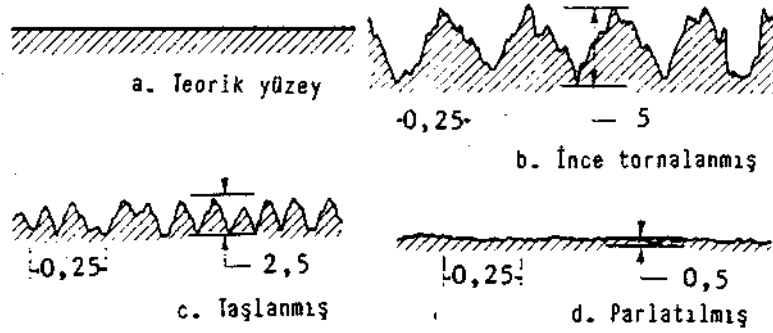
Şekil 3.17. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi [87]

Talaş kaldırma işlemi ile elde edilen yüzeyler genellikle düzensiz ve karmaşıktır. Buna rağmen işlenen parçaların çoğu genel işlevlerini karmaşık olmayan yüzey yapısı gösterimi ile tatmin edici olarak yerine getirirler. Çoğu kesme işlemleri normal işlem kontrolü ve minimum kalite kontrol ile genel yüzey yapısal özelliklerini karşılayabilir. Yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu konular aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Sürtünmeli yataklar
2. Korozyon ortamında çalışan nesneler
3. Yiyecek hazırlayan aygıtlar
4. Teleskop lensleri
5. Yuvarlanmalı yataklar
6. Boyanmış veya kaplanmış yüzeyler
7. Sızdırmazlık yüzeyler veya sürtünen baskılı montajlar vb. parçalardır [88].

Kritik gerilimli, parça ömrü sınırlaması, güvenlik kontrolü veya böyle parçalar üzerinde özel alanları olan parçaların bitirme yüzeyi dahil ilave özelliklere sahip olmalıdırlar [88].

Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli ölçütlerle yapılır. Bu ölçütlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline göre ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey pürüzlülüğünün derinliği (R_t), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş değeri (R_p) ve yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (R_a) gibi ölçütlere göre değerlendirilir. (R_t), referans profiline göre en derin pürüz değeri; (R_p), referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe, (R_a) da ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliklerinin veya derinliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır [87].



Şekil 3.18. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili örnekler [87]

Teoride sıfır uç yarıçaplı takım ile mükemmel düzgün bir yüzey elde edilir. Ancak iş malzemesi, takımdaki düzensizlikler ve işleme metodu böyle ideal yüzeyin elde edilmesini önleyebilir. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden iş malzemesi faktörleri şöyle sıralanabilir [83].

- Yığma kenarın periyodik olarak kırılmasıyla oluşan parçacıkların yüzey üzerine yapışması ve yüzeyi kabalaştırması,
- Kıvrılan talaşın iş parçası yüzeyine hasar verebilmesi,
- Yumuşak malzeme işlenirken talaş oluşumu sırasında yüzeyin yırtılabilmesi,
- Gevrek malzemelerde kesikli talaş oluştuğundan yüzeyde çatlaklar oluşması,
- Yeni oluşan yüzeyle takım kesme kenarı arasında sürtünmenin oluşmasıdır [83]

Çizelge 3.5. Farklı talaş kaldırma işlemleri ile elde edilen R_t ve R_a yüzey pürüzlülük değerleri [88]

Yüzey İşlemi	R_t (μm)	R_a (μm)
Çok kaba yüzeyler (döküm vb)	$>10^3$	12500
Orta işleme (izle görülebilir-kaba taşlama)	50-250	10
İnce işleme	5-10	0,8-2,5
Çok ince işleme (tornalanmış)	0,5-5	0,13-0,8
Honlanmış	1-2	0,05-0,3
İnce metallogrif parlatma	0,3	0,03

3.3.3. Yığma kenar eğilimi

Genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük işleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar. Çelik, alüminyum ve dökme demir gibi uzun ve kısa talaş oluşumunun söz konusu olduğu malzemelerde görülür. Yığma kenar oluşumu talaş tabakaların sürekli olarak kesici kenar üzerine kaynak olup kenarın bir parçası haline gelme işlemidir. Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir kısım malzemenin de yığma kenar ile uzaklaşmasına neden olur. Bazı kesici takım malzemeleri ve sünek çeliklerde yığma kenar oluşumu diğerlerine göre çok daha fazladır [85].

Önemli ölçüde sıcaklığa, dolayısıyla kesme hızına bağlıdır. Takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olan yığma kenar istenmeyen bir durumdur. Yığma kenar oluşumuna iş parçası ve takım arasındaki eğilim de etkiye bulunur. Düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar iş parçası malzemesinin takım yüzeyine kaynak olmasına neden olur. Yığma kenar oluştuğu takdirde yüzey kalitesi bozulur ve bu oluşumun devam etmesi halinde kenarın kırılması ve hatta ömrünü tamamlaması söz konusu olabilir [85].

3.3.4. Alüminyumun işlenebilirliği

Alüminyum alaşımları iyi bir işlenebilirliğe sahiptir. İşleme sıcaklıkları genelde düşüktür ve yüksek kesme hızlarının kullanımı söz konusudur. Bazı işlemlerde talaş kontrolü için özel önlemler gerekebilir. Kesme işlemi keskin, artı geometriler gerektirir ve genellikle alüminyum için özel geliştirilmiş takımlarla gerçekleştirilir, ancak alüminyum alaşımlarının birçoğunun modern, genel amaçlı takımlarla uygun bir şekilde işlenebilmesi de mümkündür. Doğru bir kayma işleminin gerçekleştirilebilmesi ve yığma kenar oluşumunun önüne geçilebilmesi için büyük talaş açılara gereksinim vardır [85].

Takım ömrü, yüzey kalitesi ve talaş oluşumuna bağlı olarak işlenebilirlik genellikle iyidir. Kesme kuvvetleri düşüktür. Dövme ve döküm alaşımlar temperlenmiş halde

tavlanmış hale göre daha iyi işlenirler. Bazı alaşımlarda yığma kenar çok yüksek hızlarda bile oluşabilir ve özellikle alüminyum işleme için tasarlanmamış uçların kullanılması halinde kötü yüzey kalitesinin elde edilmesine neden olabilir. Alüminyum işlemede dikkate alınması gereken en önemli sorun talaş kontrolüdür. Bazı durumlarda talaş kolaylıkla kırılmaz ve yüksek hızlarda talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılması özel önlemler gerektirir [85].

Büyük, sert silisyum parçacıkları yüksek aşınma hızlarına neden olurlar. Bu alaşımların işlenmesi için elmas uçlu kesiciler geliştirilmiştir. Çok yüksek kesme hızları ve yüksek ana mil devir sayılarına sahip tezgahlarda yüksek talaş debileri bu alanda etkin olarak kullanılabilir. Kesme hızları genellikle tezgah ile sınırlıdır. Birçok alüminyum işleme uygulamasında özel olarak geliştirilmiş keskin, kaplamasız sinterlenmiş karbür kaliteleri mükemmel bir başarımlar sağlarlar [85].

Alüminyumun frezelenmesinde talaş kalınlığı da önemlidir. Genellikle yüksek kesme hızları söz konusu olduğunda ilerleme hızı düşme eğilimi gösterir ki bu durum kesme işlemi, yerine aşırı bir ezme işleminin gerçekleşmesine neden olur. Bunun sonucunda da ortaya çıkan aşırı ısınma takım ömrünü azaltır [85].

4. DENEYSEL YÖNTEM

Bu çalışmadaki deneysel yöntem iki aşamada ele alınmıştır. Birinci aşama kompozit üretimi ve mekanik özelliklerin belirlenmesini, ikinci aşamama ise kompozitlerin frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesini kapsamaktadır.

4.1. Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Bu çalışmanın konusu; seramik parçacık takviyeli alüminyum anayapılı kompozitlerin, dik işleme merkezinde farklı kesici takımlarla farklı kesme şartlarında işlenmesinde kesme kuvvetlerindeki ve yüzey pürüzlülüğündeki değişimlerin deneysel olarak incelenmesidir. Alüminyum anayapı olarak 7050 serisine yakın bir malzeme ve takviye elemanı olarak α -Al₂O₃ seramik parçacık kullanılmıştır. 7050 serisi alüminyumun ana malzemeleri olan ağırlıkça %6,2 Zn, %2,3 Mg, %2,3 Cu geri kalan ise alüminyum olacak şekilde alüminyum alaşım oluşturulmuştur [78]. Takviye elemanı olarak ise hacimce %15 oranında α -Al₂O₃ seramik parçacık kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın bu aşamasında aşağıdaki yol izlenmiştir.

1. Toz özelliklerinin belirlenmesi
2. Kompozit numunelerin üretimi
3. Isıl işlem
4. İç yapı incelemesi
5. Mekanik özelliklerin belirlenmesi

4.1.1. Toz özelliklerinin belirlenmesi

Kompozit numunenin üretimi için gerekli olan alüminyum (Al), çinko (Zn), bakır (Cu), magnezyum (Mg) ve alümina (α -Al₂O₃) tozları piyasadan temin edilmiştir. Bu tozların boyut analizleri ODTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde

bulunan Malvern Mastersizer 2000 parçacık boyut analiz cihazında yapılmıştır. Bu cihaz ile 0,02 ila 2000 μm aralığında toz boyutu belirlenebilmektedir.

Bu cihazda toz boyutu ışık saçımını ve kırınımı yöntemi ile belirlenmektedir. Bu yöntemde, parçacıklar hareketli bir akışkan içinde dağıtır ve dağılmış olan bu parçacıklar bir detektörün önünden geçirilir. Detektör, parçacık boyutu ile orantılı olan ışık saçılması, elektrik iletkenliği veya diğer sinyallerdeki değişimleri ölçer ve bu şekilde toz boyutu belirlenir [77].

Toz boyutları tespit edildikten sonra yine aynı bölümde bulunan taramalı elektron mikroskobu ile tozların fotoğrafları çekilerek şekilleri ve görünümleri tespit edilmiştir.

4.1.2. Kompozit numunelerin üretimi

Kompozit numune boyutları 50x50x10 mm olarak belirlendiğinden, toplam hacim 25 cm^3 olacak şekilde bütün tozların ağırlık miktarları hesaplanmıştır. Tartma ve tozların kalıba yerleştirilmesi sırasında oluşabilecek kayıplar da gözetilerek toplam hacim değeri 26 cm^3 olacak şekilde kullanılan tozların ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre her numune için 15,48 gr $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, 1,44 gr Cu, 1,44 gr Mg, 3,87 gr Zn ve 55,74 gr alüminyum toz kullanılmıştır. Bu durumda numunenin toplam ağırlığı 77,97 gr olmaktadır. Kompozitin 26 cm^3 'lük hacim ve 77,97 gr ağırlığa göre kuramsal yoğunluğu 2,99 gr/cm^3 olarak hesaplanmıştır. Kullanılan tozların özellikleri ve numune içerisinde kullanılma miktarları ile ilgili tablo Çizelge 4.1'de verilmiştir. Kompozit numunelerin üretimi ODTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Toz Metalürjisi Laboratuvarında yapılmıştır. Kompozit numunelerin üretim aşamaları aşağıdaki verilmiştir.

1. Tozların tartılması
2. Tozların karıştırılması ve mekanik alaşımlama
3. Tozların kalıba yerleştirilmesi ve numunelerin üretimi
4. İlk iç yapı incelemesi

Çizelge 4.1. Numune üretimi için kullanılan tozlar ve kullanım miktarları

Toz	Yoğunluk (gr/cm ³)	Ağırlıkça Oranı (%)	Hacimce Oranı (%)	Bir Numunedeki Miktarı (gr)
Çinko (Zn)	7,13	6,20	-	3,87
Bakır (Cu)	8,96	2,30	-	1,44
Magnezyum (Mg)	1,74	2,30	-	1,44
Alüminyum (Al)	2,71	89,20	-	55,74
Alümina (α -Al ₂ O ₃)	3,97	-	15	15,48

Tozların tartılması

Tozlar bir plastik kap içerisine sıra ile tartılıp konulmuştur. Tozların tartılmasında Acculab V-200 model 200 gr kapasiteli 0,01 gr hassasiyetli hassas terazi kullanılmıştır.



Resim 4.1. Hassas terazi

Tozların karıştırılması ve mekanik alaşımlama

İç çapı 45 mm olan plastik bir kap içerisinde tartılan tozlar 30 ml izopropil alkol ilave edilerek çamur kıvamına getirilmiştir. Plastik kap içerisindeki çamur halindeki toz karışımına 5 adet zirkonyumoksit (ZrO₂) bilya yerleştirilerek çelik silindir kabın içerisine yerleştirilmiştir. Toz karışımı iki boyutlu karıştırma ünitesinde 70 dev/dak dönme hızında 1 saat karıştırılarak mekanik alaşımlamaya tabi tutulmuştur.



Resim 4.2. İki boyutlu toz karıştırma birimi

Tozların kalıba yerleştirilmesi ve numunelerin üretimi

Mekanik alaşımlamaya tabi tutulan çamur halindeki toz karışımı kurutulduktan sonra AISI H13 sıcak iş çeliğinden imal edilmiş ve boşluk kesiti 50x50 mm olan kalıbın içerisine dökülerek mekanik kilitlenmenin oluşması ve tozların yerleşmesi amacıyla sabit alt ve hareketli üst zımba ile tek eksenli olarak 50 MPa basınç ile sıkıştırılmıştır. Daha sonra 25 MPa basınç altında $565\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında 20 dakika sıvı faz sinterleme işlemine tabi tutulmuştur.

Sıvı faz sinterleme sıcaklığı değeri 7050 serisi alüminyum alaşım için verilen katı-sıvı faza geçiş sıcaklığı değeri olan 524°C 'nin yaklaşık 40°C yukarısında seçilmiştir [78]. Yirmi dakika sıvı faz sinterleme işleminden sonra kalıp dışarı çıkartılıp 15 dakika soğumaya tabi tutulmuş ve numune kalıptan çıkartılmıştır.



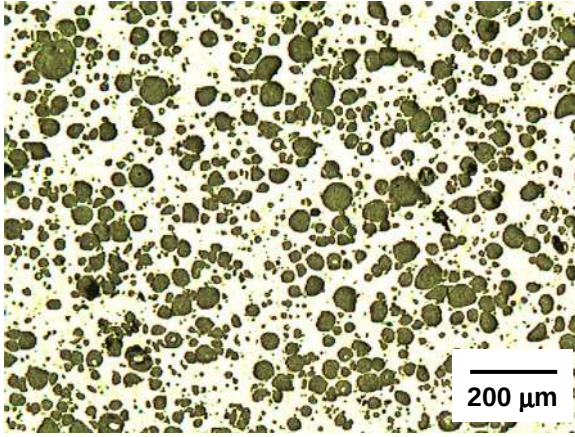
Resim 4.3. 50x50 iç boşluğa sahip kalıp



Resim 4.4. 30 ton kapasiteli mekanik pres ve elektrik fırını düzeneği

İlk iç yapı incelemesi

İlk numune üretimi gerçekleştirildikten sonra, takviye elemanının dağılımının uygun olup olmadığının tespiti için ilk iç yapı incelemesi yapılmıştır. Dağılımın uygun olmasından dolayı üretime devam edilmiştir.



Resim 4.5. Alümina parçacıkların kompozit içerisindeki dağılımı

4.1.3. Isıl işlem

Kompozit numuneler üretimleri tamamlandıktan sonra tavlama ısııl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem fırını olarak TOBB ETÜ Malzeme Laboratuvarında bulunan Protherm marka 4 000 W güce sahip kül fırın kullanılmıştır.



Resim 4.6. Kül fırın

Isıl işlem için numuneler öncelikle 475°C’ de 70 dakika çözümleme ısıl işlemine tabi tutulmuş ve soğuk suda ani soğutma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra, numuneler 415°C’ de 120 dakika tavlama işlemine tabi tutulmuş ve fırında soğutulmuştur [78].

4.1.4. İç yapı incelemesi

Isıl işlemi tamamlanmış numunelerin iç yapı incelemesi TOBB ETÜ Malzeme Laboratuvarında yapılmıştır. İç yapı incelemesi için bir numuneden küçük bir parça testere ile kesilip bakalite konulmuştur. Daha sonra sırasıyla 240, 600 ve 1000’lik SiC zımpara kağıtları kullanılarak ön parlatma işlemi, 6 µm’lik elmas çözeltisi kullanılarak son parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi tamamlanan numune Keller dağlayıcısının içerisine yaklaşık 2 dakika bekletilerek dağlama işlemi yapılmıştır. 100 ml Keller çözeltisinin bileşimi, 2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCl, 1,0 ml HF ve 95 ml sudur [89]. İç yapı incelemesinde numunenin hem dağlanmamış hem de dağlanmış fotoğrafları çekilmiştir. Fotoğrafların çekimi için TOBB ETÜ Malzeme Laboratuvarında bulunan Olympus-GX-42 model optik mikroskop ve bilgisayar düzeneği kullanılmıştır. Fotoğraflar 50x, 100x, 500x ve 1000x büyütme ile çekilmiştir.



Resim 4.7. Optik mikroskop düzeneği

4.1.5. Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Isıl işlemleri tamamlanan malzemelerin mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerin tespiti için makro sertlik ölçümü ve 3 nokta eğme testi yapılmıştır.

Makro sertlik ölçümü

Malzemelerin makro sertlikleri TOBB ETÜ Malzeme Laboratuvarında bulunan Wilson Wolpert marka 930 N model sertlik ölçüm cihazında yapıldı. 2,5 mm bilya çapı ve 187,5 kg yük uygulanarak numunelerin Brinell sertlik değerleri ölçülmüştür. Her numuneden üç adet sertlik değeri alınmıştır. Daha sonra alınan bu üç sertlik değerinin ortalaması hesaplanmış ve ± 5 HB sertlik değeri aralığının dışında kalan numuneler ayıklanmıştır.



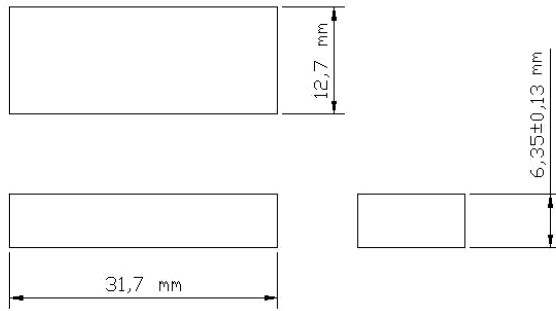
Resim 4.8. Makro sertlik ölçüm cihazı

Üç nokta eğme deneyi

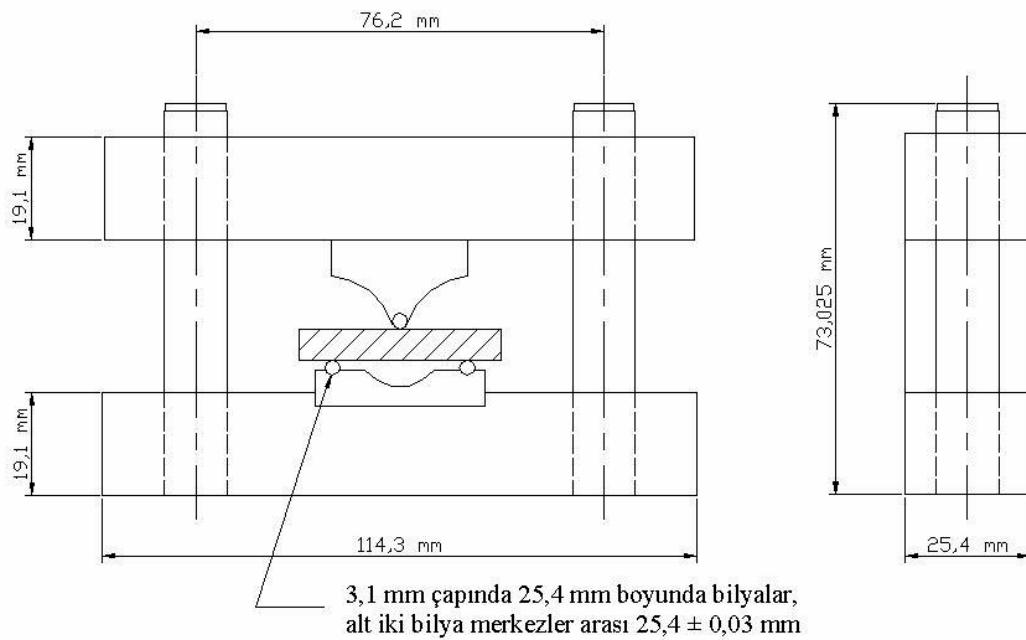
Üç nokta eğme deneyleri ODTÜ Mekanik Test Laboratuvarında yapılmıştır. Standart olarak ASTM B 528 - 83a (1989) - Standart Test Method for Traverse Rupture Strength of Sintered Metal Powder Specimens (Sinterlenmiş Metal Toz Numunelerin

Çapraz Kırılma Dayanımı için Standart Test Yöntemi) kullanılmıştır. Bu standartta verilen test ölçütleri ve numune boyutları kullanılarak 9 farklı numunenin mukavemet değerleri tespit edilmiş ve ortalaması alınarak üretilen malzemenin eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Uygulanan kuvvetin ilerleme hızı 1 mm/dak alınmıştır. Deney sırasında elde edilen değerler kırılmadan hemen önce ulaşılan en yüksek kuvvet olduğundan dolayı numunenin eğilme dayanımı aşağıdaki bağıntı kullanılarak elde edilmiştir.

$$\sigma = \frac{3PL}{2t^2w} \quad (4.1)$$



Şekil 4.1. ASTM standardına göre üç nokta eğme numunesi boyutları



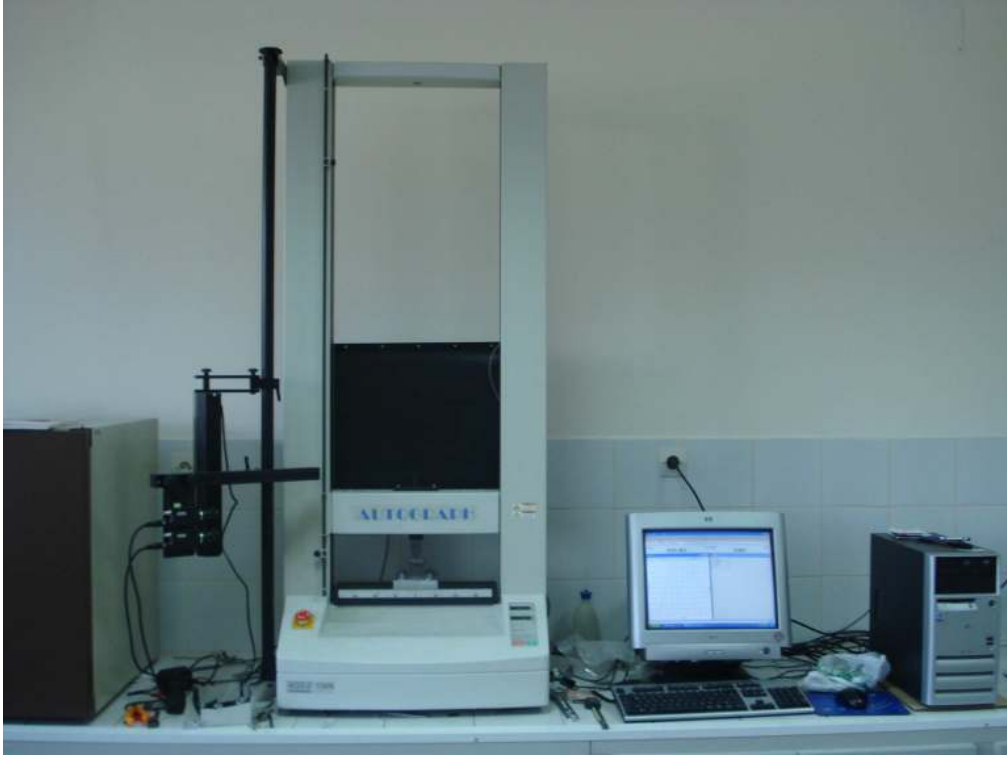
Şekil 4.2. ASTM standardına göre üç nokta eğme deneyi düzeneği



Resim 4.9. Üç nokta eğme deneyi düzeneği - 1



Resim 4.10. Üç nokta eğme deneyi düzeneği - 2



Resim 4.11. Üç nokta eğme deneyi düzeneği - 3



Resim 4.12. Üç nokta eğme deneyi düzeneği - 4

4.2. Kompozitlerin Frezelenmesi

Talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne birden fazla değişken etki etmektedir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü, takım tezgahlarının titreşimsiz ve katı olmasına, kesici takım malzemesine, talaş derinliğine, talaş açısına, eğim açısına, yanaşma açısına, kesme hızına, ilerleme hızına, iş parçasının malzemesine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu çalışmada 3 farklı kesici takım kullanılarak; hacimce %15 α -Al₂O₃ parçacık takviyeli Al6Zn2Mg2Cu alüminyum alaşım anayapılı kompozit malzemenin, dik işleme merkezinde yüzey frezeleme yöntemi ile işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne, kesme hızının ve ilerleme hızının etkileri incelenmiştir. Frezeleme işlemleri sabit talaş derinliği, talaş açısı, eğim açısı ve yanaşma açısı değerlerinde, soğutma sıvısı veya yağlayıcı kullanılmadan yapılmıştır. Frezeleme işlemleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi CNC laboratuvarında bulunan 15 kW gücünde ve 3500 dev/dak çalışma hızı kapasiteli Johnford VMC-550 Fanuc Series O-M CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir.

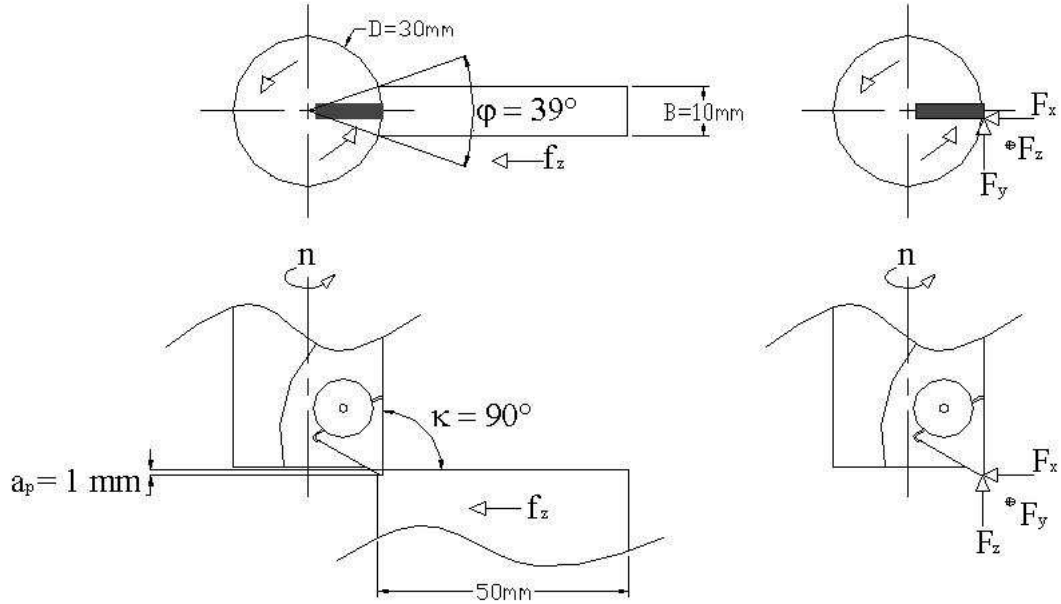
Çizelge 4.2. Takım geometrisi ve kesme şartları

Takım geometrisi ve kesme şartları	Değerler
Uç sayısı	Tek
Takım tutucu çapı (mm)	Ø 30
Talaş açısı	0°
Eğim açısı	11°
Takım açısı	60°
Yanaşma açısı	90°
Kesme kenarı uzunluğu (mm)	16
Uç kalınlığı (mm)	3
Uç yarıçapı (mm)	0,8
Kesme mesafesi (mm)	50
Kesme genişliği (mm)	10
Kesme hızı (m/dak)	90, 120, 150
Uç başına ilerleme (mm/diş)	0,08, 0,12, 0,16
Eksenel talaş derinliği (mm)	1

Çizelge 4.3. Kullanılan kesici takımların özellikleri

Takım adı	Gösterim	Firma adı	Firma kodu	Alt tabaka ve kaplama
Takım A	TPMN160308	Mitsubishi	UTİ20T	K20 WC
Takım B	TPMN160308	Mitsubishi	F620	K20 WC + TiN (KBB)
Takım C	TPGN160308	Toshiba	LX11	Al ₂ O ₃ + TiCN (FBB)

Frezeleme işleminde kullanılan kesici takımların geometrisi ve kesme şartları Çizelge 4.2.' de kesici takımların özellikleri Çizelge 4.3.' de verilmiştir. Frezeleme yöntemi olarak kısmi kavramalı tam simetrik zıt yönlü frezeleme uygulanmıştır.



Şekil 4.3. Uygulanan frezeleme yöntemi ve kesme kuvvetlerinin yönleri

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{B}{D} \quad (4.2)$$

$$h_m = \frac{360}{\pi \varphi} f_z \frac{B}{D} \sin \kappa \quad [mm] \quad (4.3)$$

$$F_x = A \cdot k_c = a_p \cdot h_m \cdot k_c \quad [N] \quad (4.4)$$

$$P_s = \frac{F_x \cdot V_c}{60 \cdot 1000} \quad [kW] \quad (4.5)$$

$$P_m = \frac{1,15 \cdot P_s}{\eta_m} \quad [kW] \quad (4.6)$$

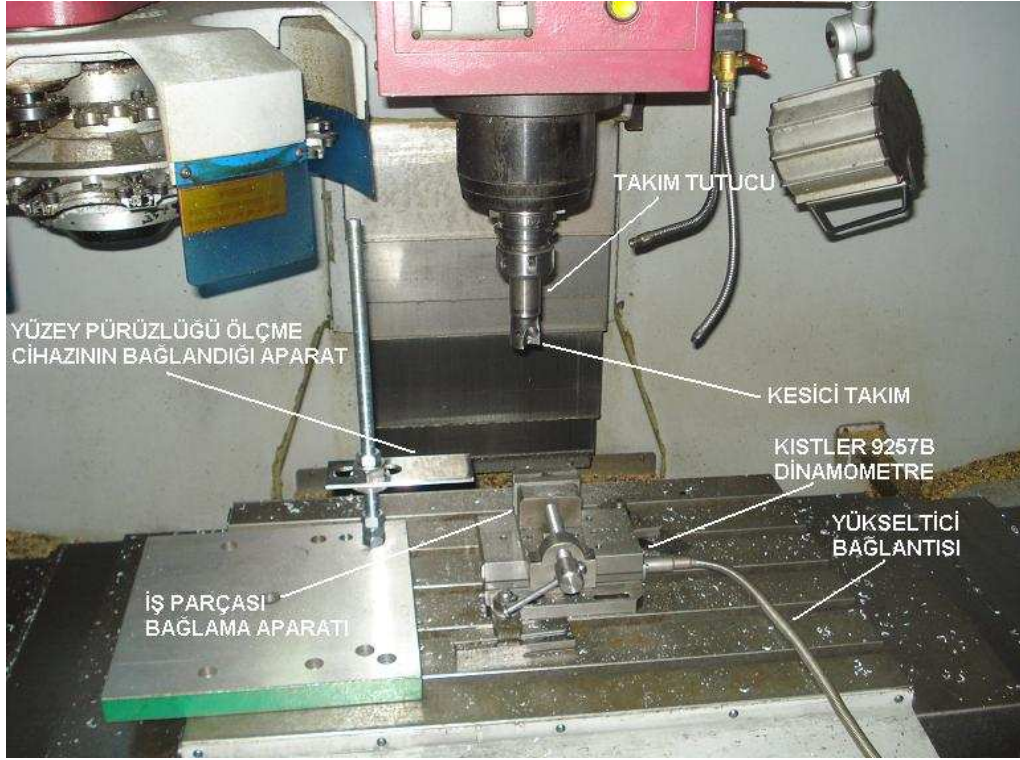
Frezeleme hesaplamalarında kullanılan bazı formüller yukarıda verilmiştir. Formül 4.4.'de ilerleme hızı değeri haricinde diğer değişkenler sabit olduğundan dolayı, ortalama talaş kalınlığı değerine etki eden en önemli değişkenin ilerleme hızı olduğu görülmektedir. Formül 4.5.'de ise ilerleme kesme kuvvetinin kesme derinliği ve ortalama talaş kalınlığı değerlerine bağlı olduğu görülmektedir. İlerleme hızı ortalama talaş kalınlığı değerine etki eden en önemli değişken olduğundan dolayı ilerleme kesme kuvvetini de önemli ölçüde etki etmektedir. Formül 4.5.'de bulunan k_c değerinin birimi N/mm^2 olup; iş parçası malzemesine, kesici takım geometrisi ve malzemesine bağlı olarak değişmektedir [87].

4.2.1. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi işleminde üç eksenli kesme kuvvetlerini (F_x , F_y , F_z) ölçebilen piezoelektrik esaslı KISTLER 9257B tipi dinamometre ve 5019B130 çok kanallı yükseltici kullanılmıştır. Yükselticiden alınan bilgiler bilgisayar ortamına aktarılmış ve Dynoware isimli program ile kesme kuvvetlerinin değişimleri grafik şeklinde elde edilmiştir. Deney düzeneği Resim 4.14 ve 4.15'de gösterilmiştir.



Resim 4.13. İş parçası bağlama aparatı ve KISTLER 9257B dinamometre



Resim 4.14. Kesme kuvveti ölçme düzeneği



Resim 4.15. Yükseltici



Resim 4.16. Takım tutucuya kesici takımın bağlantı şekli

4.2.2. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Frezede işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülüğü, özellikleri Çizelge 4.4.' de verilen Perthometer M1 (Mahr) yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü bütün iş parçalarında 1 mm talaş derinliğinde ilk işleme yapıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Her bir Ra değeri için cihaz, 0,8 mm aralıkla toplam 5,6 mm toplam örneklem boyunda 5 ölçüm yapıp bu değerlerin ortalamasını vermektedir.

Çizelge 4.4. Perthometer M1 (Mahr) yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının özellikleri

Özellikler	Değerler
Ölçme hızı	150 $\mu\text{m/s}$
Ölçme kuvveti	0,7 mN
Görünüm çözünürlüğü	12 nm
Ölçüm mesafesi	5,6 mm
Ölçüm aralığı	0,8 mm
Uç malzemesi	Elmas



Resim 4.17. Perthometer M1 (Mahr) yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

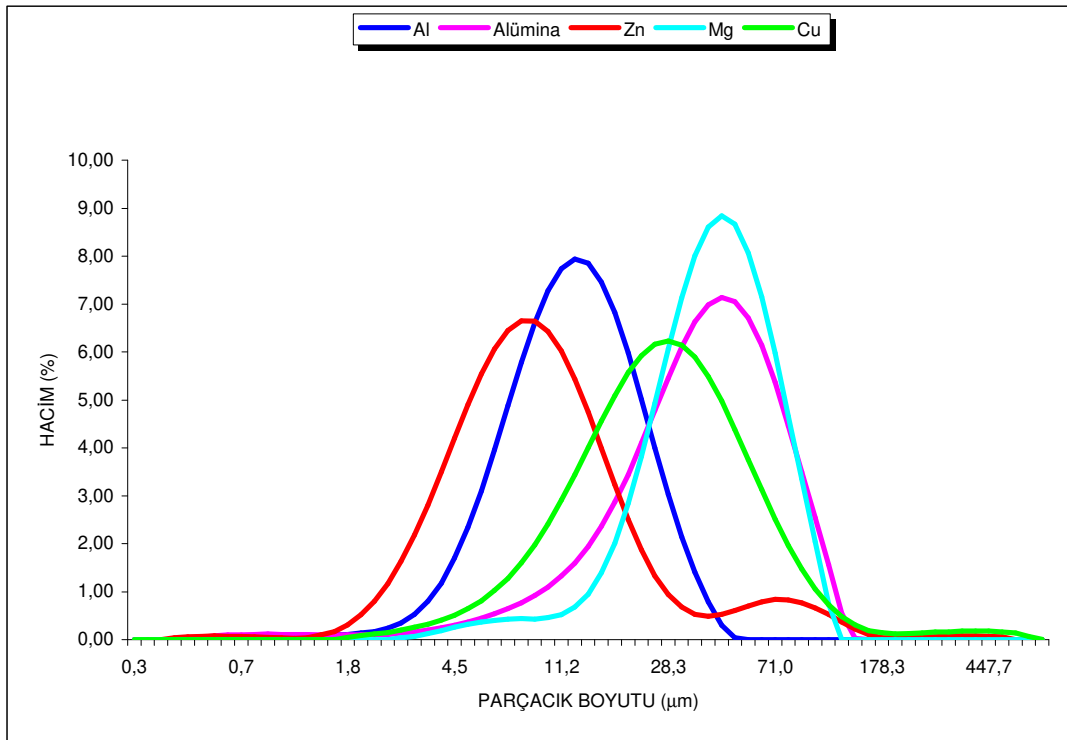


Resim 4.18. Perthometer M1 (Mahr) yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının ucu

5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Tozların Özellikleri

Kompozit üretiminde kullanılan tozların boyutları Şekil 5.1’de verilmiştir. Toz boyutu grafikleri logaritmik olarak çizilmiştir. Grafiklere bakılarak yüzde hacim olarak toz boyutlarını görmek mümkündür. Toz boyutu grafikleri tüm tozlarda Gauss (log-normal) olarak elde edilmiştir. Sadece çinko ve bakır tozlarında az miktarda iki modlu yapı görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni ise ölçüm sırasında tozların içerisinde bulunan yabancı tozların varlığıdır. Toz boyutları tüm tozlarda yaygın bir dağılım göstermektedir. Yaygın dağılıma sahip tozların sıkıştırılabilirliği yüksektir. Çünkü büyük ve küçük tozların varlığı sayesinde kalıpta sıkıştırma sırasında küçük tozlar boşluklara dolmakta ve daha iyi bir sıkıştırma yapılabilir [77]. Toz boyutu grafiklerinden elde edilen ortalama toz boyutları ve standart sapma değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

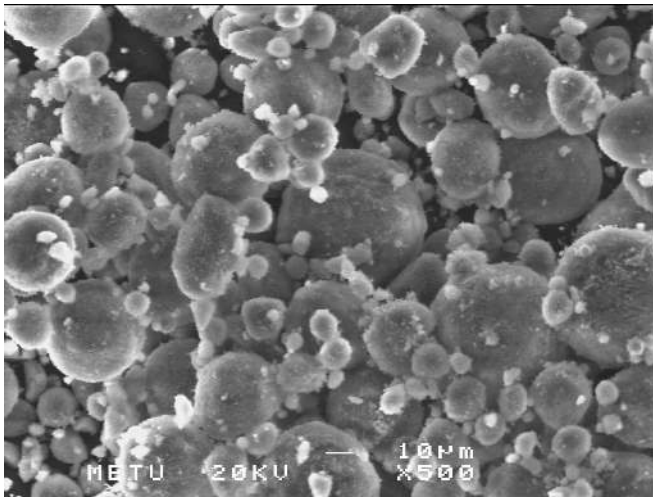


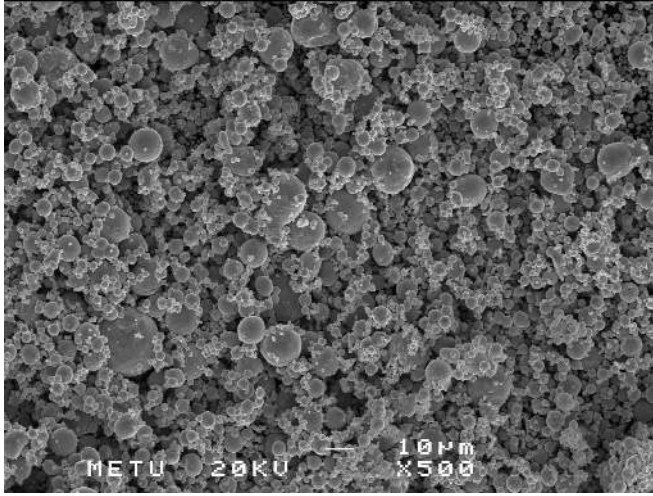
Şekil 5.1. Toz boyutu grafiği

Çizelge 5.1. Ortalama toz boyutları

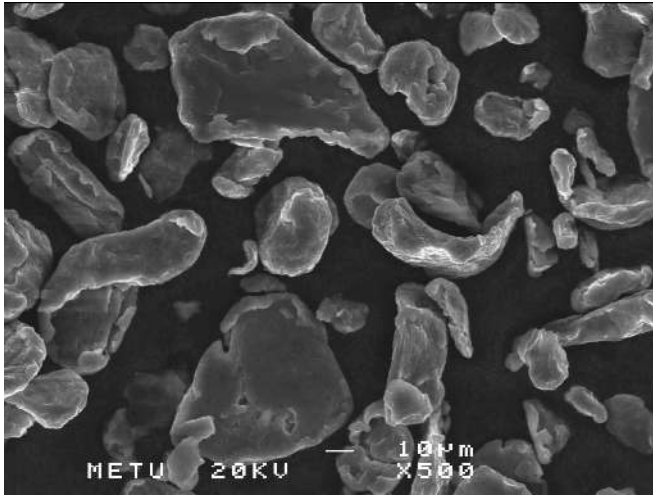
Bileşen	Ortalama toz boyutu (μm)	Standart Sapma (μm)
Al_2O_3	43,30	1,3
Zn	16,77	0,24
Mg	45,23	1,67
Cu (Dallantılı)	38,58	0,72
Al	14,08	0,45

Tozların taramalı elektron mikroskobu (TEM) ile çekilen fotoğrafları Resim 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5’de verilmiştir. Bu fotoğraflar Şekil 3.2’ de verilen olası toz şekilleri ile karşılaştırıldığında Al_2O_3 , Al ve Zn tozlarının küresel, Mg tozunun düzensiz ve Cu tozunun dallantılı yapıda olduğu görülmektedir. Al_2O_3 , Zn ve Al tozları küresel olduğundan dolayı karmaşık şekilli tozlara oranla daha düşük yüzey alanına sahiptirler. Üretilen kompozitte en çok hacmi bu üç toz kapladığından dolayı kalıp toz arası sürtünme azalmakta ve toz karışımının sıkıştırılabilirliği artmaktadır [77]. Ayrıca Al_2O_3 seramik tozları küresel olduğundan dolayı frezede işleme sırasında anayapıdan kopması kolay olacaktır. Bu sayede kesici takımında daha az aşınmaya, kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün daha düşük olmasına neden olacaktır.

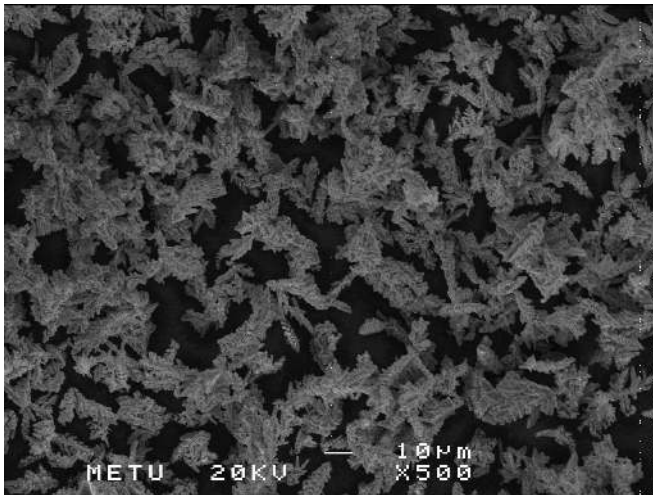
Resim 5.1. Al_2O_3 tozunun 500x büyütmede TEM ile çekilen fotoğrafı



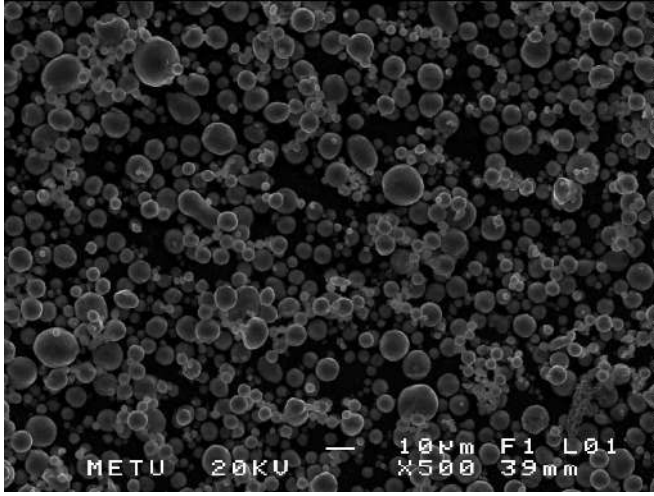
Resim 5.2. Zn tozunun 500x büyütmede TEM ile çekilen fotoğrafı



Resim 5.3. Mg tozunun 500x büyütmede TEM ile çekilen fotoğrafı



Resim 5.4. Cu tozunun 500x büyütmede TEM ile çekilen fotoğrafı

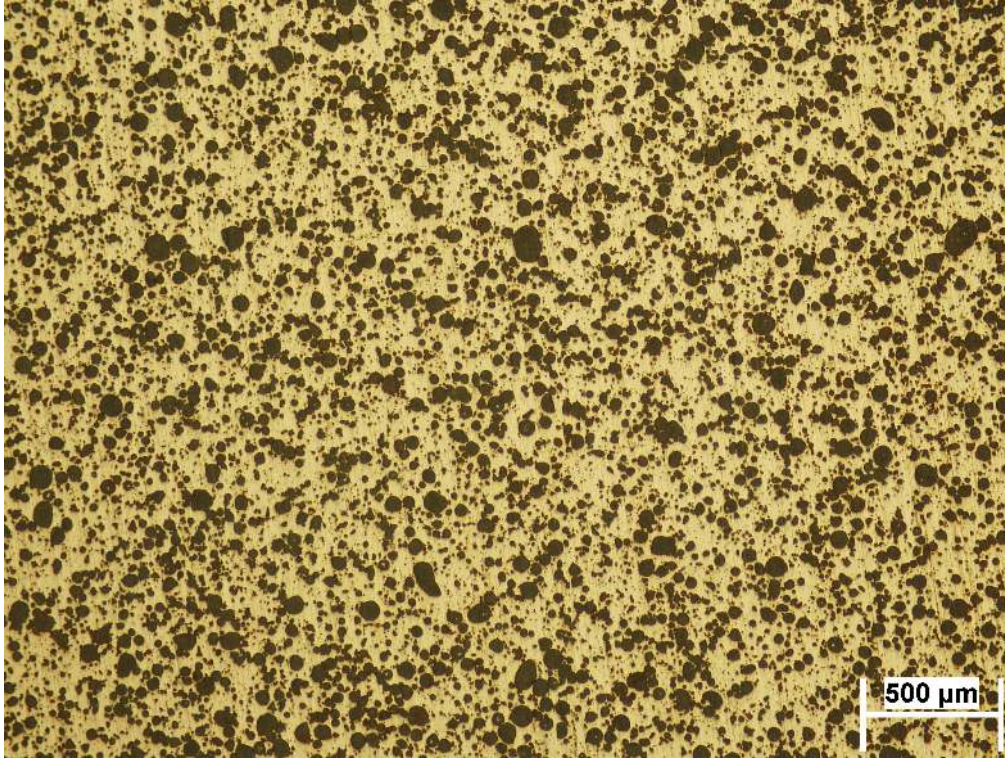


Resim 5.5. Al tozunun 500x büyütmede TEM ile çekilen fotoğrafı

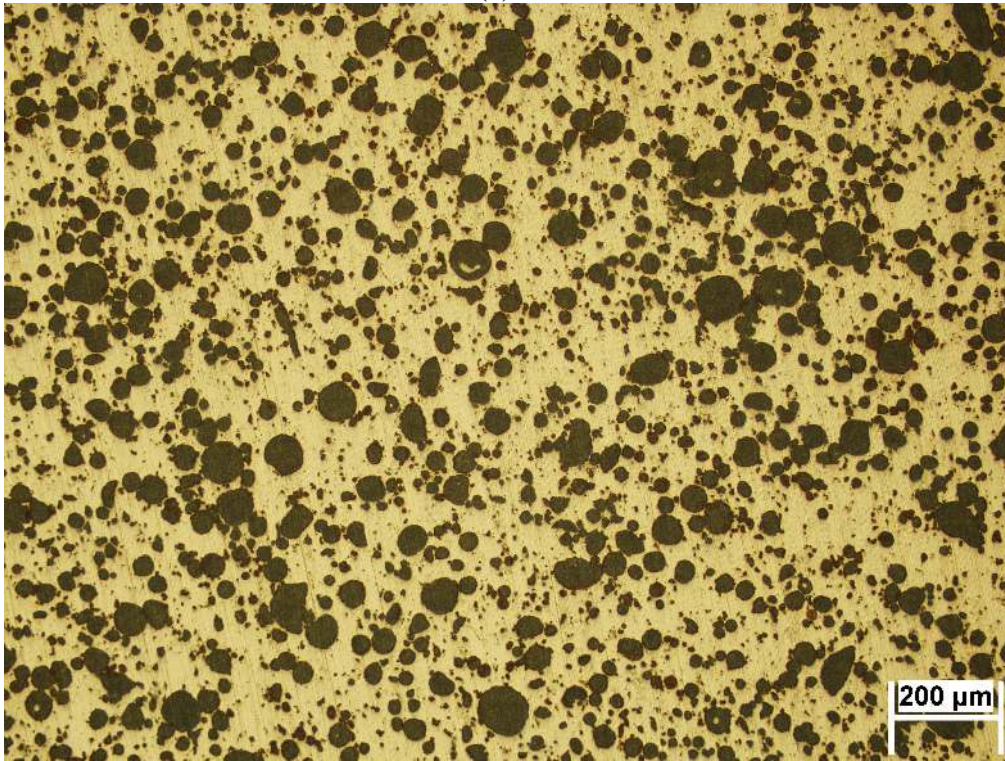
5.2. İç Yapı

TOBB ETÜ Malzeme Laboratuvarında bulunan Olympus-GX-42 model optik mikroskop ve bilgisayar düzeneği ile çekilen iç yapı fotoğrafları Resim 5.6, 5.7 ve 5.8’de verilmiştir. Bu resimlerden Al_2O_3 tozların kompozit içerisinde düzgün bir şekilde yayıldığı ve gözenekliliğin olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni ise üretim yöntemi olarak sıvı faz sinterlemesinin kullanılmasıdır. Gözenekler TM yöntemi ile üretilmiş malzeme içerisindeki boşluklardır ve bu boşluklar malzemenin darbe dayanımını düşürür. Sıvı faz sinterleme esnasında Al tozu eriyerek diğer tozları ıslatır ve bu şekilde tozların yerleşmesini ve gözenekliliğin, yani sinterlenen tozların arasındaki boşlukların, eriyik ile dolmasını sağlar. Sıvı faz sinterleme yöntemi ile üretilen malzemeler katı hal sinterleme ile üretilen malzemelere bu yönüyle bir üstünlük sağlamaktadır [77].

Öte yandan Resim 5.7 ve 5.8’de tane sınırları net bir şekilde görülmektedir. Tane boyutlarının yaklaşık olarak 5-25 μm boyut aralığında olduğu ve tane şekillerinin genellikle yuvarlağa yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca bu kompozitin tane sınırlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan Keller dağılayıcısının iyi sonuç verdiği görülmektedir.

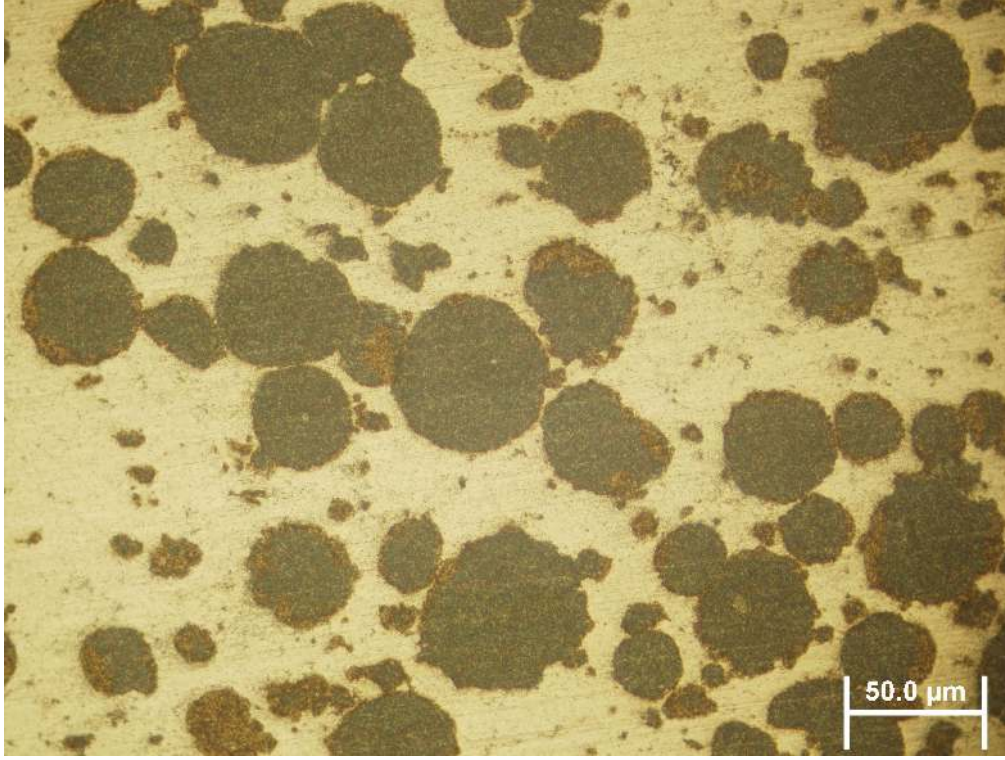


(a)

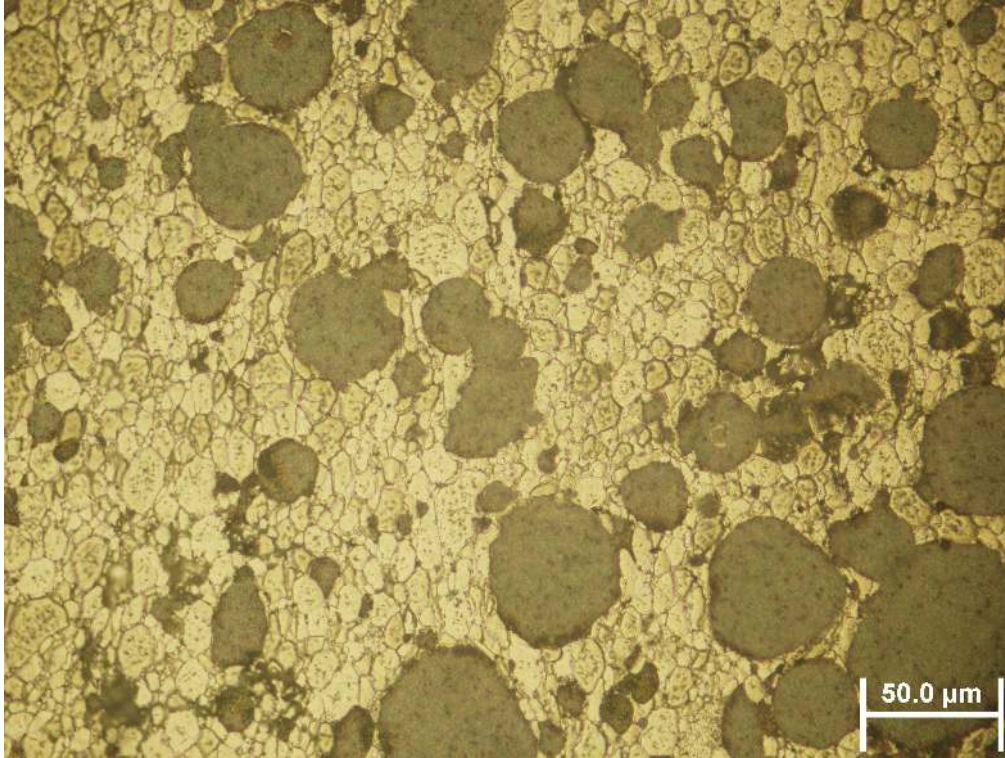


(b)

Resim 5.6. Kompozitin iç yapısı (a) Dağlanmamış 50x (b) Dağlanmamış 100x

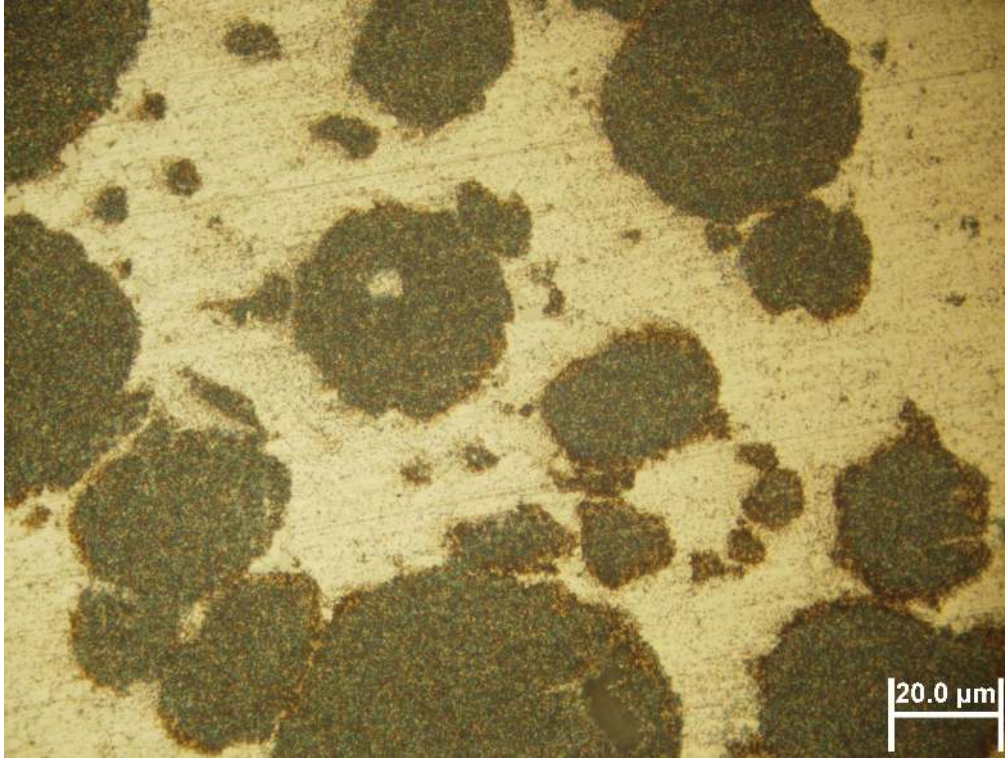


(a)

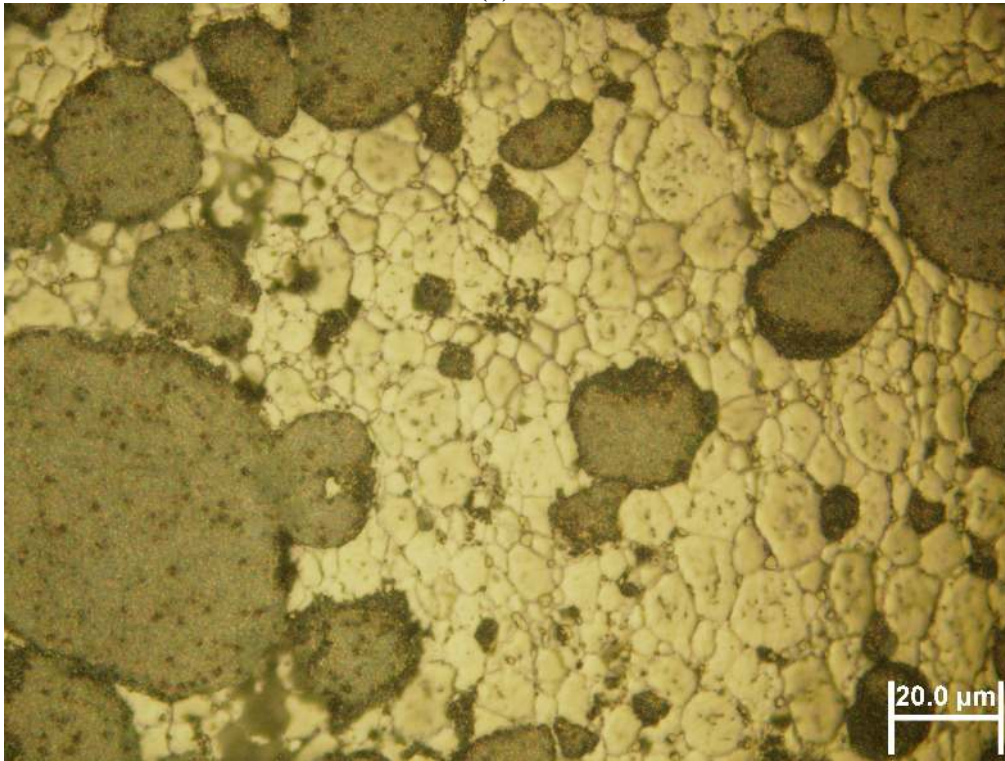


(b)

Resim 5.7. Kompozitin iç yapısı (a) Dağlanmamış 500x (b) Dağlanmış 500x



(a)



(b)

Resim 5.8. Kompozitin iç yapısı (a) Dağlanmamış 1000x (b) Dağlanmış 1000x

5.3. Mekanik Özellikler

Üretilen kompozite öncelikle tavlama ısı işlemi uygulanmış daha sonra da mekanik özellikleri belirlenmiştir. Mekanik özellik olarak makro sertlik ve üç nokta eğme dayanımı ölçülmüştür.

5.3.1. Makro sertlik

Numunelerin sertlik değerleri, ortalamaları ve standart sapma değeri Çizelge 5.2.'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 40 adet numunenin sertlik değeri 2,4 HB standart sapma değeri ile $75,8 \pm 5$ HB çıkmıştır. Malzeme, tavlama ısı işlemine tabi tutulduğundan dolayı düşük sertlik değerine sahiptir. Ortalama sertlik değeri 75,8 HB çıkmıştır. Kompozitte kullanılan anayapıya yakın bileşime sahip 7075 alüminyum alaşımının tavlama sonrası sertliği 60 HB'dir [78]. Üretilen kompozitin aynı ısı işlemi ile 75,8 HB ortalama sertlik değerine ulaşmış olmasının nedeni ise içerisinde hacimce %15 oranında Al_2O_3 seramik parçacık takviyesi bulunmasıdır. Malzemenin sertliğinin düşük olması kolay işlenebilir olmasını sağlamaktadır.

Çizelge 5.2. Makro sertlik ölçüm sonuçları

NO	ÖLÇÜM 1	ÖLÇÜM 2	ÖLÇÜM 3	ORTALAMA
1	73,2	70	70,9	71,4
2	71,3	71,3	72	71,5
3	71,6	74,1	69,7	71,8
4	73,3	72,4	71,8	72,5
5	73,3	72	72,5	72,6
6	72,6	72,6	72,7	72,6
7	73,1	71,4	73,8	72,8
8	74,1	72,6	72,4	73,0
9	72,9	72,2	74,1	73,1
10	74,7	72,6	74,8	74,0
11	78,1	73,4	72,9	74,8
12	74,2	71,7	78,6	74,8
13	76,3	76,3	72,3	75,0

Çizelge 5.2. (Devam) Makro sertlik ölçüm sonuçları

NO	ÖLÇÜM 1	ÖLÇÜM 2	ÖLÇÜM 3	ORTALAMA
14	75	75	75	75,0
15	75,4	74,9	74,8	75,0
16	74,5	73,9	77	75,1
17	76,4	74,5	74,5	75,1
18	76,3	74,9	74,3	75,2
19	74,1	73,8	77,7	75,2
20	73,7	76,1	76,1	75,3
21	75	75	76,3	75,4
22	77	75,7	74,5	75,7
23	74	79	75,3	76,1
24	77,4	75,9	75	76,1
25	77,6	78,1	73,2	76,3
26	77,2	77	76,1	76,8
27	76,7	76,7	78,6	77,3
28	74,3	79,5	78,7	77,5
29	78,2	78,2	76,1	77,5
30	77,5	78,1	78,7	78,1
31	78,1	78,1	78,9	78,4
32	78,2	78,9	78	78,4
33	78,5	78,3	78,3	78,4
34	77,7	78,6	79,5	78,6
35	79,3	78,8	77,8	78,6
36	78,8	78,8	78,5	78,7
37	79,5	76,7	80,7	79,0
38	80,3	78,5	78,9	79,2
39	79,4	80,6	78,4	79,5
40	77,6	79,3	82,1	79,7
GENEL ORTALAMA				75,8
STANDART SAPMA				2,4

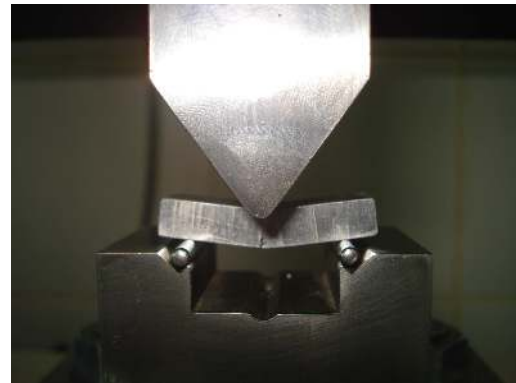
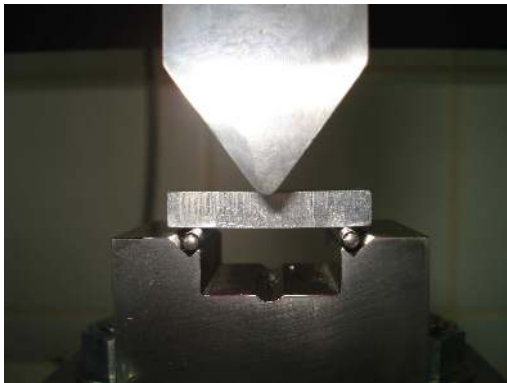
5.3.2. Eğme dayanımı

Eğme dayanımı değerleri ve test numunelerinin boyutları Çizelge 5.3.'de verilmiştir. Üç nokta eğme dayanımı deneyinde kullanılacak olan test numuneleri frezede

işlendiği için kalınlık ve genişlik değerleri farklılık göstermektedir. Üç nokta eğme deneyi sonrasında elde edilen eğme dayanımı değeri ortalama 366 ± 20 MPa çıkmıştır. Kompozitte kullandığımız anayapıya yakın bileşime sahip 7075 alüminyum alaşımının tavlama sonrası çekme dayanımı değeri yaklaşık 210 MPa'dır [78]. Al_2O_3 takviyesi kompozitin hem sertliğini hem de dayanımını arttırmıştır. Ayrıca elde edilen eğme dayanımı St37 çeliğinin çekme dayanımına yakın bir değerdir. En düşük sertliğe sahip olduğu durumda bu eğme dayanımına sahip olması malzemenin yüksek özgül dayanım değerine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle çelikle karşılaştırıldığında yaklaşık üçte bir ağırlığa sahip bir malzemenin çelik kadar yüksek bir mukavemet değerine sahip olması üretilen kompozitin uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.3. Üç nokta eğme deneyi ile elde edilen mukavemet değerleri

No.	Destek Arası Mesafe (L) (mm)	Kalınlık (t) (mm)	Genişlik (w) (mm)	Kırılma Kuvveti (P) (N)	Eğme Dayanımı σ (MPa)
1	25,40	6,34	12,70	5 028,00	375
2		6,33	12,30	4 713,50	364
3		6,32	12,77	5 140,00	384
4		5,95	12,84	4 174,50	350
5		6,11	12,70	4 602,00	370
6		6,39	12,56	4 745,50	353
ORTALAMA					366

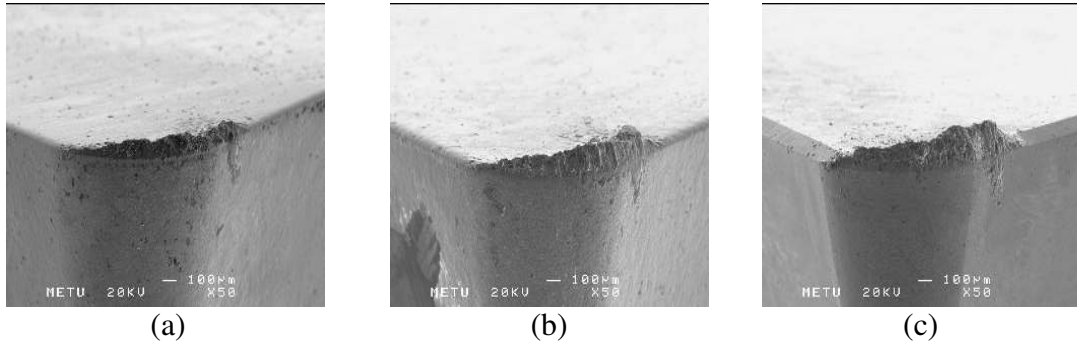


Resim 5.9. Eğme dayanımı testi

5.4. Kompozitlerin Frezelenmesi

5.4.1. Kesme kuvvetleri

Dinamometrede farklı kesme hızları ve ilerleme hızlarına göre üç farklı kesici takım için ölçülen F_x ilerleme kesme kuvveti, F_y radyal kuvvet ve F_z eksenel kuvvetin üç boyutlu grafikleri çizilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Frezeleme işlemlerinde kullanılan kesici takımların 50x büyütmede taramalı elektron mikroskopunda çekilmiş fotoğrafları Resim 5.10'da verilmiştir. Resim 5.10'dan görüldüğü üzere kaplamasız WC ve TiN kaplamalı WC kesici takımların kesme kenarları yuvarlatılmış, TiCN kaplamalı Al_2O_3 takımında ise kesme kenarına pah kırılmıştır. Bunun nedeni seramik takımın daha sert ve işlemesi zor parçaların işlenmesinde kullanılmasıdır. Ağır kesme şartlarında kullanıldığından dolayı kesici takımın darbe dayanımını arttırmak için kesme kenarına pah kırılmıştır



Resim 5.10. Kesici takımların 50x büyütmede TEM ile çekilmiş fotoğrafları
(a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al_2O_3

F_x ilerleme kesme kuvveti

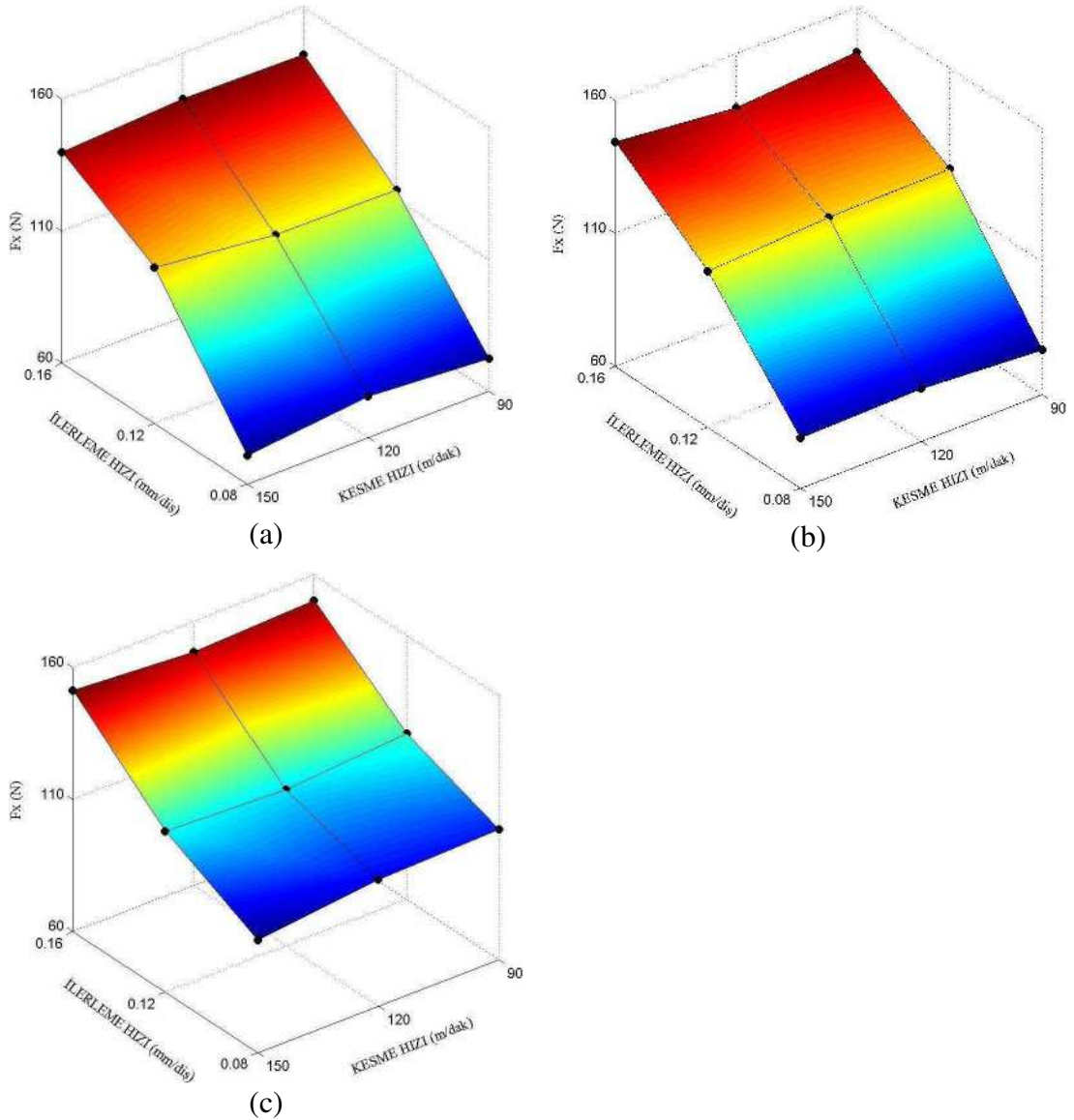
Kaplamasız WC'de (Takım A) F_x kuvveti 3 ilerleme hızında da kesme hızına bağlı olarak çok fazla değişim göstermemektedir. Sabit ilerleme hızında kesme hızı arttıkça F_x kuvvetinde çok az bir miktar artış ve azalışlar gözlenmiştir. Üç kesme hızında da ilerleme hızı arttıkça F_x kuvvetinin de arttığı görülmektedir. En düşük F_x kuvveti 150 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 70,8 N olarak,

en yüksek F_x kuvveti ise 120 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 142,58 N olarak ölçülmüştür.

TiN kaplamalı WC'de (Takım B) F_x kuvveti 3 ilerleme hızında da kesme hızına bağlı olarak çok fazla değişim göstermemektedir. Sabit ilerleme hızında kesme hızı arttıkça F_x kuvvetinde çok az bir miktar artış veya azalışlar gözlenmiştir. Üç kesme hızında da ilerleme hızı arttıkça F_x kuvvetinin de arttığı görülmektedir. En düşük F_x kuvveti 90 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 76,9 N olarak, en yüksek F_x kuvveti ise 150 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 144,53 N olarak ölçülmüştür.

TiCN kaplamalı Al_2O_3 'de (Takım C) F_x kuvveti 3 ilerleme hızında da kesme hızına bağlı olarak çok fazla değişim göstermemektedir. 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde F_x kuvvetinde hız artışına bağlı olarak az bir miktar azalma, 0,12 mm/diş ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerlerinde ise çok az bir miktar artış ve azalışlar gözlenmiştir. Üç kesme hızında da ilerleme hızı arttıkça F_x kuvvetinin de arttığı görülmektedir. En düşük F_x kuvveti 150 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 102,54 N olarak, en yüksek F_x kuvveti ise 150 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 151,37 N olarak ölçülmüştür.

Aynı ilerleme hızı değerlerinde kesme hızlarına bağlı kuvvet değişim grafiklerinde genel olarak 3 uçta da kesme hızına bağlı olarak F_x kuvvetindeki değişimler çok az olmaktadır. Aynı kesme hızı değerlerinde ise ilerleme hızının artmasına bağlı olarak 3 uçta da F_x kuvvetinin arttığı görülmektedir. Üç uç arasında ise genellikle Takım C'nin en yüksek, Takım A'nın ise en düşük kesme kuvveti değerlerini verdiği görülmektedir. Bütün işlemlerde en düşük F_x kuvveti Takım A ile 150 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızında 70,8 N değerinde, en yüksek F_x kuvveti ise Takım C ile 150 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızında 151,37 N değerinde elde edilmiştir. Dolayısı ile F_x kuvvetini etkileyen en önemli değişkenin ilerleme hızı olduğu görülmüştür. Takımlar arasında ise en düşük F_x kuvveti değerleri Takım A, en yüksek F_x kuvveti değerleri ise Takım C ile elde edilmiştir.



Şekil 5.2. F_x kuvvetinin ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak değişimi
 (a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al_2O_3

Formül 4.4'den F_x kesme kuvvetine etkiyen değişkenlerin kesme derinliği, ortalama talaş kalınlığı ve özgül kesme kuvveti olduğu görülmektedir. Özgül kesme kuvveti kesici takım ve iş parçası mekanik ve fiziksel özelliklerine bağlı bir değişkendir. Bu işlemlerde kesme derinliği sabit olduğundan dolayı, F_x kuvvetine etkiyen en önemli değişkenin ortalama talaş kalınlığı olduğu görülmektedir. Formül 4.3'den ilerleme hızı değeri haricindeki tüm değişkenlerin sabit olmasından dolayı ortalama talaş kalınlığı değerine etkiyen en önemli değişkenin ilerleme hızı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ile F_x kesme kuvvetine de asıl etkiyen değişkenin ilerleme hızı olduğu,

kesme hızının ise doğrudan bir etkisi olmadığı görülmektedir. Kesme hızının artması ile meydana gelen küçük kuvvet farklılıklarının bir nedeni, kesme hızının artması ile iş parçası kesici takım arasındaki sürtünme miktarı artmasına bağlı olarak kesme sıcaklığının artması ve iş parçasının yumuşayarak daha kolay işlenebilmesi, bir diğer nedeni de hız artışına bağlı olarak değişen titreşimlerdir. Çizelge 5.4’de ortalama talaş kalınlığı ve ilerleme kesme kuvvetine bağlı olarak özgül kesme kuvvetinin değişimi verilmiştir.

Çizelge 5.4. Özgül kesme kuvvetinin ilerleme kesme kuvveti ve ortalama talaş kalınlığına bağlı olarak değişimi

	V_c (m/dak)	f_z (mm/diş)	h_m (mm)	F_x (N)	k_c (N/mm ²)	Ortalama k_c (N/mm ²)
TAKIM A	90	0,08	0,0784	72,31	922,87	938,84
	90	0,12	0,1175	113,4	964,44	
	90	0,16	0,1567	142	905,83	
	120	0,08	0,0784	75,68	965,88	
	120	0,12	0,1175	114	969,97	
	120	0,16	0,1567	142,6	909,85	
	150	0,08	0,0784	70,8	903,60	
	150	0,12	0,1175	119,1	1.013,70	
	150	0,16	0,1567	140	893,39	
TAKIM B	90	0,08	0,0784	76,9	981,45	979,23
	90	0,12	0,1175	122	1.038,03	
	90	0,16	0,1567	143,1	913,36	
	120	0,08	0,0784	79,93	1.020,12	
	120	0,12	0,1175	121,3	1.031,74	
	120	0,16	0,1567	139,6	890,65	
	150	0,08	0,0784	78,85	1.006,34	
	150	0,12	0,1175	118,6	1.009,10	
	150	0,16	0,1567	144,5	922,30	
TAKIM C	90	0,08	0,0784	109,4	1.396,24	1.115,70
	90	0,12	0,1175	122,9	1.045,69	
	90	0,16	0,1567	150,3	958,80	
	120	0,08	0,0784	107,9	1.376,59	
	120	0,12	0,1175	119,2	1.014,38	
	120	0,16	0,1567	148,4	946,67	
	150	0,08	0,0784	102,5	1.308,69	
	150	0,12	0,1175	120,9	1.028,33	
	150	0,16	0,1567	151,4	965,95	

Çizelge 5.4’de özgül kesme kuvveti değerlerinin kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak değişmesinin nedeni hem kesme sıcaklığının hem de yığma kenar miktarının değişiklik göstermesinden dolayıdır. Sıcaklığın değişimi ile birlikte hem iş parçası hem de kesici takım malzemesinin mekanik özellikleri değişmekte, yığma kenar oluşumu ile de kesici takımın talaş açısının bir miktar değişmekte ve bu şekilde kesme kuvvetine etkide bulunmaktadır. Takım A, Takım B ve Takım C’den daha düşük ortalama özgül kesme kuvveti değerlerine sahiptir. Dolayısıyla Takım A ile aynı şartlar altında daha düşük kesme kuvveti elde edilmektedir.

F_x ilerleme kesme kuvvetinin Takım C’de diğerlerine göre daha fazla olmasının nedeni kesici kenarın pahlı olmasıdır. Resim 5.10’da görüldüğü üzere Takım A ve Takım B’nin kesici kenarları yuvarlatılmışken Takım C’nin kesici kenarına pah kırılmıştır. Takım C daha ağır kesme şartlarında kullanılmak üzere tasarlanmış bir kesici takım olduğundan, darbe dayanımının artırılması amacıyla kesici kenara pah kırılmıştır. Bu nedenden dolayı Takım C’nin iş parçasına temas eden yüzey alanı artmakta ve bu şekilde daha fazla kesme kuvvetine neden olmaktadır.

F_y radyal kuvvet

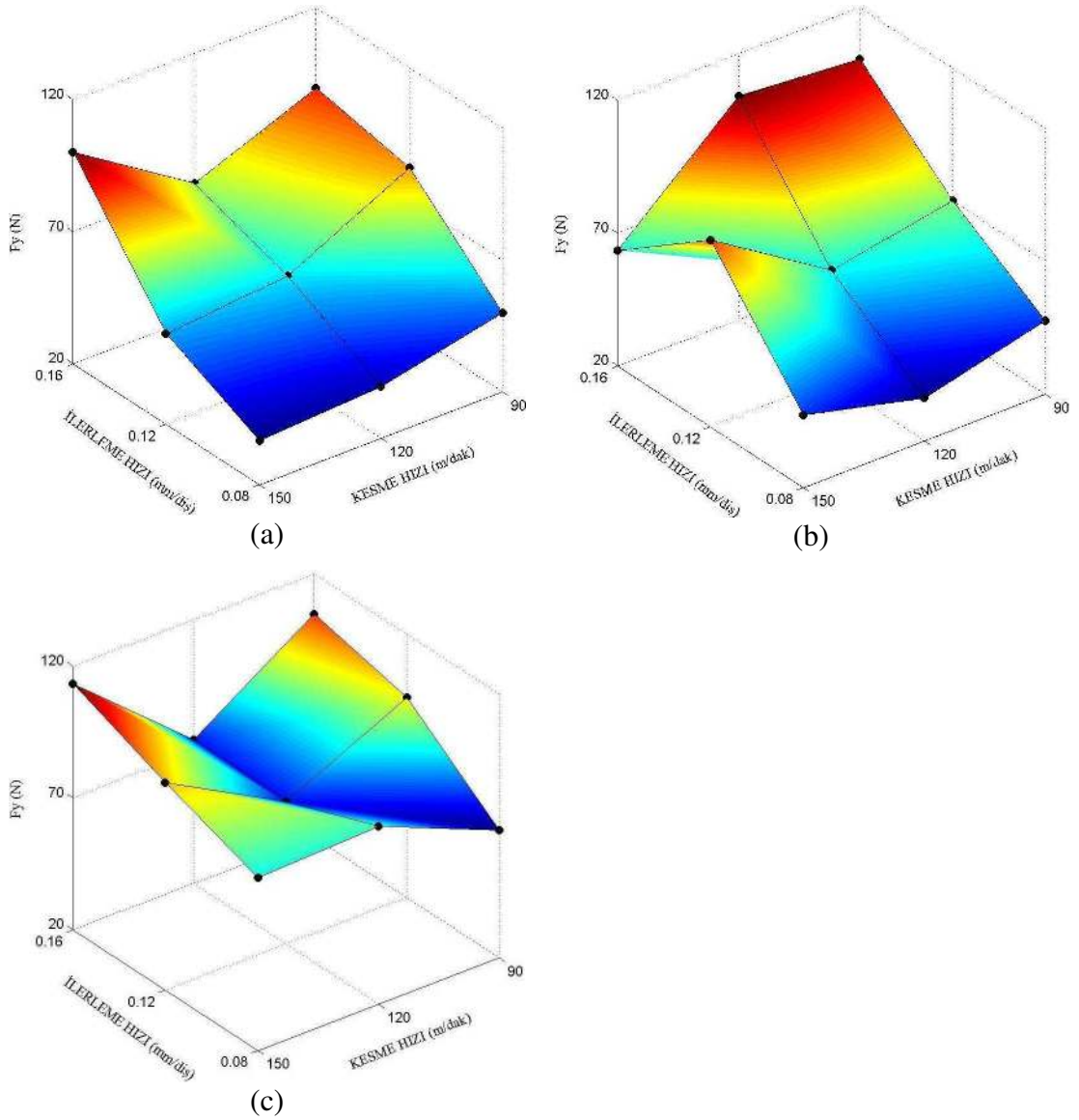
Takım A’da F_y kuvveti 0,08 mm/diş ve 0,12 mm/diş ilerleme hızında kesme hızı artışına bağlı olarak azalmıştır. Ancak 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde en düşük değer 120 m/dak, en yüksek değer ise 150 m/dak kesme hızında elde etmiştir. Üç kesme hızında da ilerleme hızı arttıkça F_y kuvvetinin arttığı görülmektedir. En düşük F_y kuvveti 150 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 36,62 N olarak, en yüksek F_y kuvveti ise 150 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 100,1 N olarak ölçülmüştür.

Takım B’de F_y kuvvetinin 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 120 m/dak kesme hızında en düşük değerini, 90 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarında ise aynı değeri aldığı, 0,12 mm/diş ilerleme hızı değerinde en düşük değeri 120 m/dak en yüksek değeri ise 150 m/dak kesme hızında aldığı, 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde en yüksek değeri 120 m/dak en düşük değeri ise 150 m/dak kesme hızında aldığı

görülmektedir. Kesme hızı 90 m/dak ve 120 m/dak olduğu durumda ilerleme hızının artmasıyla F_y kuvvetinin arttığı, 150 m/dak kesme hızında ise en yüksek değere 0,12 mm/diş, en düşük değer ise 0,08 mm/diş ilerleme hızında ulaşıldığı görülmektedir. En düşük F_y kuvveti 120 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 36,21 N olarak, en yüksek F_y kuvveti ise 120 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 104,17 N olarak ölçülmüştür.

Takım C'de F_y kuvvetinin 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde en düşük değeri 90 m/dak kesme hızında ölçülmüş, 120 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarında ise neredeyse aynı değerde çıkmıştır. 0,12 mm/diş ilerleme hızında en düşük değeri 120 m/dak, en yüksek değeri ise 150 m/dak kesme hızında ölçülmüştür. 0,16 mm/diş ilerleme hızında yine en düşük değeri 120 m/dak kesme hızında, en yüksek değeri ise 150 m/dak kesme hızında ölçülmüştür. Kesme hızı 90 m/dak olduğu zaman F_y kuvvetinin ilerleme hızına bağlı olarak arttığı, 120 m/dak olduğu zaman 0,08 mm/diş ilerleme hızında en yüksek değere ulaştığı 0,12 mm/diş ve 0,16 mm/diş oranında ise neredeyse aynı olduğu, 150 m/dak olduğu zaman ise ilerleme hızına bağlı olarak arttığı görülmektedir. En düşük F_y kuvveti 90 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 68,36 N olarak, en yüksek F_y kuvveti 150 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 113,25 N olarak ölçülmüştür.

Üç kesici takımı bir arada değerlendirecek olursak, F_y kuvvetinin neredeyse her işlemde farklı bir sonuç verdiği görülmektedir. Ancak 3 ucun tüm değerlerini sıralamaya koyduğumuzda F_y kuvvetinin F_x kuvvetinde olduğu gibi ilerleme hızının artmasıyla bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Bütün işlemlerde en düşük F_y kuvveti Takım B ile 120 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızında 36,21 N değerinde, en yüksek F_y kuvveti ise Takım C ile 150 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızında 113,25 N değerinde elde edilmiştir. Takımlar arasında ise en düşük F_y kuvveti değerleri Takım B, en yüksek F_y kuvveti değerleri ise Takım C ile elde edilmiştir.



Şekil 5.3. F_y kuvvetinin ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak değişimi
 (a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al_2O_3

F_y kuvveti malzeme yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kesme işlemi sırasında malzemenin yumuşak veya sert bölgesine gelme durumuna göre farklı değerler elde edilebilmektedir. Özellikle Takım B ile 0,16 mm/diş ilerleme hızı ve 150 m/dak kesme hızında elde edilen düşük sertlik değerinin nedeni işleme sırasında daha az yoğunlukta seramik parçacık içeren bölümde işleme yapılmasından kaynaklanmaktadır. Takım C’de elde edilen F_y kuvveti değerlerinin diğer takımlardan daha fazla olmasının nedeni ise kesme kenarının pahlı olmasıdır.

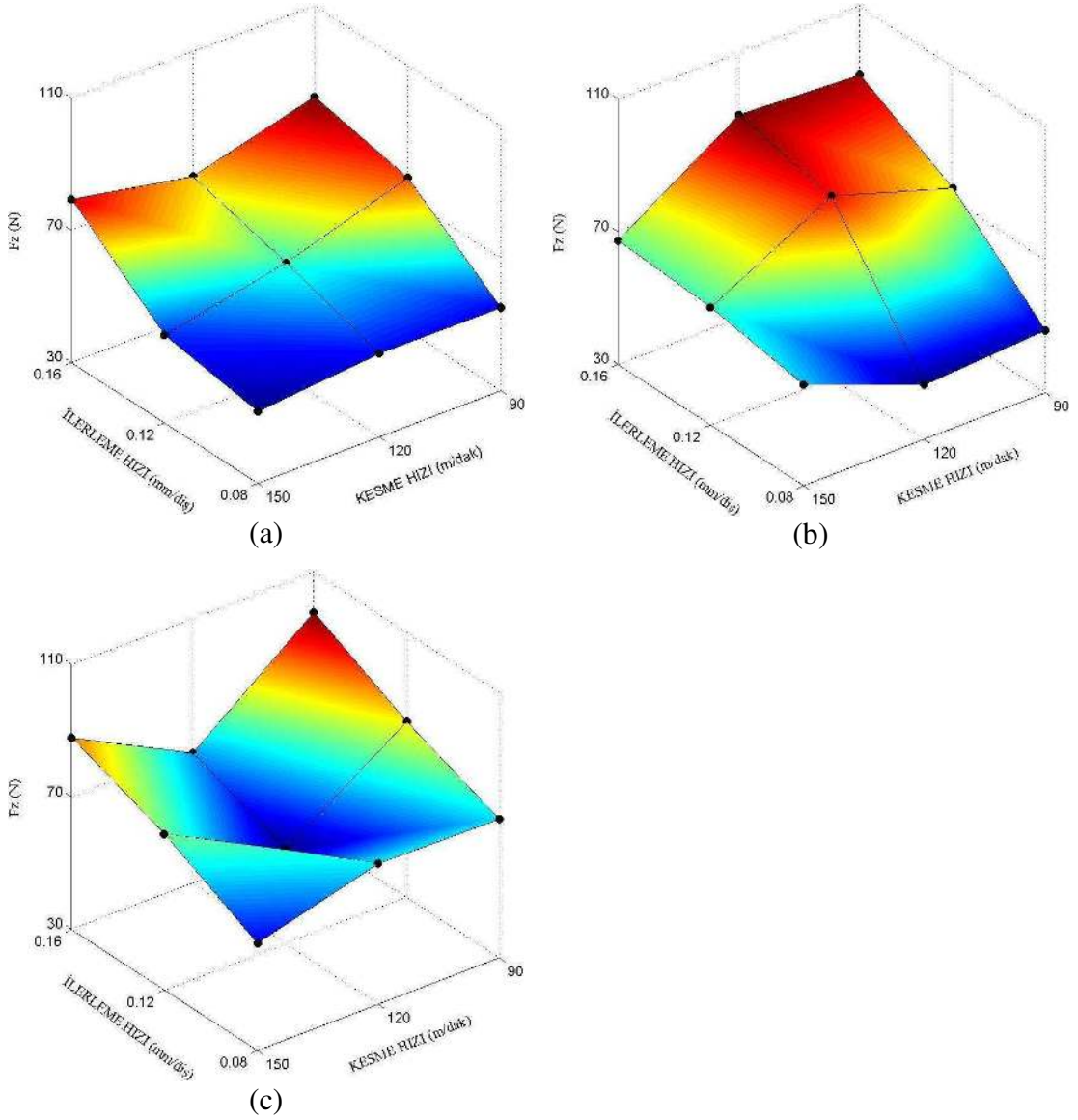
F_z eksenel kuvvet

Takım A'da F_z kuvvetinin 0,08 mm/diş ilerleme hızında 90 m/dak ve 120 m/dak kesme hızında yaklaşık olarak aynı değeri, 150 m/dak kesme hızında ise en düşük değeri aldığı, 0,12 mm/diş ilerleme hızında kesme hızına bağlı olarak azaldığı, 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde en düşük değeri 120 m/dak en yüksek değeri ise 90 m/dak kesme hızında aldığı görülmektedir. Üç kesme hızında da ilerleme hızı arttıkça F_z kuvvetin de arttığı görülmektedir. En düşük F_z kuvveti 150 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 51,76 N olarak, en yüksek F_z kuvveti ise 90 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş değerinde 82,31 N olarak ölçülmüştür.

Takım B'de F_z kuvveti 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 90 m/dak ve 120 m/dak kesme hızlarında çok az bir miktar değişiklik gösterirken en yüksek değerini 150 m/dak kesme hızında aldığı, 0,12 mm/diş ilerleme hızında en yüksek değerini 120 m/dak, en düşük değerini ise 150 m/dak kesme hızında aldığı, 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde en düşük değerini 150 m/dak, en yüksek değerini ise 120 m/dak kesme hızında aldığı görülmektedir. F_z kuvvetinin 3 kesme hızı değerinde de ilerleme hızı değeri arttıkça arttığı görülmektedir. Bu artış miktarı 150 m/dak kesme hızı değerinde oldukça azdır. En düşük F_z kuvveti 120 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 46,39 N olarak, en yüksek F_z kuvveti ise 120 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 91,15 N olarak ölçülmüştür.

Takım C'de F_z kuvvetinin 0,08 mm/diş ilerleme hızında en düşük değeri 150 m/dak kesme hızında ölçülmüş, 90 m/dak ve 120 m/dak kesme hızlarında ise neredeyse aynı olduğu görülmektedir. İlerleme oranı 0,12 mm/diş iken en düşük F_z değeri 120 m/dak, en yüksek değeri ise 90 m/dak kesme hızında ölçülmüştür. İlerleme hızı 0,16 mm/diş iken en düşük F_z değeri 120 m/dak, en yüksek değeri ise 90 m/dak kesme hızında ölçülmüştür. Kesme hızı 90 m/dak iken F_z kuvvetinin ilerleme hızına bağlı olarak arttığı, 120 m/dak olduğu zaman en düşük değeri 0,12 mm/diş, en yüksek değeri 0,08 mm/diş ilerleme hızında aldığı, 150 m/dak olduğu zaman ilerleme hızına bağlı olarak arttığı görülmektedir. En düşük F_z kuvveti 120 m/dak kesme kuvveti ve

0,12 mm/diş ilerleme hızı değerinde 58,59 N olarak, en yüksek F_z kuvveti 90 m/dak kesme kuvveti ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 97,66 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.4. F_z kuvvetinin ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak değişimi
(a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al_2O_3

F_z kuvvetine ilerleme hızının ve kesme hızının etkisini tam olarak söylemek mümkün değildir. Çünkü ölçülen değerlerden bakılacak olursa bazı durumlarda 0,08 mm/diş ilerleme hızında elde edilen F_z kuvveti 0,16 mm/diş değerinde elde edilen değerden daha fazla olmaktadır. Ancak genel olarak ilerleme hızı diğer kuvvetlerde olduğu gibi F_z kuvvetinde de esas etkili değişkendir denilebilir. Bütün işlemlerde en düşük

F_z kuvveti 120 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızında 46,39 N değerinde, en yüksek F_z kuvveti ise 90 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızında 97,66 N değerinde elde edilmiştir. Takımlar arasında ise en düşük F_z kuvveti değerleri Takım B, en yüksek F_z kuvveti değerleri ise Takım C ile elde edilmiştir. F_z kuvveti iş parçasına dik olan kuvvettir. F_z kuvvetinin her üç takımda da ilerleme hızının artmasıyla artmasının nedeni ortalama talaş kalınlığının artmasıdır. Ortalama talaş kalınlığının artması ile uygulanan kesme kuvveti artmakta ve dolayısıyla da eksenel yönde etkiyen kuvvet de artmaktadır.

5.4.2. Yüzey pürüzlülüğü

Frezede işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülüğü ölçümü, bütün iş parçalarında 1 mm talaş derinliğinde ilk işleme yapıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Üç takım için de üç boyutlu grafikler çizilmiştir.

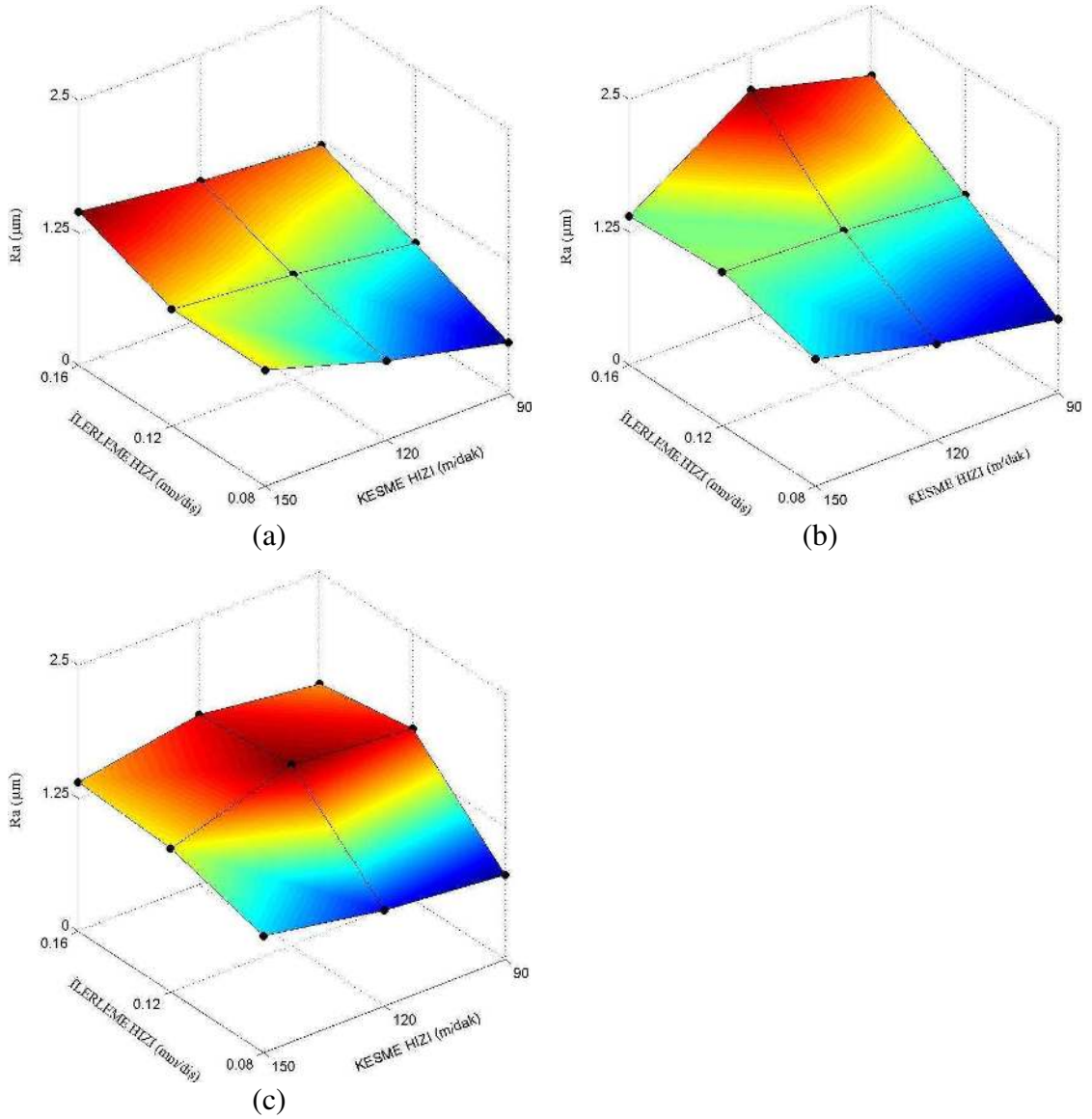
Takım A'da üç ilerleme hızında da kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. 90 m/dak ve 120 m/dak kesme hızlarında ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, 150 m/dak kesme hızında ise 0,08 mm/diş ve 0,12 mm/diş ilerleme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğü değeri aynı iken 0,16 mm/diş değerinde yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 90 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 0,48 μm olarak, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri ise 150 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 1,45 μm olarak ölçülmüştür.

Takım B'de 0,08 mm/diş ve 0,12 mm/diş ilerleme hızı değerlerinde kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde ise en yüksek değere 120 m/dak en düşük değere ise 150 m/dak kesme hızında ulaştığı görülmektedir. 90 m/dak ve 120 m/dak kesme hızlarında ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, 150 m/dak kesme hızında ise en yüksek değere 0,12 mm/diş ilerleme hızı değerinde, en düşük değere ise 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde ulaşıldığı görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 90 m/dak

kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 0,7 μm olarak, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri ise 120 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 2,15 μm olarak ölçülmüştür.

Takım C’de 0,08 mm/diş ilerleme hızında kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün de arttığı, 0,12 mm/diş ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerlerinde ise en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerinin 120 m/dak, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin ise 150 m/dak kesme hızında elde edildiği görülmektedir. 90 m/dak ve 120 m/dak kesme hızında en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 0,12 mm/diş, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ise 0,08 mm/diş ilerleme hızında elde edilmiştir. 150 m/dak kesme hızında ise ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 90 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 0,8 μm olarak, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri ise 120 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/diş ilerleme hızı değerinde 1,7 μm olarak ölçülmüştür.

Takım A’da bütün ilerleme hızı değerlerinde kesme hızının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü doğrusal bir artış göstermiş, Takım B’de 0,08 mm/diş ve 0,12 mm/diş ilerleme hızı değerlerinde yüzey pürüzlülüğü kesme hızına bağlı olarak doğrusal bir artış göstermiş, Takım C ise sadece 0,08 mm/diş ilerleme hızında kesme hızının artışına bağlı olarak doğrusal bir artış göstermiştir. İlerleme oranı 0,16 mm/diş ve kesme hızı 150 m/dak olduğunda 3 takımda da birbirine çok yakın yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilmiştir. Üç ilerleme hızı değerinde de en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri 90 m/dak kesme hızında Takım A’da elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri Takım A ile 90 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerlerinde 0,48 μm olarak, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri ise Takım B ile 120 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerlerinde 2,15 μm olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak yüzey pürüzlülüğüne hem ilerleme hızının hem de kesme hızının etkisi olduğu, ancak ilerleme hızının daha etkin bir değişken olduğunu söyleyebiliriz. Bütün işlemlerin sonucuna göre en iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri Takım A ile, en kötü yüzey pürüzlülüğü değerleri ise Takım B ile elde edilmiştir.



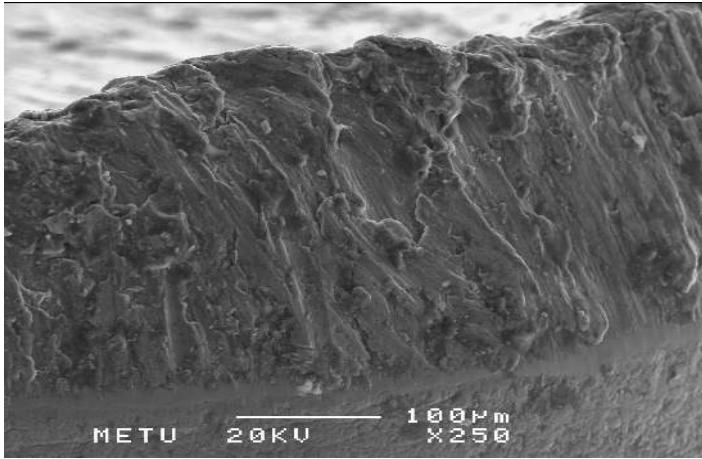
Şekil 5.5. Ra değerinin ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak değişimi
 (a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al₂O₃

Yüzey pürüzlülüğü bütün kesici takımlarda ilerleme hızı ve kesme hızının artması ile birlikte artmaktadır. İlerleme hızının artması ile birlikte artmasının nedeni, kesici kenar üzerine biriken yığılma kenarın işleme sırasında kesici kenar üzerinden koparak uzaklaşırken yüzeye çarparak hasar oluşturmaktır. Ayrıca ilerleme hızının artması ile birlikte ortalama talaş kalınlığının artmakta, iş parçasının yumuşak bir malzeme olmasından dolayı da talaş yüzeyden yırtılarak çıkmakta ve yüzeyde daha fazla hasar oluşturmaktadır. Kesme hızının artması ile kesici kenar ve iş parçası arasında oluşan kesme sıcaklığı artmakta ve iş parçasını yumuşatmaktadır. Bu yumuşama sonrası

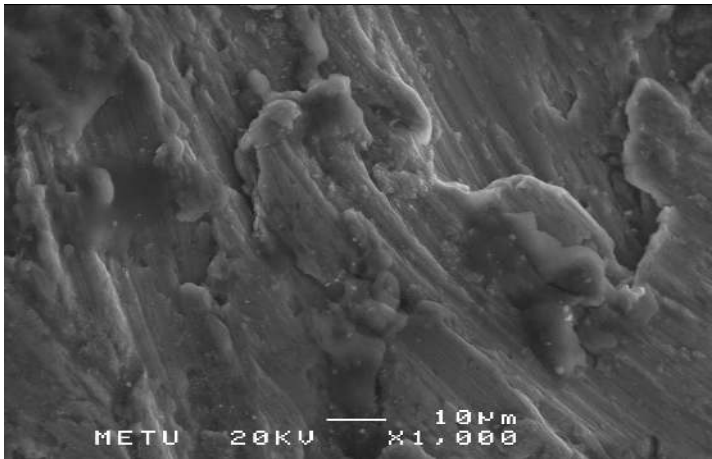
malzemeden çıkartılan talaş yüzeyden yırtılarak çıkmakta ve yüzey üzerinde hasar oluşturmaktadır.

5.4.3. Yığma kenar yüksekliği

Freze işlemlerinde kullanılan kesici takımların ODTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Taramalı Elektron Mikroskobu Laboratuvarında fotoğrafları çekilmiştir. Yığma kenar yapısının daha net bir şekilde görülebilmesi için Resim 5.11’de 250x ve 5.12’de 1000x büyütmede çekilmiş fotoğraflar verilmiştir. Bütün kesici takımlarda oluşan en yüksek ve en düşük yığma kenar yüksekliklerinin resimleri Resim 5.13’de verilmiştir. Daha sonra ise fotoğraflardan elde edilen değerlerin her üç takım için de üç boyutlu grafikleri çizilmiştir.



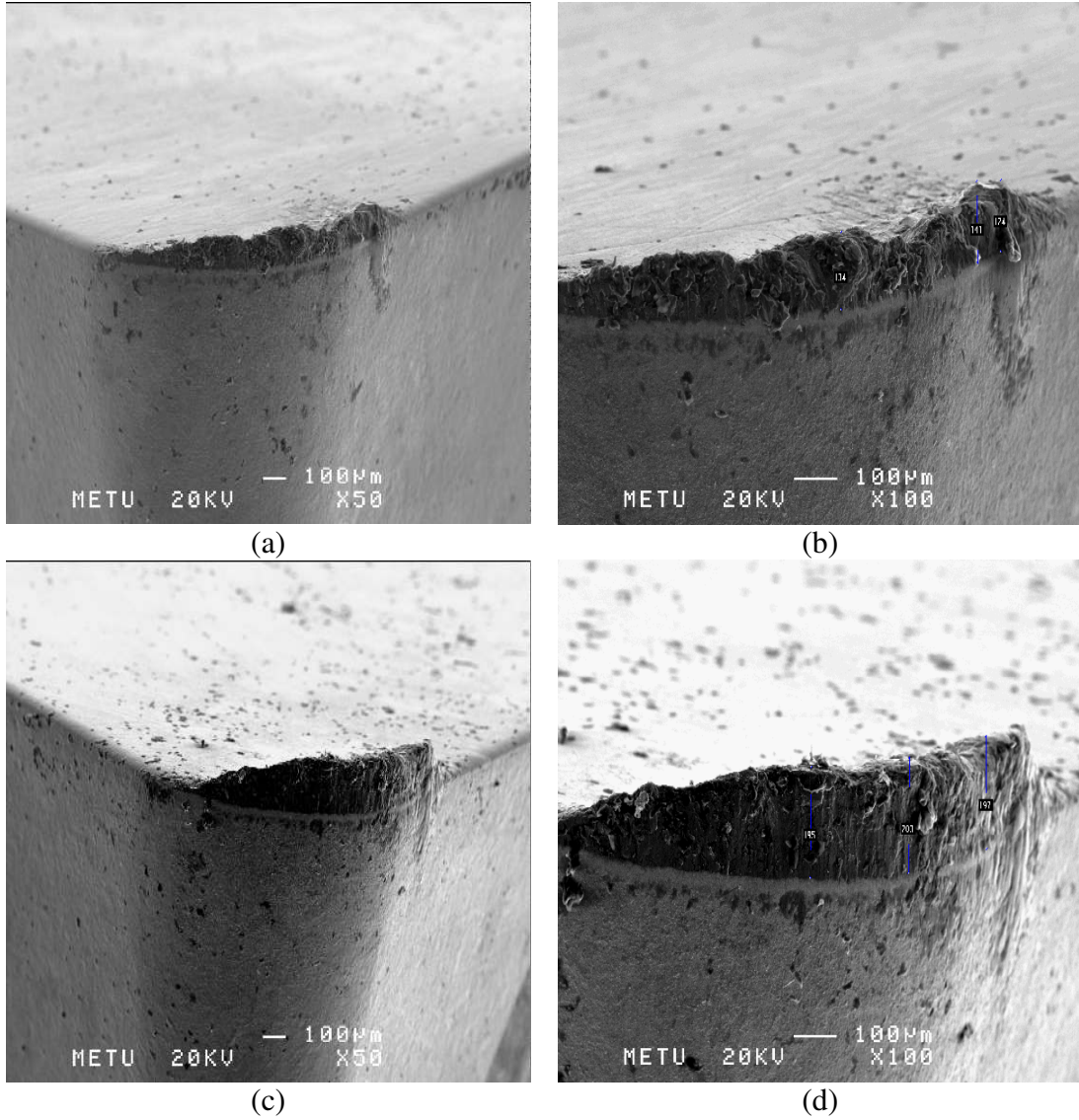
Resim 5.11. Yığma kenarın 250x büyütmedeki görüntüsü



Resim 5.12. Yığma kenarın 1000x büyütmedeki görüntüsü

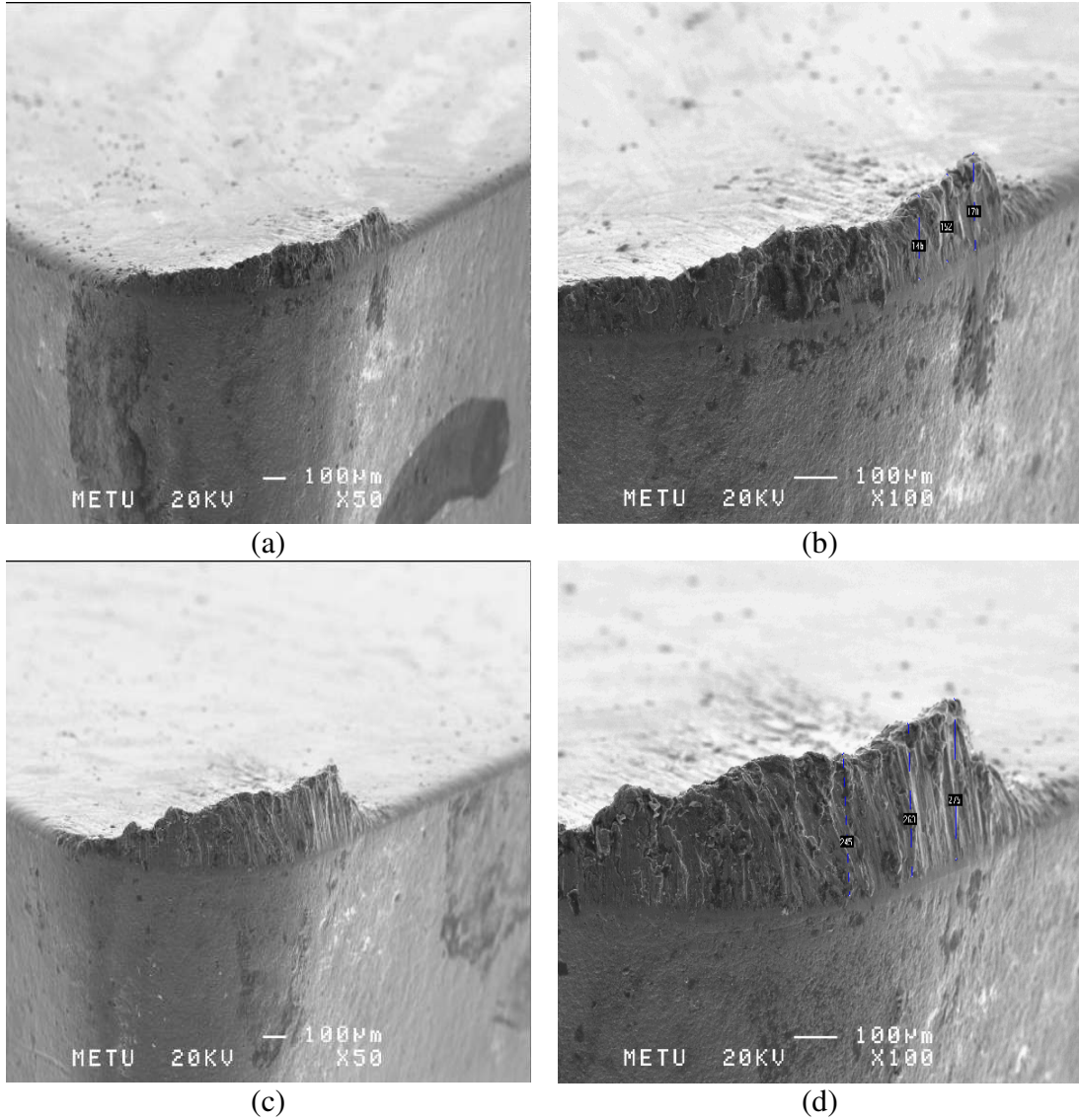
Resim 5.11 ve 5.12’den yığma kenar yapısı net bir şekilde görülmektedir. İşleme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklardan dolayı iş parçası erimekte ve kesici kenara üzerine yapışmaktadır. Yığma kenar oluşumunu etkileyen değişkenler işleme sırasında oluşan sıcaklık, iş parçası ve kesici takım malzemesidir. İş parçası malzemesinin alüminyum gibi erime sıcaklığı düşük bir malzeme olması durumunda yüksek miktarda yığma kenar oluşumu gözlenmektedir. Yığma kenar işleme sırasında kesici kenar üzerinde bir noktaya kadar birikip kopar. Birikme miktarı kesme sıcaklığı ve işleme sırasında oluşan darbelere bağlı olarak değişir. Sıcaklığın yüksek olması durumunda kesici kenar üzerinde biriken yığma kenar yumuşar ve kolay bir şekilde uzaklaştırılır. Ancak, sıcaklığın düşük olması durumunda kenar üzerinde biriken alüminyum alaşım gerinim sertleşmesine maruz kalır. Bunun sonucu olarak çok sert bir tabaka kesici kenar üzerine yapışmış olur ve kesme kenarı görevi görür. Bu tabaka kesici takımı koruyucu görev yapmaktadır [66]. Ancak bu şekilde belli bir süre işlemeden sonra yığma kenar kesici takımdan bir miktar parça kopararak uzaklaşır. Bu durumda da kesici kenarda kopmalar ve kırılmalar meydana gelir ve takım ömrü azalır. Kesici takımın kaplanması durumunda takım iş parçası arasındaki sürtünme miktarı azalmakta ve buna bağlı olarak kesme sıcaklığı düşmektedir. Kesme sıcaklığının düşmesinden dolayı kesici kenar üzerinde oluşan yığma kenarın uzaklaştırılması daha zor olmaktadır. O yüzden kaplamalı kesici takımlarda oluşan yığma kenar miktarı kaplamasız kesici takımda oluşandan daha fazladır.

Resim 5.13’de kaplamasız WC kesici takımda oluşan en düşük ve en yüksek yığma kenar resimleri verilmiştir. Resim 5.13. (a) ve (b)’de kaplamasız WC takımda oluşan en düşük yığma kenar yüksekliğine ait 50x ve 100x büyütmede çekilmiş fotoğraflar verilmiştir. En düşük yığma kenar yüksekliği 120 m/dak kesme hızı 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde elde edilmiştir. Resim 5.13. (c) ve (d)’de ise en yüksek yığma kenar yüksekliğine ait 50x ve 100x büyütmede çekilmiş fotoğraflar verilmiştir. En yüksek yığma kenar yüksekliği 90 m/dak kesme hızı 0,08mm/diş ilerleme hızı değerinde elde edilmiştir.



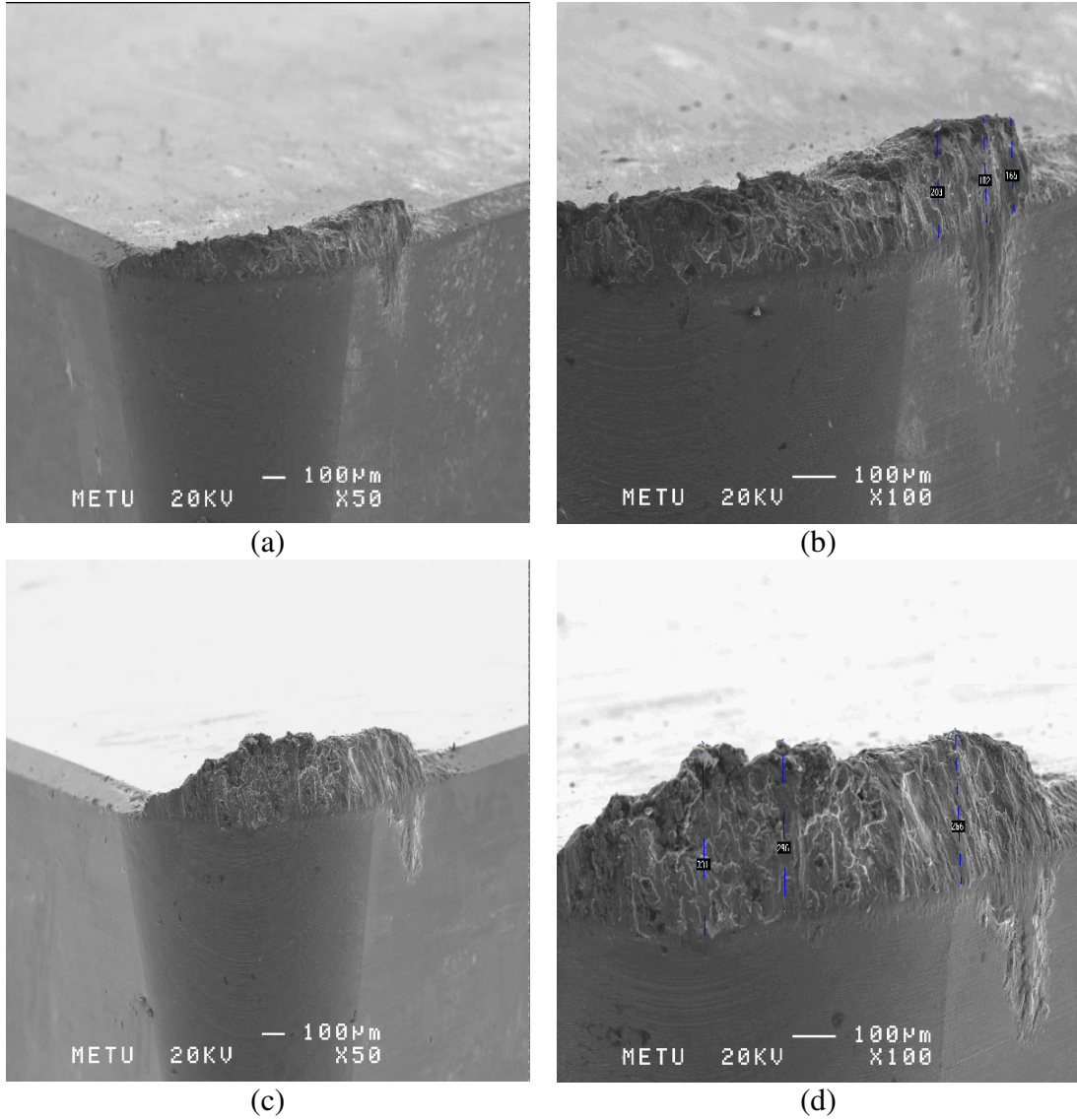
Resim 5.13. Kaplamasız WC’de oluşan en düşük ve en yüksek yığıntı yükseklikleri

Resim 5.14’de TiN kaplamalı WC kesici takımında oluşan en düşük ve en yüksek yığıntı kenar resimleri verilmiştir. Resim 5.14. (a) ve (b)’de TiN kaplamalı WC takımında oluşan en düşük yığıntı kenar yüksekliğine ait 50x ve 100x büyütmede çekilmiş fotoğraflar verilmiştir. En düşük yığıntı kenar yüksekliği 90 m/dak kesme hızı 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde elde edilmiştir. Resim 5.14. (c) ve (d)’de ise en yüksek yığıntı kenar yüksekliğine ait 50x ve 100x büyütmede çekilmiş fotoğraflar verilmiştir. En yüksek yığıntı kenar yüksekliği 150 m/dak kesme hızı 0,08mm/diş ilerleme hızı değerinde elde edilmiştir.



Resim 5.14. TiN kaplamalı WC’de oluşan en düşük ve en yüksek yığıntı yükseklikleri

Resim 5.15’de TiCN kaplamalı Al_2O_3 seramik kesici takımında oluşan en düşük ve en yüksek yığma kenar resimleri verilmiştir. Resim 5.15. (a) ve (b)’de TiCN kaplamalı Al_2O_3 seramik takımında oluşan en düşük yığma kenar yüksekliğine ait 50x ve 100x büyütmede çekilmiş fotoğraflar verilmiştir. En düşük yığma kenar yüksekliği 150 m/dak kesme hızı 0,12 mm/diş ilerleme hızı değerinde elde edilmiştir. Resim 5.15. (c) ve (d)’de ise en yüksek yığma kenar yüksekliğine ait 50x ve 100x büyütmede çekilmiş fotoğraflar verilmiştir. En yüksek yığma kenar yüksekliği 150 m/dak kesme hızı 0,08mm/diş ilerleme hızı değerinde elde edilmiştir.



Resim 5.15. TiCN kaplamalı Al_2O_3 'de oluşan en düşük ve en yüksek yığıntı yükseklikleri

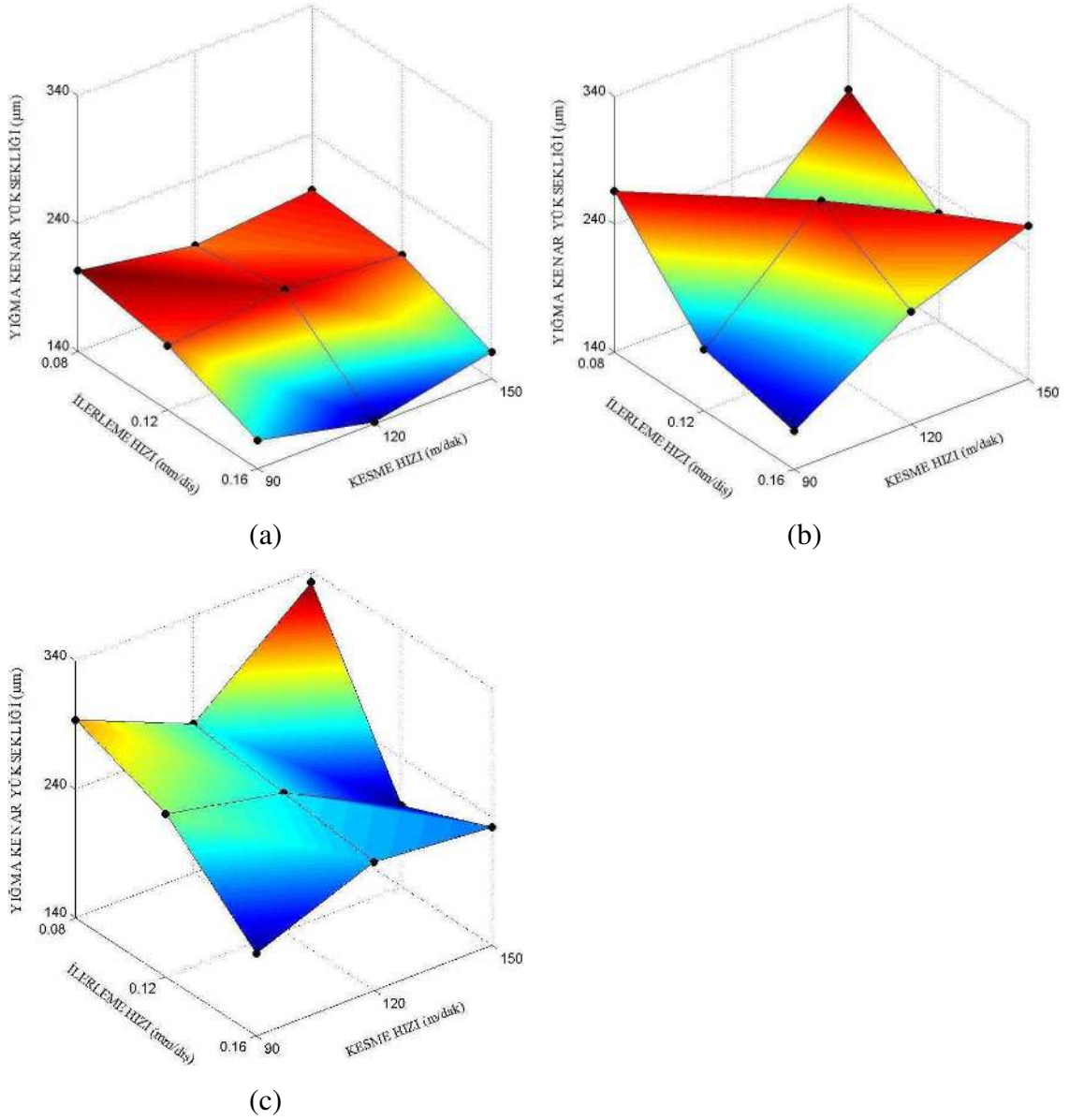
Takım A'da 0,08 mm/diş ve 0,16 mm/diş ilerleme oranlarında en düşük yığma kenar yüksekliği değeri 120 m/dak, en yüksek ise 90 m/dak kesme hızında, 0,12 mm/diş ilerleme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 90 m/dak, en yüksek ise 120 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. 90 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarında ilerleme hızı arttığında yığma kenar yüksekliğinin azaldığı, 120 m/dak kesme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 0,16 mm/diş, en yüksek ise 0,12 mm/diş ilerleme hızında elde edilmiştir. En düşük yığma kenar yüksekliği değeri 120 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 141 μm olarak, en yüksek yığma kenar yüksekliği değeri ise 90 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde

203 μm olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak Takım A için en düşük yığma kenar yüksekliği değerleri ilerleme hızının en yüksek, en yüksek yığma kenar yüksekliği değerleri ise ilerleme hızının en düşük olduğu durumlarda elde edilmiştir.

Takım B’de 0,08 mm/diş ilerleme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 120 m/dak, en yüksek ise 150 m/dak kesme hızında, 0,12 mm/diş ilerleme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 90 m/dak, en yüksek ise 120 m/dak kesme hızında, 0,16 mm/diş ilerleme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 90 m/dak, en yüksek ise 150 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. 90 m/dak kesme hızında ilerleme hızının artmasına bağlı olarak yığma kenar yüksekliğinin azaldığı görülmektedir. 120 m/dak kesme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 0,08 mm/diş, en yüksek ise 0,12 mm/diş ilerleme hızında, 150 m/dak kesme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 0,12 mm/diş, en yüksek ise 0,08 mm/diş ilerleme hızında elde edilmiştir. En düşük yığma kenar yüksekliği 90 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde 170 μm değerinde, en yüksek yığma kenar yüksekliği ise 150 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde 275 μm olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak Takım B için en düşük yığma kenar yüksekliği değerleri ilerleme hızının en yüksek, en yüksek yığma kenar yüksekliği değerleri ise ilerleme hızının en düşük olduğu zaman elde edilmiştir.

Takım C’ de 0,08 mm/diş ilerleme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 120 m/dak, en yüksek 150 m/dak kesme hızında, 0,12 mm/diş ilerleme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 150 m/dak, en yüksek 90 m/dak kesme hızında, 0,16 mm/diş ilerleme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 90 m/dak, en yüksek 120 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. 90 m/dak ve 120 m/dak kesme hızında ilerleme hızının artmasına bağlı olarak yığma kenar yüksekliğinin azaldığı görülmektedir. 150 m/dak kesme hızında en düşük yığma kenar yüksekliği 0,12 mm/diş, en yüksek ise 0,08 mm/diş ilerleme hızında elde edilmiştir. En düşük yığma kenar yüksekliği değeri 150 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/diş ilerleme hızında 203 μm olarak, en yüksek yığma kenar yüksekliği ise 150 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızında 331 μm olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak Takım C için en düşük yığma kenar yüksekliği

değerleri ilerleme hızının en yüksek, en yüksek yığma kenar yüksekliği değerleri ise ilerleme hızının en düşük olduğu zaman elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Yığma kenar yüksekliğinin ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak değişimi (a) Kaplamasız WC (b) TiN kaplamalı WC (c) TiCN kaplamalı Al_2O_3

Üç takımın yığma kenar yüksekliği değerleri karşılaştırılacak olursa her durumda Takım A'nın değerleri diğer takımlarınınkinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak Takım B ve Takım C'nin kaplamalı olmasının sonucu olarak talaş kaldırma sırasında oluşan ısıyı Takım A'ya göre daha iyi iletmesi sonucunda

Takım A'nın kesici yüzeyindeki sıcaklığının daha fazla olması, dolayısı ile üzerinde biriken alüminyum kalıntısının daha iyi bir şekilde uzaklaştırıldığı söylenebilir. Bütün uçları ayrı olarak incelediğimizde yığma kenar oluşumunun her birinde ilerleme hızının artması ile azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni ise ilerleme hızın artması ile birlikte kesici kenardaki sürtünmeye bağlı oluşan sıcaklığın daha fazla artması, bunun sonucu olarak da kesici kenar üzerinde biriken alüminyum kalıntısının yumuşaması sonucunda daha kolay bir şekilde uzaklaştırıldığı söylenebilir. Kaplamalı kesici takımlarda oluşan yığma kenarın kaplamasız takımda oluşandan daha az olmasının nedeni kaplamanın sürtünme miktarını düşürmesi ve buna bağlı olarak kesme sıcaklığının düşmesidir. Daha düşük sıcaklıklarda yığma kenarın kesici takım üzerinden uzaklaştırılması daha güç olmaktadır. Sürtünmenin daha fazla olduğu kaplamasız takımda ise sürtünmeye bağlı olarak kesme sıcaklığının artması ile birlikte kesici takım üzerinde biriken yığma kenar yumuşamakta ve kesici takım üzerinden daha kolay bir şekilde uzaklaşmaktadır. Takım C'de oluşan yığma kenar miktarının diğer takımlardan daha fazla olmasının nedeni ise Resim 5.10'da görüldüğü üzere kesici kenara pah kırılmış olmasıdır. Kesici kenarda bulunan pah nedeniyle yüzey alanı daha fazla olmakta dolayısıyla yapışan alüminyum kalıntılarının miktarı daha da artmaktadır. Bu nedenden dolayı yığma kenar yüksekliği de artmaktadır.

İlerleme hızının artması ile kesme kuvvetleri artmakta iken yığma kenar yüksekliği azalmaktadır. Bunun nedeni iş parçası üzerinden talaş kaldırmak için uygulanan kuvvetin tersi yönünde kesici takıma tepki kuvveti uygulanır. Bu tepki kuvveti kesici kenar üzerine biriken yığma kenarı uzaklaştırmaktadır. İlerleme hızının artması ile artan kesme kuvvetleri kesici takıma daha fazla tepki kuvveti uygulayacağından dolayı kesici kenar üzerinde biriken yığma kenarların uzaklaştırılması daha kolay olmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, seramik takviyeli alüminyum anayapılı kompozitlerin frezede işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yığma kenar yüksekliği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Bu amaçla ilk olarak, hacimce %15 oranında ortalama 43,3 μm boyutunda küresel $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ parçacık takviyeli $\text{Al}_6\text{Zn}_2\text{Mg}_2\text{Cu}$ alüminyum alaşım anayapılı kompozit malzeme toz metalürjisi yöntemlerinden sıvı faz sinterleme yolu ile üretilmiş, ısıtıl işlem uygulanmış, iç yapısı incelenmiş, mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Daha sonra, üretilen bu kompozitin dik işleme merkezinde yüzey frezeleme yöntemi ile işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüş, kesici uçlarda oluşan yığma kenarların taramalı elektron mikroskobu ile fotoğrafları çekilmiş ve yığma kenar yükseklikleri ölçülmüştür. Kesici takım olarak kaplamasız WC, TiN kaplamalı WC ve TiCN kaplı Al_2O_3 seramik takım, kesme hızı olarak 90, 120, 150 m/dak, ilerleme hızı olarak 0,08, 0,12, 0,16 mm/diş ve talaş derinliği olarak sabit 1 mm kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Kesme kuvvetleri ve yığma kenar yüksekliği açısından sonuçları değerlendirecek olursak, kaplamasız WC ve TiN kaplamalı WC, TiCN kaplamalı Al_2O_3 ' den aynı kesme şartlarında daha düşük değerler vermiştir. Bu durum yüzey pürüzlülüğü açısından da benzerlik göstermesine rağmen en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri TiN kaplamalı WC ile elde edilmiştir. Bütün kesme şartlarında kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yığma kenar yüksekliği değerlerine en fazla etkisi olan değişkenin ilerleme hızı olduğu, kesme hızının etkisi ise işlemde işleme değişiklik gösterdiği görülmüştür.
2. En düşük kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri 0,08 mm/diş, en yüksek kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde ölçülmüştür. En düşük yığma kenar yüksekliği değerleri 0,16 mm/diş, en yüksek yığma kenar yüksekliği değerleri ise 0,08 mm/diş ilerleme hızı

değerlerinde ölçülmüştür. Bu değerlerden, yığma kenar yüksekliği arttıkça kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü azaldığı, yığma kenar yüksekliği azaldıkça da kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmektedir. Yığma kenar yüksekliğinin artması ile kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün azalmasının nedeni, yığma kenarın kesici kenara yapışmasının ardından kesme işleminin gerçekleşmesine yardımcı olmasıdır.

3. İlerleme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin artmasının nedeni, ortalama talaş kalınlığının artması ile daha fazla talaşın malzemeden uzaklaştırmak için gerekli olan kuvvetin daha fazla olmasıdır.
4. İlerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün artmasının nedeni ise, ortalama talaş kalınlığının artması ile kaldırılması gereken talaş boyutunun artması ve iş parçasının yumuşak olmasından dolayı yüzeyi yırtarak çıkmasıdır.
5. İlerleme miktarının artması ile yığma kenar yüksekliğinin azalmasının bir nedeni, sürtünme ile artan sıcaklığın kesici kenar üzerine biriken alüminyum kalıntılarının yumuşatması ve bu sayede kesici kenar üzerinden daha kolay bir şekilde uzaklaştırılabilmesidir. Diğer bir nedeni ise ilerleme hızının artması ile kesme kuvvetinin artmasıdır. Kesme kuvveti iş parçasından talaşı kaldırırken tepki kuvveti de kesici takım üzerine etkiyerek oluşan yığma kenarları azaltmaktadır.
6. Yapılan işlemler sonucunda, en düşük F_x kuvveti kaplamasız WC ile 150 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde, en düşük F_y kuvveti TiN kaplamalı WC ile 120 m/dak kesme hızı ve 0,08 m/diş ilerleme hızı değerinde, en düşük F_z kuvveti TiN kaplamalı WC ile 120 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri kaplamasız WC ile 90 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/diş ilerleme hızı değerinde, en düşük yığma kenar yüksekliği değeri kaplamasız WC ile 120 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/diş ilerleme hızı değerinde elde edilmiştir.

7. Sıvı faz sinterleme yöntemi ile üretilmiş ve tavlama ısı işlemi uygulanmış, %15 ortalama 43,3 μm boyutunda küresel $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ seramik parçacık takviyeli $\text{Al}_6\text{Zn}_2\text{Mg}_2\text{Cu}$ alüminyum metal anayapılı kompozit malzemenin dik işleme merkezinde yüzey frezeleme yöntemi ile bu şartlarda işlenmesinde kaplamasız WC takımın diğer iki takımdan daha iyi başarımlar gösterdiği görülmüştür. TiN kaplamalı WC'nin F_y ve F_z kuvvetlerinde kaplamasız WC'den daha iyi olduğu ancak yüzey pürüzlülüğü, F_x kuvveti ve yığma kenar yüksekliği değerlerinde daha kötü olduğu görülmüştür. TiCN kaplamalı Al_2O_3 seramik takım ise bütün işleme şartlarında en kötü başarımları göstermiştir.

6.2. Öneriler

Bu çalışmanın devamı niteliğinde aşağıdaki çalışmalar yapılabilir.

1. Kompozit numune üretiminde kullanılan sıvı faz sinterleme yönteminde, sinterleme sıcaklığının malzemenin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi farklı sinterleme sıcaklıklarında malzemeler üretilip incelenebilir.
2. Takviye elemanı olarak kullanılan seramik parçacıkların toz boyutunun malzemenin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi farklı toz boyutlarından malzemeler üretilerek incelenebilir.
3. Takviye oranının malzemenin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi farklı takviye oranlarında malzemeler üretilerek incelenebilir.
4. Toz karıştırma işleminin malzemenin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi, farklı teknikleri ile karıştırılan tozlardan malzemeler üretilerek incelenebilir.
5. Isıl işlemin malzemenin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi farklı ısı işlemler uygulanarak incelenebilir.

6. Takım aşınması ve kesici takım üzerinde oluşan sıcaklık değerleri farklı kesici uçlar kullanılarak incelenebilir.
7. Kesme hızı ve ilerleme hızı aralıkları arttırılarak çok düşük ve çok yüksek hızlarda yapılan işlemlerin etkileri incelenebilir.
8. Nano boyutlarda seramik toz takviyesi kullanılarak alüminyum anayapılı kompozitlerin işlenebilirlikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Chawla, N., Chawla, K.K., “Metal matrix composites”, *Springer Science Business Media, Inc.*, Boston, MA, 1-5 (2006).
2. Manna A., Bhattacharyya B., “A study of different tooling system during machining of Al/SiC-MMC”, *Journal of Material Processing Technology*, 123: 476-482 (2002).
3. Manna A., Bhattacharyya B., “A study on machinability of Al/SiC-MMC”, *Journal of Materials Processing Technology*, 140: 711-716 (2003).
4. Chan K.C., Cheung C.F., Ramesh M.V., Lee W.B., To S., “A theoretical and experimental investigation of surface generation in diamond turning of an Al6061/SiCp metal matrix composite”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 43: 2047-2068 (2001).
5. Davim J. P., “Application of merchant theory in machining particulate metal matrix composites”, *Materials and Design*, 28: 2684-2687 (2007).
6. Çiftçi İ., Türker M., Şeker U., “CBN cutting tool wear during machining of particulate reinforced MMCs”, *Wear*, 257: 1041-1046 (2004).
7. Hu J., Chou Y.K., Thompson R.G., Burgess J., Street S., “Characterizations of nano-crystalline diamond coating cutting tools”, *Surface & Coatings Technology*, 202: 1113-1117 (2007).
8. Özcatalbaş Y., “Chip and built-up edge formation in the machining of in situ Al₄C₃-Al composite”, *Materials and Design*, 24: 215-221 (2003).
9. Lin J. T., Bhattacharyya D., Ferguson W. G., “Chip formation in the machining of SiC particle reinforced aluminum matrix composites”, *Composites Science and Technology*, 58: 285-291 (1998).
10. Krishnamurthy L., Sridhara B. K., and Budan D. A., “Comparative study on the machinability aspects of aluminium silicon carbide and aluminium graphite composites”, *Materials and Manufacturing Processes*, 22: 903-908 (2007).
11. Chou Y. K., Liu J., “CVD diamond tool performance in metal matrix composite machining”, *Surface & Coatings Technology*, 200: 1872-1878 (2005).
12. Davim J.P., “Diamond tool performance in machining metal-matrix composites”, *Journal of Material Processing Technology*, 128: 100-105 (2002).
13. Hung N.P., Yeo S.H., Oon B.E., “Effect of cutting fluid on the machinability of metal matrix composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 67: 157-161 (1997).

14. Hassan A.M., Tashtoush G.M., Al-Khalil J.A., “Effect of graphite and/or silicon carbide particles addition on the hardness and surface roughness of Al-4 wt% Mg Alloy, *Journal of Composite Materials*, 41; 453-465 (2007).
15. Cheung C.F., Chan K.C., To S., Lee W.B., “Effect of reinforcement in ultra-precision machining of Al6061/SiC metal matrix composites”, *Scripta Materialia*, 47: 77-82 (2002).
16. Ding X. , Liew W.Y.H., Liu X.D., “Evaluation of machining performance of MMC with PCBN and PCD tools”, *Wear*, 259: 1225–1234 (2005).
17. Çiftçi İ., Türker M., Şeker U., “Evaluation of tool wear when machining SiCp-reinforced Al-2014 alloy matrix composites”, *Materials and Design*, 25: 251-255 (2004).
18. Pedersen, W. Ramulu M., “Facing SiCp/Mg metal matrix composites with carbide tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 172: 417-423 (2006).
19. Kanan S., H. Kishawy A., Balazinski M., “Flank Wear Progression During Machining Metal Matrix Composites”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 128: 787-791 (2006).
20. Hocheng H., Yen S.B., Lshihara T., Yen B.K., “Fundamental turning characteristics of a tribology-favored graphite/aluminum alloy composite material” *Composites Part A*, 28A: 883-890 (1997).
21. Iuliano L., Settineri L., Gatto A., “High-speed turning experiments on metal matrix composites”, *Composites Part A*, 29A: 1501-1509 (1998).
22. Zhu Y., Kishawy H.A., “Influence of alumina particles on the mechanics of machining metal matrix composites”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 389-398 (2005).
23. Mana A., Bhattacharayya B., “Influence of machining parameters on the machinability of particulate reinforced Al/SiC–MMC”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25: 850-856 (2005).
24. Özben T., Kılıçkap E., Çakır O., “Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC”, *Journal of Materials Processing Technology*, 198: 220-225 (2008).
25. Özçatalbaş Y., “Investigation of the machinability behaviour of Al₄C₃ reinforced Al-based composite produced by mechanical alloying technique”, *Composites Science and Technology*, 63: 53-61 (2003).

26. El-Gallab M., Sklad M., “Machining of Al/SiC particulate metal matrix composites”, Part I: tool performance, *Journal of Material Processing Technology*, 83: 151-158 (1998).
27. El-Gallab M., Sklad M., “Machining of Al/SiC particulate metal matrix composites Part II: Workpiece surface integrity”, *Journal of Materials Processing Technology*, 83: 277-285 (1998).
28. Andrewes C.J.E., Feng H.Y., Lau W.M., “Machining of an aluminum/SiC composite using diamond inserts”, *Journal of Material Processing Technology*, 102: 25-29 (2000).
29. Weinert K., Biermann D., Bergmann S., “Machining of high strength light weight alloys for engine applications”, *Annals of the CIRP*, 56: 105-108 (2007).
30. Pramanik A., Zhang L.C., Arsecularatne J.A., “Prediction of cutting forces in machining of metal matrix composites”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 1795-1803 (2006).
31. Şahin Y., “Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminium alloy composites”, *Materials and Design*, 24: 671-679 (2003).
32. Kılıçkap E., Çakır O., Aksoy M., İnan A., “Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenised SiC-p reinforced aluminium metal matrix composite”, *Journal of Materials Processing Technology*, 164–165: 862-867 (2005).
33. Kannan S., Kishawy H.A., “Surface characteristics of machined aluminium metal matrix composites”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 2017-2025 (2006).
34. Dabade U.A., Joshi S.S., Balasubramaniam R., Bhanuprasad V.V., “Surface finish and integrity of machined surfaces on Al/SiCp composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 192–193: 166–174 (2007).
35. Şahin, Y., Sur G., “The effect of Al₂O₃, TiN and Ti (C,N) based CVD coatings on tool wear in machining metal matrix composites”, *Surface and Coatings Technology*, 179: 349-355 (2004).
36. Şahin Y., “The effects of various multilayer ceramic coatings on the wear of carbide cutting tools when machining metal matrix composites”, *Surface and Coating Technology*, 199: 112-117 (2005).
37. Tönshoff H.K., Winkler J., “The influence of tool coatings in machining of magnesium”, *Surface and Coatings Technology*, 94-95: 610-616 (1997).

38. Varadarajan Y. S., Vijayaraghavan L., Krishnamurthy R., "The machinability characteristics of aluminasilicate fiber reinforced Al alloy composite", *Materials and Manufacturing Processes*, 17: 811-824 (2002).
39. Hooper, R.M., Henshall J.L., Klopfer A., "The wear of polycrystalline diamond tools used in the cutting of metal matrix composites", *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 17: 103-109 (1999).
40. Xiaoping Li, Seah W.K.H., "Tool wear acceleration in relation to workpiece reinforcement percentage in cutting of metal matrix composites", *Wear*, 247: 161-171 (2001).
41. Şahin, Y., Kök M., Çelik H., "Tool wear and surface roughness of Al₂O₃ particle-reinforced aluminum alloy composites", *Journal of Material Processing Technology*, 128: 280-291 (2002).
42. Kannan, S. Kishawy H.A., "Tribological aspects of machining aluminium metal matrix composites", *Journal of Material Processing Technology*, 198: 399-406 (2008).
43. Joshi S.S., Ramakrishnan N., Nagarwalla H.E., Ramakrishnan P., "Wear of rotary carbide tools in machining of Al/SiCp composites", *Wear*, 230: 124-132 (1999).
44. Quigley O., Monaghan J., O'Reilly P., "Factors affecting the machinability of an Al/SiC metal-matrix composites", *Journal of Material Processing Technology*, 43: 21-36 (1994).
45. Hung N.P., Boey F.Y.C., Khor K.A., Phua Y.S., Lee H.F., "Machinability of aluminum alloys reinforced with silicon carbide particulates", *Journal of Material Processing Technology*, 56: 966-977 (1996).
46. Ramrattan S., Sitkins F., Nallakatala M., "Optimization of the casting and machining processes for a metal-matrix composite", *Proceedings of Canadian Society Mechanical Engineering Symposium, McMaster University*, 624-629 1996.
47. Quan Y.M., Zhou Z.H., Ye B.Y., "Cutting process and chip appearance of Al matrix composites reinforced by SiC particles", *Journal of Material Processing Technology*, 91: 231-235 (1999).
48. Lin C.B., Hung Y.W., Liu W.C., Kang S.W., "Machining and fluidity of 356Al/SiC(p) composites", *Journal of Material Processing Technology*, 110: 152-159 (2001).
49. Tomac N., Tonnesson, K. "Machining of particulate Al matrix composites", *Annals of the CIRP*, 41 (1): 55-58 (1992).

50. Cronjager, L. Meister D., "Turning of MMCs", *Proceedings of the Second European Conference on Advanced Materials and Processes*, vol. 2, Cambridge, 73-80 (1982).
51. Joshi S.S., Ramakrishnan, N. Ramakrishnan P., "Analysis of chip breaking during orthogonal machining of Al/SiCp composites", *Journal of Material Processing Technology*, 88: 90-96 (1999).
52. Yanming Q., Zehna Z., "Tool wear and its mechanism for cutting SiCp reinforced Al matrix composites", *Journal of Material Processing Technology*, 100: 194-199 (2000).
53. Weinert K., König W., "A consideration of tool wear mechanism when machining metal matrix composites (MMC)", *Annals of the CIRP*, 42 (1): 95-98 (1993).
54. Brun M.K., Lee M., Gorsler F., "Wear characteristics of various hard materials for machining SiC-reinforced aluminum alloy", *Wear*, 104: 21-29 (1985).
55. Lin J.T., Bhattacharyya D., Kecman V., "Multiple regression and neural networks analyses in composites machining" *Composites Science and Technology* 63: 539-548 (2003)
56. Varadarajan Y.S., Vijayaraghavan L., Krishnamurthy R., Bhanuprasad V.V., "Performance enhancement through microwave irradiation of K20 carbide tool machining Al/SiC metal matrix composite" *Journal of Materials Processing Technology* 173: 185-193 (2006)
57. Chen M., Jian X.G., Sun F.H., Hu B., Liu X.S., "Development of diamond-coated drills and their cutting performance", *Journal of Material Processing Technology*, 129: 81-85 (2002).
58. Ramulu M., Rao P.N., Kao H., "Drilling of (Al₂O₃)p/6061 metal matrix composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 124: 244-254 (2002).
59. Basavarajappa S., Chandramohan G., Davim J. P., Prabu M., Mukund K., M., Ashwin M., Kumar P., "Drilling of hybrid aluminium matrix composites", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35: 1244-1250 (2008).
60. Davim J. P., "Study of drilling metal-matrix composites based on the Taguchi techniques", *Journal of Materials Processing Technology*, 132: 250-254 (2003).
61. Tosun G., Muratoğlu M., "The drilling of Al/SiCp metal-matrix composites. Part II: workpiece surface integrity", *Composites Science and Technology*, 64: 1413-1418 (2004).

62. Tosun G., Muratoğlu, M. "The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites Part I: microstructure", *Composites Science and Technology*, 64: 299-308 (2004).
63. Haq A. N., Marimuthu P., Jeyapaul R., "Multi response optimization of machining parameters of drilling Al/SiC metal matrix composite using grey relational analysis in the Taguchi method" *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37: 250–255 (2008)
64. Durantea, S. Rutellib G., Rabezzana F., "Aluminum-based MMC machining with diamond-coated cutting tools", *Surface and Coatings Technology*, 94-95: 632-640 (1997).
65. Heath P.J., "Developments in applications of PCD tooling", *Journal of Materials Processing Technology*, 116: 31-38 (2001).
66. Karakaş M. S., Acır A., Übeyli M., Ögel B., "Effect of cutting speed on tool performance in milling of B₄Cp reinforced aluminum metal matrix composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 178: 241-246 (2006).
67. Reddy N.S.K., Sup S.K., Yang M., "Experimental study of surface integrity during end milling of Al/SiC particulate metal–matrix composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 201: 574-579 (2008).
68. Fanghong S., Zhenyu W., Jingwen Z., Ming C., "High speed milling of SiC particle reinforced aluminum-based MMC with coated carbide inserts", *Key Engineering Materials*, 274-276: 457-462 (2004).
69. Songmene V., Balazinski M., "Machinability of graphitic metal matrix composites as a function of reinforcing particles", *Annals of the CIRP*, 48: 77-80 (1999).
70. Cronjager L., Meister D., "Machining of fibre and particle-reinforced aluminum", *Annals of the CIRP*, 41: 63–66 (1992).
71. Coelho R.T., Yamada S., IeRoux T., Aspinwall D.K., Wise M.L.H., "Conventional machining of an aluminum based SiC reinforced metal matrix composite (MMC) alloy", *Proceedings of the 30th MATADOR, Manchester*, 125-133 (1993).
72. Lane, C. "Machining characteristics of particulate-reinforced aluminum", *Fabrication of Particulates Reinforced Metal Composites, ASM, Ohio, USA*, 195-201 (1990).
73. Lane C.T., "The effect of different reinforcement on PCD tool life for aluminum composites, machining of composite materials", *Proceedings of the ASM/TMS Materials Week Symposium, Chicago, Illinois, USA*, 17-27 (1992).

74. Chandrasekaran H., J. Johansson O., “On the behaviour of fibre/particle reinforced aluminum alloy matrix composites in milling and grinding”, ***Second International Conference on Machining of Advanced Materials (MAM), Aachen Germany***, 1996.
75. Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş” ***Seçkin***, Ankara, 27-307 (2006).
76. Vinson, J.R., Chou T.W., “Composite Materials And Their Use In Structures” ***Applied Science Publishers LTD***, London, 1-150 (1975)
77. German, R.M., “Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing”, Sarıtaş S, Türker, M., Durlu, N., ***Metal Powder Industries Federation***, New Jersey, 1-297 (2007)
78. Davis, J.R. and Associates “Aluminum and aluminum alloys” , ***ASM International***, Materials Park Ohio, 290 - 327 (1993)
79. Sandvik, “Modern Metal Cutting”, Çakır, M.C., ***Sandvik Coromant Technical Editorial Department***, Sweden, 219-346 (2000)
80. Groover M.P., “Fundamentals of modern manufacturing”, ***Prentice Hall***, New Jersey, 611-613 (1996).
81. Walsh R.A., Cormier D.R., “McGraw- Hill machining and metal working handbook”, 3rd ed., ***McGraw-Hill***, New York, 396-430 (2005)
82. Kibbe R.R., Neely J.E., Meyer R.O., White W.T., “Machine tool practice” ***Prentice Hall***, 4th ed., New Jersey, 578-579 (1991)
83. Şahin, Y. “Talaş Kaldırma Prensipleri -1” ***Nobel Yayın Dağıtım***, Ankara, 80-545 (2000).
84. Mills B., Redford A.H., “Machinability of Engineering Materials” ***Applied Science Publishers***, London and New York, 63–64 (1983)
85. “Modern Metal Cutting”, Çakır, M.C., ***Sandvik Coromant Technical Editorial Department***, Sweden, 1-247 (2006)
86. M. Günay, “Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 14-38 (2003)
87. Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları”, ***Birsen Yayınevi***, İstanbul, 1-245 (1996)
88. Şahin, Y. “Talaş Kaldırma Prensipleri - 2”, ***Nobel Yayın Dağıtım***, Ankara, 1-223 (2001)

89. Vander Voort, G. F., "Metallography, principles and practice" *ASM International*, Materials Park Ohio, 610-611 (1999)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKÇAY, Caner Emre
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 19.09.1983 İstanbul
 Medeni hali : Bekar
 Cep Telefonu : 0 (555) 560 43 13
 e-posta : akcaycaner@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2005
Lise	Atatürk Lisesi / Ankara	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2007	OSTİM - İleri Makine	Proje Mühendisi
2007-.....	Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş.	Teknik Uzman Yrd.

Yabancı Dil

Dil	Puan	Sınav Türü	Tarih
İngilizce	71/100	KPDS	MAYIS 2007

İlgi Alanları

Masa Tenisi, Futbol, Basketbol