

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METAL MATRİKSLİ (Al_2O_3 TAKVİYELİ) KOMPOZİT
MALZEMELERİN ÜRETİMİ VE SERAMİK
TAKIMLARLA İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Metin KÖK

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

ELAZIĞ

2000

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL MATRİKSLİ (Al₂O₃ TAKVİYELİ) KOMPOZİT
MALZEMELERİN ÜRETİMİ VE SERAMİK
TAKIMLARLA İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Metin KÖK

DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu Tez, 13.10.2000 tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)
Danışman
Doç. Dr. Halis ÇELİK

(İmza)
Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM

(İmza)
Doç. Dr. Yusuf ŞAHİN

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

ÖZET

Doktora Tezi

METAL MATRİKSİLİ (Al_2O_3 TAKVİYELİ) KOMPOZİT
MALZEMELERİN ÜRETİMİ VE SERAMİK
TAKIMLARLA İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Metin KÖK

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

2000, Sayfa: 191

Bu çalışmada, Vorteks metodu ve basınç ile farklı boyut ve hacim oranlarında $\alpha-Al_2O_3$ partikülleri ile takviye edilmiş 2024Al esaslı Metal Matriksli Kompozit (MMK)'ler başarılı bir şekilde üretilmiştir. Bu kompozitler üzerinde sertlik, çekme dayanımı ve yoğunluk gibi bazı mekanik özellikler araştırılmıştır. Yoğunluk ölçümleri, porozitenin çok düşük olduğunu; partikül oranının artması ve boyutunun düşmesi ile porozite oranının arttığını göstermiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yapılan mikroyapı incelemeleri, partikül boyutunun artmasıyla homojen bir dağılım sağlandığını göstermiş; düşük boyutlu partiküllerin, partikül topaklanmasına ve porozite oluşumuna neden olduklarını ortaya çıkarmıştır. Partikül hacim oranının artması ve boyutunun azalmasıyla, kompozitlerin sertlik ve çekme mukavemetleri artmıştır.

Buna ilâveten, kompozitlerin K10, TP30 ve HX kesici takımlarla CNC torna tezgahında işlenebilirliği incelenmiş; takımlardaki aşınan yüzeylerin SEM fotoğrafları çekilmiştir. Deney sonuçları, takımlardaki temel aşınma mekanizmasının, abrasiv yan yüzey aşınmasına neden olan sert Al_2O_3 partiküllerine bağlı abrasyon aşınması olduğunu göstermiştir. K10 takımının ömrü, TP30 takımınıninkinden daha uzun olmuş; TP30 takımıyla işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlülük R_a ve R_t değerleri, K10 takımıyla işlenmiş yüzeylerdekinden daha az olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının ve partikül boyutunun artmasıyla artarken, partikül oranının artmasıyla azalmıştır. Matriks alaşımın işlenmesinde R_a ve R_t değerleri, kompozitlerdeki değerlerden daha büyük olmuş, ancak en büyük R_a ve R_t değerleri 2024Al+%10 $16\mu m$ Al_2O_3 kompozitin işlenmesinde ortaya çıkmıştır. HX takımıyla yapılan kesme işlemlerinde, bu takımın alüminyum alaşımları için daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Bunun dışında, kesme işlemlerinde, K10 takımıyla çok küçük parçacıklar halinde ve süreksiz talaşlar oluşurken, TP30 takımıyla uzun ve sürekli talaşlar oluşmuştur. Küçük boyutlu partiküller ile takviyeli kompozitlerin talaşları, büyük boyutlu partiküller ile takviyeli kompozitlerin talaşlarından daha uzun ve daha pürüzsüz olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Metal Matriksli Kompozitler, Al- Al_2O_3 kompozitler, sıvı metal karıştırma, vorteks, partikül, porozite, mekanik özellikler, sertlik, çekme mukavemeti, işlenebilirlik, takım ömrü, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, talaş yapısı.

ABSTRACT

PhD Thesis

PRODUCTION OF METAL MATRIX (Al_2O_3 -REINFORCED) COMPOSITE
MATERIALS AND INVESTIGATION OF THEIR MACHINABILITY
BY CERAMIC TOOLS

Metin KÖK

Fırat University
Graduate School of Natural Applied Sciences
Department of Machine Education

2000, Page: 191

In the present work, 2024Al alloy Metal Matrix Composites (MMC's) reinforced with varying size and volume fraction of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ particles have been successfully produced by using a vortex method and subsequently applied pressure. Some mechanical properties such as hardness, tensile strength and density on the produced composites have been investigated. The density measurements showed that the samples contained little porosity, and the amount of porosity in the composites increased with increasing volume fraction and decreasing size of particles. Scanning electron microscopic (SEM) observations of the microstructures revealed that the dispersion of the coarser sizes of particles was more uniform, while finer particles led to agglomeration of the particles and porosity. The hardness and the tensile strength of the composites increased with the decreased size and increased volume fraction of particles.

In addition, machinability of the composites has been investigated by using K10, TP30 and HX tools on a CNC turning machine, SEM photographs of the wear surface of the tools have been taken. Test results showed that the main wear mechanism for the tools was the abrasion wear due to the hard reinforcement particles causing abrasive flank wear. The tool life of K10 was significantly longer than that of TP30; surface roughness of the composites machined with TP30 insert was less than that of the composites machined with K10 insert. While surface roughness of R_a and R_t values increased with increasing cutting speed and size of particles, it decreased with increasing the volume fraction of particles. R_a and R_t values in the machining of matrix alloy were bigger than those in the machining of the composites, but the biggest ones were found in the machining of 2024Al+%10 16 μm Al_2O_3 composite. In the machining tests with HX tool, it was cleared that this tool was more suitable for aluminium alloys. Moreover, in the machining processes, while very small broken chips and debris were obtained with K10 tools, continuous and long chips formed with TP30 tools. The chips of fine particles reinforced composites were longer and smoother than those of coarse particles reinforced composites.

Key Words: Metal Matrix Composites, Al- Al_2O_3 composites, melt-stirring, vortex, particle, porosity, mechanical properties, hardness, tensile strength, machinability, tool life, tool wear, surface roughness, chip formation.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında ve araştırmalarım sırasında, benden ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Halis ÇELİK'e (Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi), Sayın Doç. Dr. Yusuf ŞAHİN'e (Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi), Sayın Arş. Gör. Ferhat GÜL'e (Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi), Sayın Öğr. Gör. Hikmet GÜZELBULUT'a (K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi K.Maraş MYO Makine Programı), K.Maraş MYO Makine Programı Teknikeri Nedim ERMEYDAN'a ve laboratuvar personeline, Elektrik Programı Teknikeri Oktay ÖZDÖŞEMECİ'ye, K.Maraş MYO yöneticilerine, eşim Ümran KÖK'e ve değerli öğrencim Casım ATMACA'ya teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XIV
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ	XV
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XVIII
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. KOMPOZİT MALZEMELER VE ÜRETİMİ	33
3.1. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi ve Uygulama Alanları	34
3.2. Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Sınıflandırılması	40
3.3. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	42
3.4. Metal Matriksli Kompozitler ve Üretim Teknikleri	43
4. İŞLENEBİLİRLİK	46
4.1. Takım Ömrü ve Takım Aşınması	48
4.2. Temel Aşınma Mekanizmaları	50
4.3. Takım Aşınma Tipleri	52
4.3.1. Yan Yüzey (Yanak) Aşınması	54
4.3.2. Krater Aşınması	55
4.3.3. Plastik Deformasyon	56
4.3.4. Çentik Aşınması	57
4.3.5. Termal (Isıl) Çatlaklar	58
4.3.6. Mekanik Yorulma Çatlakları	59
4.3.7. Çıtlama (Çentiklenme ya da Küçük Parçacıklar Kopması)	59

	Sayfa
4.3.8. Kırılma	60
4.3.9. Kesici Kenarda Yığılma (BUE).....	61
4.4. Takım Aşınması ve Takım Ömrü Kriterleri	61
4.4.1. HSS Takımlar İçin Genel Kriterler	64
4.4.2. Sinterlenmiş Sert Karbür Takımlar İçin Kriterler	65
4.4.3. Seramik Takımlar İçin Genel Kriterler	65
4.5. Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme Kuvvetleri, Kesme Sıcaklığı ve Harcanan Güç	66
4.6. Kompozitlerin İşlenebilirliği	66
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	69
5.1. Kompozit Üretim Ünitesi	69
5.2. Matriks Malzeme ve Elek Analiz Deneyleri	69
5.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Çalışmaları, Sonuçları ve Tartışılması .	77
5.4. Yoğunluk Ölçüm ve Porozite Oran Deneyleri, Sonuçları ve Tartışılması.	79
5.5. Mikroyapı Deneyleri, Sonuçları ve Tartışılması	82
5.6. Malzemelerin Sertlik ve Çekme Mukavemetleri Deneyleri, Sonuçları ve Tartışılması	89
5.7. İşlenebilirlik Deneyleri	93
5.7.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	93
5.7.2. Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar	93
5.7.3. Kesme Şartları	94
5.7.4. Takım Aşınması ve Takım Ömrü Deneyleri	94
5.7.4.1. K10 ve TP30 Kesici Takımlar İle Yapılan Deneyler ve Sonuçları .	95
5.7.4.2. HX Kesici Takım İle Yapılan Deneyler ve Sonuçları	138
5.7.5. Yüzey Pürüzlülüğü	144
5.7.6. Talaş Yapısı	154
5.8. Deney Sonuçları ve Tartışılması	161
5.8.1. Takım Aşınması ve Takım Ömrü Sonuçları	161
5.8.2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	162
5.8.3. Talaş Yapıları Sonuçları	163

	Sayfa
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	165
KAYNAKLAR	170



ŞEKİLLER LİSTESİ

4.1. Tipik Aşınma Bölgeleri	49
4.2. Metallerin İşlenmesi Sırasındaki Temel Aşınma Mekanizmaları	50
4.3. Farklı Aşınma Mekanizmaları İle Oluşan Aşınma Tiplerinin Sınıflandırılması	53
4.4. Sementit Karbür Bir Takımdaki Tipik Yan Yüzey Aşınması	54
4.5. Sementit Karbür Bir Takımda Oluşmuş Tipik Krater Aşınması	55
4.6. Sementit Karbür Bir Takımdaki Tipik Kenar Deformasyonu	56
4.7. Whisker Takviyeli Seramik Bir Takımda Talaş Derinliğindeki Tipik Çentik Aşınması	57
4.8. Sementit Karbür Bir Takımdaki Termal Çatlaklar	58
4.9. Sementit Karbür Bir Takımdaki Çentiklenme	59
4.10. Sementit Karbür Bir Takımdaki Tipik Kırılma	60
4.11. Kesme İşleminde Bazı Takım Aşınma Tipleri ve Kriterleri	62
4.12. Yan Yüzey (Kenar) Aşınması ve Analizi İçin Bölgeler	63
4.13. Krater Aşınması ve Analizi İçin Temel Kriterler, KT ve KB	64
5.1. Ergitme ve Parçacık İlavelerinin Yapıldığı Kompozit Üretim Ünitesinin Şematik Görünüşü	70
5.2. 2024Al Matriks Alaşımının EDX Spektroskopi Analiz Sonuçları	72
5.3. 2024Al Matriks Alaşımının EDX Analizine Göre Ağırlıkça Kimyasal Bileşenleri	72
5.4. 16µm Al ₂ O ₃ Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı	74
5.5. 32µm Al ₂ O ₃ Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı	75
5.6. 66µm Al ₂ O ₃ Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı	76
5.7. Kompozitlerin Teorik ve Deneysel Yoğunluklarının Al ₂ O ₃ Hacim Oranı ile Değişimi	80
5.8. Kompozitlerin İçerdikleri Porozite Miktarının Al ₂ O ₃ Hacim Oranı ile Değişimi	81
5.9. Kompozitlerin Sertlik Değerlerinin Partikül Hacim Oranı ve Partikül Boyutuna Göre Değişimi	91
5.10. Çekme Mukavemet Testi Numunelerinin Şematik Diyagramı	92
5.11. Kompozitlerin Çekme Mukavemeti Değerlerinin Partikül Hacim Oranı ve Partikül Boyutuna Göre Değişimi	92

5.12. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al Matriks Alaşımın İşlenmesinde Takım Ömrü-Kesme Hızı Grafiği	96
5.13. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al Matriks Alaşımın V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	97
5.14. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al Matriks Alaşımın V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	97
5.15. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al Matriks Alaşımın V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	98
5.16. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 16µm Al ₂ O ₃ , 2024Al+%20 16µm Al ₂ O ₃ ve 2024Al+%30 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitlerin İşlenmesinde Takım Ömrü-Kesme Hızı Grafiği	102
5.17. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	104
5.18. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	104
5.19. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	105
5.20. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	106
5.21. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	106
5.22. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	107
5.23. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	108

5.24. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	108
5.25. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	109
5.26. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 32µm Al ₂ O ₃ , 2024Al+%20 32µm Al ₂ O ₃ ve 2024Al+%30 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitlerin İşlenmesinde Takım Ömrü-Kesme Hızı Grafiği	112
5.27. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	113
5.28. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	114
5.29. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	114
5.30. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	115
5.31. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	116
5.32. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	116
5.33. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	117
5.34. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	118

5.35. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 32 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	118
5.36. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 66 μ m Al ₂ O ₃ , 2024Al+%20 66 μ m Al ₂ O ₃ ve 2024Al+%30 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitlerin İşlenmesinde Takım Ömrü-Kesme Hızı Grafiği	123
5.37. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	123
5.38. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	124
5.39. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	124
5.40. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	128
5.41. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	129
5.42. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	129
5.43. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	132
5.44. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	133
5.45. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	133

5.46. 2024Al Matriks Alaşımın ve 2024Al+%30 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin HX Kesici Takımla İşlenmesinde Takım Ömrü-Kesme Hızı Grafiği	138
5.47. 2024Al Matriks Alaşımın ve 2024Al+%30 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin HX Kesici Takımla V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	139
5.48. 2024Al Matriks Alaşımın ve 2024Al+%30 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin HX Kesici Takımla V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	140
5.49. 2024Al Matriks Alaşımın ve 2024Al+%30 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin HX Kesici Takımla V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği	140
5.50. K10 Takımla İşlenmiş Malzemelerde Yüzey Pürüzlülüğü (R _a)-Kesme Hızı Grafiği	145
5.51. TP30 Takımla İşlenmiş Malzemelerde Yüzey Pürüzlülüğü (R _a)-Kesme Hızı Grafiği	145
5.52. K10 Takımla İşlenmiş Malzemelerde Yüzey Pürüzlülüğü (R _t)-Kesme Hızı Grafiği	146
5.53. TP30 Takımla İşlenmiş Malzemelerde Yüzey Pürüzlülüğü (R _t)-Kesme Hızı Grafiği	146
5.54. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+%30 66µm Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R _a)-Kesme Hızı Grafiği	147
5.55. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+%10 66µm Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R _a)-Kesme Hızı Grafiği	148
5.56. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+%30 16µm Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R _a)-Kesme Hızı Grafiği	148
5.57. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+%10 16µm Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R _a)-Kesme Hızı Grafiği	149
5.58. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al Alaşımlarda Yüzey Pürüzlülüğü (R _a)-Kesme Hızı Grafiği	149
5.59. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+%30 66µm Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R _t)-Kesme Hızı Grafiği	150
5.60. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+%10 66µm Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R _t)-Kesme Hızı Grafiği	150

5.61. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+%30 16µm Kompozitlerde	
Yüzey Pürüzlülüğü (R_t)-Kesme Hızı Grafiği	151
5.62. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+%10 16µm Kompozitlerde	
Yüzey Pürüzlülüğü (R_t)-Kesme Hızı Grafiği	151
5.63. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al Alaşımlarda	
Yüzey Pürüzlülüğü (R_t)-Kesme Hızı Grafiği	152
5.64. HX Takımla İşlenmiş 2024Al Alaşımı ve 2024Al+%30 32µm Al_2O_3	
Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği	153
5.65. HX Takımla İşlenmiş 2024Al Alaşımı ve 2024Al+%30 32µm Al_2O_3	
Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_t)-Kesme Hızı Grafiği	153



TABLOLAR LİSTESİ

3.1. Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları	36
4.1. Aşınma Tipleri ve Bunlara Neden Olan Mekanizmalar	54
5.1. Matriks Alaşımının Kimyasal Analizi	69
5.2. Takviye Malzemesi Alüminyum Oksidin Kimyasal Bileşenleri	73
5.3. 16µm Al ₂ O ₃ Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı	74
5.4. 32µm Al ₂ O ₃ Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı	75
5.5. 66µm Al ₂ O ₃ Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı	76
5.6. Deney Numunelerinin Teorik ve Ölçülen Yoğunlukları ve Porozite Miktarları	80
5.7. 2024 Matriks Alaşımın ve MMK Malzemelerin Brinell Sertlik ve Çekme Mukavemeti Değerleri	91
5.8. Kullanılan Kesici Takımların Geometrik Özellikleri	94
5.9. Tornalama Testlerinde Kullanılan Kesme Şartları	94
5.10. Takım Ömrü Deneyleri	95

FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

5.1. Kompozit Üretim Ünitesinin Yandan Görünüşü	71
5.2. Kompozit Üretim Ünitesinin Önden Görünüşü	71
5.3. 2024Al Matriksin SEM Mikroyapı Fotoğrafı	82
5.4. Ağırlıkça %30 Al ₂ O ₃ Takviyeli Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafları	85
5.5. Ağırlıkça %20 Al ₂ O ₃ Takviyeli Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafları	86
5.6. Ağırlıkça %10 Al ₂ O ₃ Takviyeli Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafları	87
5.7. Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafları	88
5.8. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al Matriks Alaşımın V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	99
5.9. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al Matriks Alaşımın V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	100
5.10. TP30 Kesici Takımının 2024Al Matriks Alaşımın V=100m/dk ve V=210m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	101
5.11. K10 Takımının 2024Al+%30 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafı	110
5.12. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+%30 16µmAl ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	110
5.13. TP30 Kesici Takımının 2024Al+%30 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafı	111
5.14. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+%30 32µmAl ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	120

5.15. TP30 Kesici Takımının 2024Al+%30 32 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	121
5.16. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+%10 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey (Back Scattering) SEM Fotoğrafları	126
5.17. K10 Kesici Takımının 2024Al+%10 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	127
5.18. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+%20 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	130
5.19. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+%20 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	131
5.20. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+%30 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey Back Scattering SEM Fotoğrafları	134
5.21. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+%30 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	135
5.22. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+%30 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	136
5.23. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+%30 66 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	137
5.24. 2024Al Matriks Alaşımın ve 2024Al+%30 32 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin HX Kesici Takımla V=160m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	141
5.25. 2024Al Matriks Alaşımın ve 2024Al+%30 32 μ m Al ₂ O ₃ Kompozitin HX Kesici Takımla V=210m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey Back Scattering SEM Fotoğrafları	142
5.26. 2024Al Matriks Alaşımın HX Kesici Takımla V=100m/dk Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları	143

5.27. 66µm Al ₂ O ₃ ile Takviyeli Kompozitlerin K10 Takımıyla 100 ve 210m/dk	
Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları	155
5.28. 66µm Al ₂ O ₃ ile Takviyeli Kompozitlerin TP30 Takımıyla 100 ve 210m/dk	
Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları	155
5.29. 32µm Al ₂ O ₃ ile Takviyeli Kompozitlerin K10 Takımıyla 100 ve 210m/dk	
Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları	156
5.30. 32µm Al ₂ O ₃ ile Takviyeli Kompozitlerin TP30 Takımıyla 100 ve 210m/dk	
Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları	156
5.31. 16µm Al ₂ O ₃ ile Takviyeli Kompozitlerin K10 Takımıyla 100 ve 210m/dk	
Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları	158
5.32. 16µm Al ₂ O ₃ ile Takviyeli Kompozitlerin TP30 Takımıyla 100 ve 210m/dk	
Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları	158
5.33. Matriks 2024Al Alaşımının K10 ve TP30 Takımlarıyla 100, 160 ve 210m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları	159
5.34. 2024Al+0%20 16µm Al ₂ O ₃ Kompozitin K10 ve TP30 Takımlarıyla 160m/dk Kesme Hızında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları	159
5.35. Matriks 2024Al Alaşımının HX Takımıyla 100, 160 ve 210m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları	160
5.36. 2024Al+0%30 32µm Al ₂ O ₃ Kompozitin HX Takımıyla 100, 160 ve 210m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları	160

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Talaş derinliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
ASM	: Amerika Malzeme Normu (American Society for Materials)
ASTM	: Amerika Malzeme Test Normu (American Society for Testing and Materials)
BHN	: Brinel Sertlik Değeri (Brinell Hardness Number)
BUE	: Kesici ağızda talaş yığılması (Built-Up Edge)
CBN	: Kübik Bor Nitür
CFRP	: Karbon fiber takviyeli plastik kompozit
cm	: Santimetre
CNC	: Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (Computer Numerical Control)
CTP	: Cam Takviyeli Plastik
CVD	: Kimyasal Buhar Kaplama (Chemical Vapor Deposition)
dev	: Devir
dak	: Dakika
EDXR	: X-Işınları Analizi (Energy Dispersive X-Ray Analysis)
f	: İlerleme miktarı
gr	: Gram
GPa	: Giga paskal
HRC	: Rockwell Sertlik Değeri
HSS	: Yüksek Hız Çelikleri (High Speed Steel)
HV	: Vickers Sertlik Değeri
ISO	: Uluslar Arası Standart Organizasyonu (International Organization for Standardization)
K	: Kelvin
KB	: Krater Genişliği
kg	: Kilogram
km	: Kilometre

kN	: Kilo Newton
ks	: Kilo saniye
KT	: Maksimum Krater Derinliği
kW	: Kilo Watt
l	: Kesme uzunluğu
m	: Metre
max	: Maksimum
min	: Minimum
mm	: Milimetre
MMK	: Metal Matriksli Kompozit
MPa	: Mega paskal
n	: Devir sayısı
N	: Newton
OM	: Optik mikroskop
P	: Güç (Power)
PAN	: Poliakronitril (Polyacrylonitrile)
PCD	: Çok Kristalli Elmas (Polycrystalline Diamond)
QBSD	: Tarama detektörü (Back Scattering Detector)
R _a	: Ortalama yüzey pürüzlülüđu
R _t	: Yüzey pürüzlülüđu yüksekliđi
s	: Saniye
SC	: Sıkıştırılmal Döküm
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy)
SiC	: Silisyum Karbür
SiC _p	: Silisyum Karbür Partikülü
SiC _w	: Silisyum Karbür Whiskeri
STEM	: Taramalı Transmisyon Elektron Mikroskobu (Scanning Transmission Electron Microscopy)
TiC	: Titanyum Karbür
TiN	: Titanyum Nitür
TS	: Türk Standartları
U.K.	: İngiltere (United Kingdom)
USA	: Amerika Birleşik Devletleri (United States of America)

V	: Kesme Hızı
VB	: Yan Yüzey Aşınması Genişliği
ve diğ.	: Ve diğerleri
WC	: Tungsten Karbür
μm	: Mikro metre
$\emptyset$	: Çap
ρ	: Yoğunluk



1. GİRİŞ

Günümüzde metaller gibi klasik malzemelerin birçok özellikleri gelişen teknolojinin ihtiyaçları için yeterli olamayınca, daha üstün özelliklere sahip kompozit (karma) malzemeler üretilmeye başlanmış ve bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Klasik malzemelere göre kompozit malzemelerin en belirgin özellikleri hafiflik ve sağlamlıklarıdır. Yapılan araştırma ve geliştirmeler neticesinde, bu malzemelerin çekme, darbe, yorulma dayanımlarının artırılması, kimyasal direnç ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmuştur. Kompozit malzemeler yaygın şekilde havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat, askerî ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaya başlanmıştır (Tavman, 1997).

Mühendislik malzemelerinin yeni bir sınıfını oluşturan Metal Matriksli Kompozitler (MMK)'de, malzemenin özelliklerini iyileştirmek için metal matriks içerisine güçlü seramik takviye elemanları eklenmektedir. En yaygın kullanılan takviye elemanları SiC ve Al₂O₃ fiberleri ve partikülleridir. Metallerin süneklik ve tokluğu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastisite modülü özellikleri ile birleştirmeleri neticesinde son derece önemli mühendislik malzemeleri ortaya çıkmıştır (İbrahim ve diğ., 1991). Bu üstünlüklerinin yanında tekrar üretilebilir mikroyapı, mekanik özellikler ve düşük yoğunluklar açısından daha da önem kazanmışlardır (Roebuck ve diğ., 1989; Yamada ve diğ., 1988).

Son yıllarda havacılık, uzay ve otomotiv uygulamaları için yüksek spesifik mukavemet ve elastisite modülüne sahip, sürekli fiberlerle takviye edilmiş alüminyum matriksli kompozitler üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Bu kompozitler mükemmel özellikler göstermelerine rağmen takviye elemanlarının pahalı, üretim yöntemlerinin zor ve masraflı olmasından dolayı ticarî uygulama alanlarına aktarılamamaktadırlar. Ayrıca, yüksek fiber maliyetleri ve üretimlerindeki zorluklar nedeniyle bu MMK'lerin uygulamaları uzay ve askerî uçak endüstrileri gibi çok özel alanlarla sınırlı kalmıştır (İbrahim ve diğ., 1991; Stubbington, 1988). Son yıllarda geliştirilen kaliteli ve ucuz partikül ve kısa fiberler sayesinde MMK'ler ekonomik olarak üretilmeye başlanmıştır.

Kullanımları başta otomobil endüstrisi olmak üzere birçok endüstriyel alanda yaygınlık kazanmaktadır (Durman ve diğ., 1993; Duralcan, 1991) (Schwartz, 1984; Buck, 1987; Pai ve diğ., 1974; Krishman ve diğ., 1980; Ho ve Peterson, 1977; Alpas ve Embury, 1990; Şahin ve Murphy'den 1996a). Bu nedenle partikül takviyeli MMK malzemelerin üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi çalışmaları büyük önem arz etmektedir (Kamat ve diğ., 1989).

MMK'lerde matriks malzemesi olarak üzerinde en çok çalışılan alaşımlar arasında, düşük yoğunluğu ve ergime sıcaklığı, iyi dökülebilirliği, iyi mekanik ve fiziksel özellikleri ve birçok seramik takviye malzemesini kolay ıslatabilmeleri dolayısıyla alüminyum alaşımları başta gelmektedir (Mortensen ve diğ., 1988; Howe, 1993). Son yıllarda, çeşitli alüminyum alaşımlarının SiC ve alümina (Al_2O_3) gibi partikül ve kısa fiberler ile takviye edilmesiyle elde edilen kompozitler önemli ölçüde ilgi uyandırmıştır (Surappa ve Rohatgi, 1981; Schuster ve diğ., 1987; Mehrabian ve diğ., 1974; Sato ve Mehrabian, 1976; Hosking ve diğ., 1982; Yang ve Chung'dan, 1989) (Lane, 1990a). Sonuçta bunlar ekonomik olarak üretilince ticarî olarak kullanımları yaygınlaşmıştır. Bunlara örnek olarak; kısa alümina fiberlerle takviyeli Toyota dizel motor pistonları, SiC partikülleri ile takviye edilmiş piston kol ve diğer aksesuarları gösterilebilir (Donomoto ve diğ., 1983; Dinwoodie, 1987) (Taya ve Arsenault, 1989; DOD MMC's Inf. analysis centre, 1988; Kurnaz ve diğ.'den 1993; Aghajanian ve diğ., 1995; Durante ve diğ.'den 1997). SiC ya da Al_2O_3 ile takviye edilmiş alüminyum alaşım matriksli kompozitlerin uzay ve otomotiv endüstrilerindeki uygulamaları; pistonlar, silindir kafaları gibi malzemelerin tribolojik özelliklerinin çok önemli olduğu yerlerde gittikçe artmaktadır (Rohatgi, 1991). Bu malzemelerin üretimleri için, genellikle karıştırma ve infiltrasyon teknikleri tercih edilmektedir (Kurnaz ve diğ., 1993).

Partikül takviyeli MMK'lerin üretimi fiber takviyeli kompozitlere göre daha kolay ve ucuzdur. Partikül takviyeli MMK'lerin en ucuz ve kolay yolu kompozitlerin döküm tekniği ile üretilmesidir (Giro, 1987; Akçakaya ve diğ., 1990; Akçakaya, 1988; Surappa ve Rohatgi, 1981; Das ve diğ., 1988). Dökümle üretilen partikül takviyeli MMK'ler, özellikle sürtünmenin ve aşınmanın istenmediği alanlarda küçümsenmeyecek oranda endüstriyel uygulama alanına sahiptirler (Akbulut ve diğ., 1993). Örneğin, Al-

Grafit ve Al-SiC MMK pistonlar, yüksek aşınma dayanımı vermeleri ve yakıt tüketimini düşürmeleri açısından kayda değerdirler (Rohatgi ve diğ., 1986; DOD MMC's Inf. analysis centre, 1988). Temel kullanım alanları; havacılık, otomotiv, savunma ve diğer bazı yapısal uygulamalar olan MMK malzemeler, yatak, elektrik kontakt malzemesi ve silindir gömleği olarak da kullanılmaya başlanılmışlardır (Rohatgi ve diğ., 1986). Bu malzemelerin kullanımları oldukça yaygınlaşmış ve ileriki yıllarda daha da artacağı tahmin edilmektedir (Roebuck ve diğ., 1989).

MMK'ler arasında en çok çalışılan seramik partikül takviyeli kompozitlerdir. Bu tür kompozitler gerek kullanım alanının genişlemesi ve yüksek üretim potansiyeli ve gerekse üretim ekonomisi açısından tercih edilmektedir. Ancak üretimde karşılaşılan problemler nedeniyle, özellik ve yöntem geliştirme çalışmaları devam etmektedir (Gül ve İnem, 1997). Seramik partikül takviyeli MMK'lerin başarılı sonuçlar vermesi, seramik-matriks arasındaki arayüzey bağ mukavemetinin kuvvetli olmasına bağlıdır. Arayüzeyde bağ mukavemetini, dolayısıyla sıvı-katı arayüzeyinde, ıslanmayı etkileyen temel faktör partikül dağılımıdır. Arayüzeyde partikül dağılımının homojen olması için, partikül boyutunun, sıvının viskozitesinin ve katılaşma hızının yüksek olması gerekir. Ayrıca sıvı matriks alaşımı ve seramik partikül arasındaki yoğunluk farkının ve arayüzeyde sıcaklık gradyanının da düşük olması lazımdır. Bu faktörlerin yanında; partiküllerin eş eksenli olması, partikül aglomerasyonunu önlemek için sıvı matriksin karıştırılması ve sıvı-katı arayüzeyinin düz olması gerektiği de kaydedilmektedir (Stefanescu ve diğ., 1988).

Partikül takviyeli MMK üretimi için çok değişik metotlar olmasına rağmen, bu metotlardan en kolay ve en ucuz olanı seramik partiküllerin ergimiş sıvı metal içerisinde karıştırılması şeklinde olan Vorteks (sıvı metalürji) metodudur (Ray, 1988). Bu metot MMK çalışmalarında yaygın olarak kullanılan metotlardan biridir (Akbulut ve Durman, 1993). Bu metotta yapılan işlem, karıştırılmakta olan sıvı metalde oluşturulan vorteks içerisine takviye malzemelerinin verilmesi ve homojenliğin sağlanması için ilâve sonrası karıştırma ve döküm aşamalarından meydana gelmektedir (Pai ve diğ., 1995). Alüminyum alaşımlı MMK üretiminde kullanılan bu metot, Alcan tarafından ticarî olarak uygulanmıştır. Vorteks metoduyla iyi nitelikli MMK malzeme elde edebilmek

için karıştırma hızı, karıştırıcı kabiliyeti, karıştırma sıcaklığı, takviye hızı gibi işlem parametrelerinin hassas olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Kontrolün sağlanamadığı sistemlerde, düşük partikül boyutu ve yüksek hacim oranlarında, özellikle partiküller etrafında porozite oluşmakta ve partikül aglomerasyonu görülmektedir. Öyle ki, porozite oranı % 25-30'a kadar çıkabilmektedir (Ghost ve Ray, 1988; Akbulut ve diğ.'den, 1993). Bu metotta iki önemli problem görülmektedir: Birincisi, seramik partiküller genellikle sıvı metal tarafından ıslatılamamaktadır (Lloyd, 1994; Banerji ve diğ., 1984; Asthana ve Rohatgi, 1992). İkincisi, partiküller sıvı metalin yoğunluğuna bağımlı yoğunluklarına bağlı olarak sıvı metal içerisinde metalin yüzeyinde yüzme ya da dibe çökme eğilimi göstermektedirler (Hanumanth ve Irons, 1993; Lafreniere ve Irons, 1990; Stefanescu, 1993). Alüminyum alaşımlarında ıslatmayı geliştirmek için yaygın olarak kullanılan alaşım elementi magnezyumdur (Mortensen ve Jin, 1992). Magnezyumun sıvının, yüzey gerilimini düşürerek alüminyumun ıslatmasını geliştirmesinin yanı sıra, katı-sıvı arayüzeyinde kimyasal reaksiyonları teşvik ederek, ıslatmaya katkıda bulunduğu ifade edilmektedir (Sukumaran ve diğ., 1995). Islatmanın iyi sağlanması, partiküllerin sıvı metal içerisinde karışımını kolaylaştırdığı gibi, homojen partikül dağılımlı kompozit üretimini de geliştirmektedir (Rohatgi, 1991). Islatmanın iyi olduğu sistemlerde çekme-akma mukavemetlerinin, aşınma direncinin, sürünme direncinin ve yorulma ömrünün arttığı tespit edilmiştir (İbrahim ve diğ., 1991; Nair ve diğ., 1985; Karakaya ve Şehitoğlu, 1991).

Yumuşak bir metal matriks içerisine yüksek mukavemetli bir seramik takviye malzemesi eklenmesiyle daha iyi özelliklere sahip MMK'ler elde edilmesine rağmen, bu MMK'ler henüz otomotiv ve uzay uygulamalarında büyük oranlarda kullanılamamıştır. Bunun en büyük nedeni, MMK'lerin malî bakımdan üretim ve işlenebilme zorluğudur. Sıkıştırılmalı döküm gibi yakın-net şekilli üretim metotlarında bile, üretimin maliyeti minimuma indirilmesine rağmen, işlenme ihtiyacı tamamıyla yok edilememekte ve tasarlanan şekle ve ölçülere getirilmesi için malzemenin işlenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı MMK'ler için işlenebilirlik çok önemlidir (Chambers, 1996). Malzemenin işlenme maliyeti gelişmiş malzemelerin seçimindeki belirleyici faktörler arasında yer almaktadır (Hung ve diğ., 1995).

MMK'lerin işlenmesi (tornalama, frezeleme, matkapla delme, vida açma), onların abrasiv özelliklerine bağlı olarak oldukça zordur. Bu malzemelerin yüksek hacimlerde kullanılmasının esas limiti, yüksek abrasiv özelliklerine bağlı olarak işlenmelerinin zorluğu ve yüksek maliyetidir (Durante ve diğ., 1997). Bu malzemeler, kesici takımları hızlı bir şekilde aşındırmakta ve maliyeti arttırmaktadırlar (Durante ve diğ., 1996). Takımların bu hızlı aşınmasına bağlı olarak, MMK'lerin verimli bir şekilde işlenmesini gerçekleştirecek pahalı elmas takımların dışında bilinen hiçbir takımın olmadığı belirtilmektedir (Chen ve Miyake, 1989; Committee of Machinability JSPE, 1989). Partikül takviyeli alüminyum alaşım matriksli kompozitlerin daha yaygın kullanımı, onların zayıf işlenebilirliklerinden dolayı belirli bir şekilde zorlaşmaktadır. Bu MMK'ler içerdikleri seramik partiküllerden dolayı kesici takımların oldukça hızlı bir şekilde aşınmasına ve dolayısıyla yüksek takım maliyetine neden olmaktadır (Tomac ve Tonnessen, 1992). Titanyum nitür (TiN) ya da titanyum karbür (TiC) ile kaplı sinterlenmiş karbürler gibi takımlardaki aşınma oranı oldukça yüksek ve dolayısıyla bu takımlarla işleme oldukça pahalı olmaktadır. Elmas takımlarla (mono kristal elmas ya da çok kristalli elmas) aşınma çok düşük, ancak fiyat çok yüksek (TiN ya da TiC kaplı sinterlenmiş karbür takımların fiyatının en az 5-10 katı) olmakta ve takımın şekli çok sınırlı kalmaktadır (Durante ve diğ., 1997). Kesici takımların yüksek maliyeti, işleme operasyonlarının maliyetini arttırmaktadır. Bundan dolayı, üretkenliği artırabilen ve takım maliyetini minimum yapabilen kesme şartlarını bulabilmek için temel işlenebilirlik çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, 16 µm, 32 µm ve 66 µm boyutlu Al₂O₃ (alüminyum oksit) partikülleri ile ağırlıkça %10, 20 ve 30 (hacimce % 7.3, 15 ve 23.3) oranlarında takviye edilen 2024 Al alaşım matriksli MMK'lerin Vorteks metodu ile üretilmesi; elde edilen bu MMK'lerin partikül dağılımlarının, yoğunluklarının, porozitelerinin, sertliklerinin ve çekme mukavemetlerinin belirlenmesi; K10, HX ve TP30 kesici takımlarla değişik kesme hızlarında CNC torna tezgâhında takım aşınması, takım ömrü, talaş yapısı ve yüzey pürüzlülüğü dikkate alınarak işlenebilirliğinin incelenmesi; kompozitlerin mikroyapılarının ve aşınan takımların taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğraflarının çekilmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, kaynak taraması esas olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada metal matriksli kompozit malzemelerin üretim metotları; ikinci bölümde mekanik özellikler ve aşınma davranışları üzerinde durulmuştur. Üçüncü aşamada ise, metal matriksli kompozitlerin işlenebilirliği, seçilen takımlarla kesme parametreleri ve karşılaşılan problemler incelenmiştir.

Milliere ve Suery (1988), takviye elemanı olarak 1 mm uzunluğunda ve 10-15 μm çapında olan süreksiz Nicalon SiC fiberleri ve matriks olarak Al-ağırlıkça % 7Si alaşımı kullanılarak, basınçlı döküm ile takip edilen yarı katı karıştırma (compocasting) tekniğiyle MMK'ler üretmişlerdir (Yılmaz ve Altıntaş, 1994; Yılmaz ve diğ., 1995) (Mehrabian ve diğ., 1974; Mehrabian ve diğ., 1975; Sato ve Mehrabian, 1976; Levi ve diğ., 1978; Munitz ve diğ., 1979; Quigley ve diğ., 1982; Hosking ve diğ., 1982; Gibson ve diğ., 1982; Gibson ve diğ., 1984; Milliere ve Suery'den 1988). Bu üretilen kompozitlerin döküm ve dökümden sonra ısıtılma işlemi uygulanmış her iki durumunun mikroyapılarını ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, hacimce % 15'e kadar Nicalon SiC fiberleri içeren Al-Si alaşımlı kompozitler basınçlı dökümle takip edilen compocasting birleşik işlemiyle makroskobik olarak homojen fiber dağılımlı bir şekilde başarıyla üretilmişlerdir. Buna rağmen, işlemler ve katılaşma süresince büzölmeler sonucunda oluşan poroziteleri tamamıyla önlemek için 25 MPa basınç yeterli olmamıştır. Ayrıca, ötektik faz içindeki bazı fiberlerde, özellikle en düşük hacim oranlıda kopmalar gözlenmiştir. SiC fiberleri döküm ve dökümden sonra ısıtılma işlemi uygulanmış her iki durumdaki matriksin aşınma direncini, sertliğini ve basma mukavemetini takdire değer şekilde iyileştirmiştir. Basma dayanımı testleri oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda (100 °C, 200 °C ve 300 °C sıcaklıklarda) yapılmış, SiC fiberlerinin oda sıcaklığında ve 300 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda verimli olduğu ve 300 °C'de bile hâlâ matriksi güçlendirici olarak verimli olduğu, bu sıcaklıkta 0.15 hacim oranlı kompozitler için, matriks alaşımla kıyaslandığında basma gerilmesinde % 45 bir artış olduğu gözlenmiştir.

Yang ve Chung (1989), birleşik döküm (rheocasting) metoduyla üretilen, ağırlıkça % 1-20 oranlarında boksit partikülleri ile takviye edilmiş Al-12Si-1.4Cu-1.3Mg alaşımlı kompozitlerin aşınma direncini ve mekanik mukavemetini incelemişlerdir. Matriks olarak; genellikle motor pistonlarında kullanılan Al-12Si-1.4Cu-1.3Mg alüminyum alaşımı ve takviye elemanı olarak yüksek sıcaklıklarda mükemmel kimyasal ve termal kararlılık gösteren, düşük termal genleşme katsayılı ve yüksek sertliğe sahip, yaklaşık 50 μm 'den daha küçük boyutlu boksit partikülleri (%87.9Al₂O₃, %5.43SiO₂, %1.18Fe₂O₃, %3.78TiO₂, <%0.2K₂O+Na₂O, <%0.3MgO+CaO) kullanılmıştır. Bunlar tarafından ağırlıkça % 1-20 boksit partikülleri içeren ve ağırlıkça % 8 boksit partikülü ile birlikte partikül büyüklüğü yaklaşık 63-90 μm olan kaplanmamış grafit partikül içeren iki farklı kompozit grubu test edilmiştir. Külçeler işlenmeden önce ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Kompozitler üzerinde çekme ve sertlik testleri yapılmış, % 3.5 boksit içeren kompozit için çekme mukavemeti ve elastik mukavemetinde % 8'e kadar bir artış olduğu ve daha fazla boksitin eklenmesiyle bu değerlerin azaldığı gözlenmiştir. Boksit miktarının artmasıyla yumuşaklık azalmıştır. Kompozitlerin sertlik değerleri, matriks malzemeninkiyle benzer olmuştur. Laboratuvar bulguları bu sertlik değerlerinin büyük oranda matriks malzemenin mukavemetiyle ilgili olduğunu ve ince takviye elemanının sertlik üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. İnce partiküllerin kullanımı, abrasiv aşınma oranında bir azalma meydana getirmiş; bunun yanında 300 °C sıcaklıktaki mekanik mukavemetinin ve yumuşaklığının artışına ve kompozitlerin işlenebilirliğinde bir iyileşmeye neden olmuştur (Yang ve diğ., 1986).

Purazrang ve diğ. (1991), % 20 hacim oranında kısa δ -alümina fiberleriyle (saffil) takviye edilmiş ve basınçlı infiltrasyon işlemiyle üretilmiş olan AZ91 magnezyum alaşımlı (% 8.5-9.5Al, % 0.45-0.9Zn, % 0.15-0.3Mn, % 0.2Si, % 0.01Ni, dengeleyici Mg) metal matriksli kompozitlerin sertliklerini, çekme mukavemetlerini ve kopma tokluklarını incelemişlerdir. Takviye elemanı olarak yaklaşık 3 μm çapında ve 150 μm 'den daha küçük uzunlukta olan kısa alümina fiberler kullanılmıştır. Matriks magnezyum alaşımı da aynı döküm şartlarında üretilmiştir. Mekanik testler, hem sadece döküm halinde olan ve hem de dökümden sonra ısıtılma işlemine uygulanan numuneler üzerinde, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Döküm halinde ve ısıtılma işlemine uygulanmış

olan AZ91 alaşımlı matrikslerin mikroyapısı incelendiğinde, ısıtılma işleminin, alaşımların mikroyapısının homojenleşmesine neden olduğu ve aynı zamanda büyük ve güçlü olan $Mg_{17}Al_{12}$ bileşeninin tamamen çökmesini önlediği görülmüştür.

Bu çalışma sonucunda, kısa alümina fiberleriyle takviye edilmiş AZ91 magnezyum alaşımlı kompozitler, basınçlı infiltrasyon tekniğiyle başarılı bir şekilde üretilmiştir. Kısa alümina fiberleri, AZ91 magnezyum alaşımlarının sertliğini, çekme mukavemetini ve elastisite modülünü dikkate değer şekilde iyileştirmiş ve onun yumuşaklığını hafif bir şekilde azaltmıştır. Isıtılma işlemi yapılmamış dökümlerde, kompozitin rijitliği, çekme mukavemeti ve sertliği oldukça artmış, ancak yumuşaklığı ve kopma tokluğu matriks alaşımlarından hafif olarak daha düşük olmuştur. Isıtılma işlemi, takviyesiz AZ91 alaşımlarının kopma tokluğunu ve çekme mukavemetini hafif olarak iyileştirmiş, ancak arayüzey reaksiyonunun bir sonucu olarak kompozitin kopma tokluğunu belirli bir şekilde azaltmıştır. Takviyeli ve takviyesiz AZ91 alaşımlarının çekme ve kopma tokluğu testleri, kopmanın çok az plastik deformasyonlu gevrek olduğunu göstermiştir.

Tweed (1991), hacimce % 0-40 silisyum karbür partikülleri ile takviye edilmiş 2014 alüminyum alaşımlı MMK'lerin vakumlu sıcak preslemeyle üretimini incelemiştir. Matriks olarak soy gazla atomize etmeyle üretilen, ortalama 25 μm büyüklüğünde 2014 alüminyum tozları ve takviye elemanı olarak ortalama 12 μm büyüklüğündeki SiC partikülleri kullanılmıştır. Tozlar arasındaki ısıtılma iletkenliği iyileştirmek için, soğuk ön presleme yapılmış ve bunun etkisi araştırılmıştır. % 0-10 poroziteli numuneler elde edilmiştir.

Üniform ve kontrollü takviye elemanlı ve porozite miktarlı 2014 alüminyum-SiC kompozitler vakumlu sıcak preslemeyle üretilebilmiştir. Karışmış toz içindeki sıcaklıkların dengelenme hızı, 11 MPa'lık bir basınçla soğuk ön preslemeyle büyük bir oranda artmıştır. 2014 alüminyum-SiC karışımı tozların gazlarının atılması süresince, gazların atılma hızının ve oluşan toplam gazın 2014 alüminyum toz miktarına bağlı olduğu gözlenmiştir. Kompozitlerin oluşma hızları kalıp sıcaklığı, uygulanan basınç ve SiC toz miktarıyla etkilenmiştir.

Tomac ve Tonnessen (1992), hacimce % 14 SiC partikül takviyeli AlSi7Mg alüminyum matriksli kompozitlerin K10 ve PCD takımlarla tornada işlenebilirliği konusunda çalışmışlar ve bu çalışmanın temel konuları takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü olmuştur. Takviye elemanı olarak ortalama büyüklüğü 24 µm olan SiC partikülleri ve matriks olarak AlSi7Mg alüminyum alaşımı kullanılmıştır. SiC partiküllerinin yüksek oranının işlenebilirliği çok zorlaştırdığı görülmüştür. Sert SiC partikülleri takıma karşı direnç göstererek, takımda aşırı abrasiv yan yüzey aşınmasına neden olmuştur.

Kompozitler kaplanmış karbürlerle işlendiğinde, kaplamanın hızlı bir şekilde takımdan ayrıldığı ve takımın yan yüzeyinde nüfuzlu bir aşınmanın olduğu gözlenmiştir. Partikül takviyeli alüminyum matriksli kompozitlerin işlenmesinin, çok kristalli elmas takımlar ya da sementit karbür (K10) takımlar kullanılarak gerçekleştirilebileceği belirtilmiş, ancak yüksek takım aşınmasının işlenen parçaların yüzey kalitesini ve hassasiyetini etkilemesinden dolayı, sementit karbür kesici takımların bu kompozitlerin son talaş alma işleminde kullanılması tavsiye edilmemiştir. Çok kaplanmış sementit karbürlerle yapılan takım aşınması testlerinin sonuçları, takım aşınmasının oldukça hızlı, ancak düzgün olduğunu göstermiştir. Aynı kesme şartları altında yapılan takım ömrü test sonuçlarından, çok kristalli elmas takımın 62 dakikalık, buna karşın sementit karbür takımın ise yalnızca 2 dakikalık kesme işleminden sonra aynı takım aşınması değerine ulaştığı görülmüştür.

Kesme zamanını azaltmak ve her pasodaki talaş miktarını artırmak için, kabul edilebilir yüzey pürüzlülüğü oluşturan mümkün olan en yüksek ilerleme hızlarının kullanılması tavsiye edilmiştir. PCD takımlarla yapılan işlemlerle, taşlamada elde edilen yüzeylere benzer mükemmel yüzeylerin elde edilebileceği belirtilmiştir. SiC partiküllerinin kazınmasından dolayı, numunelerin yüzeylerinde dar gözeneklerin oluşmasına bağlı olarak kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün daha kötü olduğu ortaya çıkmıştır. PCD takımlarla, partikül takviyeli bu kompozitlerin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri çok düşük olmuştur. Bu testlerde, kesme kuvvetlerinin hemen hemen sabit olarak kaldığı görülmüş; bu kuvvetlerin kesme hızı ve takım aşınmasındaki artışla hafif bir şekilde etkilendiği vurgulanmıştır.

Shanker ve diğ. (1992), sıvı metal infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş, TaC tabanlı MMK'lerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Takviye elemanı olarak ortalama partikül büyüklüğü 1 μm 'den küçük olan TaC tozları ve matriks olarak saf Al ya da Cu kullanılmıştır. TaC tozlarından 33 MPa basınçla preslenerek hazırlanmış olan seramik masterlar, argon gazı atmosferinde sinterlenmiştir. Sonra sinterlenmiş TaC masterlarına Al ya da Cu infiltrasyon edilmiştir. TaC/Al MMK'ler, hacimce % 40-65 TaC ile kolaylıkla üretilmiş ve optimum infiltrasyon şartları, 0.1 MPa argon atmosferinde 0.5 saat zaman için 1500 °C sıcaklık olarak belirlenmiştir. İnfiltrasyon sıcaklığının 1500 °C'nin üzerine artırılmasıyla, kompozit malzemenin çekme mukavemeti ve yumuşaklığı azalmıştır. Optimum infiltrasyon şartlarında, % 48-63 TaC içeren kompozitlerde yaklaşık 440 MPa çekme mukavemeti ve % 7 uzama sağlanmıştır. Daha düşük TaC içeren kompozitlerde çekme mukavemeti daha düşük ve uzama miktarı daha yüksek olmuştur. TaC miktarının artmasıyla, elastisite modülü artmıştır. Cu/TaC kompozitler, hacim olarak yalnızca % 43-50 TaC oranlarında kolaylıkla üretilmiş ve infiltrasyon şartları 1500 °C, 1 saat, vakumlu (<100 Pa) olarak gerçekleştirilmiş ve bu şartlarda çekme mukavemeti yaklaşık 760 MPa, elastisite modülü 90-135 MPa ve uzama miktarı yaklaşık % 15 olmuştur.

Chen (1992), SiC whisker ile takviye edilmiş alüminyum alaşımlı kompozitlerin serbest hareketli döner takımlarla yüksek performanslı işlenebilirliğini incelemiş ve döner takımın performansını; takım aşınması, takım ömrü, kesme kuvvetleri ve işlenen yüzeylerdeki yapılar bakımından konvansiyonel kesici takımlarla kıyaslayarak deneysel ve analitik olarak hesaplamıştır. Matriks olarak AC8A alüminyum alaşımı; takviye elemanı olarak $\varnothing 0.1-1.0 \mu\text{m} \times 30-100 \mu\text{m}$ ölçülerinde ve hacimce % 18 içeren SiC whiskerleri kullanılmış ve bu kompozit malzemeye ısıtıl işlem uygulanmıştır. Kesici takımlar olarak sabit ve döner TiN kaplı K10 ve kaplanmamış K10 dairesel karbürler, kare şekilli K10 karbür ve aynı ölçülerde JDA10 çok kristalli elmaslar kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, sabit dairesel karbür ve kare şekilli karbür takımlardaki aşınmanın hızlı bir şekilde oluştuğunu, buna karşın aynı gruptaki döner karbür takımın kompozitin tornalanmasında çok kristalli elmas takım ile kıyaslanabilecek kadar çok yüksek aşınma direncine sahip olduğunu göstermiştir. Takım ömrü, kesme zamanı ve/veya kesme mesafesi olarak belirtilmiş ve uygulamada sabit dairesel takımın ömrü, kare takımın

ömrünün yaklaşık iki katı olmuştur. Takım aşınması, kesme hızı tarafından oldukça kötü olarak etkilenmiş, fakat işlenen mesafe ile orantılı olmuştur. Takımın körelmesinin temel nedeninin abrasiv aşınma olduğu ve yüksek hızlarda belirli bir oranda daha yüksek olmasına rağmen, kesme sıcaklığının etkisinin bu kompozitin işlenmesinde çok küçük olduğu belirtilmiştir (Chen ve Miyake, 1989; Committee of Machinability JSPE, 1989). Sonuç olarak, serbest hareketli döner takımın bu MMK'lerin işlenmesi için yüksek performanslı bir takım olduğu kanaatine varılmıştır.

Cronjager ve Meister (1992), sürekli ve kısa α -alümina fiberleri, kısa δ -alümina fiberleri ve α -alümina, SiC ve B₄C partikülleri ile takviye edilmiş alüminyum alaşımları (AlMgSiCu, AlMg3) ve döküm alaşımlarının (AlSi7, AlSi12CuMgNi) matkap ve freze tezgâhlarında değişik kesme ve ilerleme hızlarında K10 sementit karbür ve çok kristalli elmas kesici takımlarla takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi bakımından işlenebilirliğini incelemişlerdir. Bu araştırmacılar tarafından işleme parametreleri (ilerleme hızı, soğutma sıvısı ya da yağlama)'nin ve takviye elemanının takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmış; takviye elemanlarının sertliğinden dolayı temel takım aşınma mekanizmasının abrasyon olduğu bulunmuştur. Takım aşınması şekli incelendiğinde, fiberler ile partikül takviyeli alüminyumların matkapla delinmesi arasında bir fark olduğu görülmüştür. Fiberler kesici kenarda farklı bir kavis oluştururken, diğer tarafta partiküller yan kenar aşınmasına neden olmuştur (Müller, 1989; Meister, 1991; Cronjager ve Meister, 1991). Bu farklılığın muhtemel sebebinin kenarlardaki talaş yığılmasının olabileceği belirtilmiştir. SiC partikül takviyeli alüminyumun frezede işlenmesinde, yalnızca $f \geq 0.6$ mm/dev ilerleme hızlarında kesici kenarda talaş yığılması gözlenmiştir. Bu talaş yığılmasının koparılması sonucunda çentikler oluşmuştur.

Takviye edilmiş malzemelerin sementit karbür takımlarla matkapta işlenmesinde, kesme hızının artmasıyla takım aşınması da artmıştır. Kısa fiber takviyeli malzemelerin matkapta işlenmesinde, ilerleme hızının artmasıyla takım aşınması da artarken, sürekli fiberlerle takviyeli malzemelerde tam bunun tersi olmuş, ilerleme hızının artmasıyla takım aşınması azalmıştır. Bu farklılığın kesici kenardaki talaş yığılmasına bağlı olduğu, diğer yanda takım aşınmasındaki azalmanın kesici kenarlar ile

sert ve abrasiv fiberler ya da partiküller arasındaki temasın daha kısa zamanda olmasına bağlı olduğu belirtilmiştir. Frezede işleme testleri, takım aşınmasında partikül boyutunun, PCD takımın tane büyüklüğünün ve ilerleme hızının önemli olduğunu göstermiştir. Yüksek ilerleme hızlarında kaba taneli PCD takımın, düşük ilerleme hızlarında ise daha ince taneli PCD takımın uygun olduğu görülmüştür. Soğutma sıvısının kullanılması genel olarak takım aşınmasını ve kesme kuvvetlerini azaltmıştır. Frezeleme testleri; soğutma sıvısının ya da yağın aşınmayı artırıcı etkisini onaylamıştır. Soğutma sıvısının kullanılmasıyla daha yüksek takım aşınması belirlenmiştir. Oldukça fazla takım aşınmasına rağmen, takviyeli malzemelerdeki yüzey kalitesi, takviyesiz malzemelerinkinden daha iyi olmuştur. Beklenildiği gibi, yüzey pürüzlülüğü ilerleme hızının artmasıyla artmış ve çok ilginç olarak $f \geq 0.6 \text{ mm/dev}$ ilerleme hızları için kaba taneli PCD takımlar daha ince taneli PCD takımlardan daha iyi yüzeyler oluşturmuşlardır.

Zhu ve Liu (1993), % 7.5-30 hacim oranlarında α -alümina fiberleriyle takviye edilmiş ZA12 (% ağırlıkça, 11-11.5 Al, 0.5-1.0 Cu, 0.01-0.03 Mg ve dengeleyici Zn) matriks alaşımlı kompozitleri basınçlı döküm tekniğiyle üretmişler, bu kompozitlerin sertlik, çekme mukavemeti, young modülü, uzaması ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerini araştırmışlar ve fiber hacim oranının bu özellikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Mikroyapı incelendiğinde, alümina fiberlerinin matriks içerisinde boşluksuz olarak homojen bir şekilde dağıldığı ve planlı bir yerleşime sahip olduğu gözlenmiştir. Daha fazla büyütülerek bakılan mikroyapılarda, kompozitte büyük fiberlerin ve kopmuş fiberlerin bulunduğu görülmüştür. Oda sıcaklığında, α -alümina fiberlerin hacim oranlarının artmasıyla, kompozitin sertliği, young modülü ve aşınma direnci artmış, ancak diğer özellikleri (çekme mukavemeti ve uzaması) azalmıştır. Bu sonuçların, basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{ZA12}$ kompozitler ve basınçlı döküm metoduyla üretilmiş $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Al-30Zn}$ kompozitlerden elde edilen sonuçlara benzediği belirtilmiştir (Dent ve Murphy, 1986). Sıcaklık arttıkça ZA12 matriks alaşımının ve $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZA12}$ kompozitlerin çekme mukavemetleri azalmış ve yüksek sıcaklıklarda (80 °C'nin üzerinde) kompozitlerin çekme mukavemetleri, matriks alaşımından daha yüksek olmuştur.

Cornie ve diğ. (1988), Dent ve Murphy (1986), Das ve diğ. (1986) ve Dellis ve diğ. (1991)'nin farklı seramik tozlarla ve kısa fiberlerle takviye edilmiş ZA (Zn-Al) matriks alaşımlı kompozitler üzerinde yaptıkları çalışmalar, bu kompozitlerin temel matriks alaşımlarla kıyaslandığında mükemmel aşınma direncine, daha yüksek sertliğe ve modüle ve oldukça azalmış sürünme hızına sahip olduklarını göstermiştir.

Vives ve diğ. (1993), helisel indüksiyonlu karıştırıcı kullanarak MMK'lerin üretimini incelemişler, matriks olarak 2024 Al alaşımı ve takviye elemanı olarak % 0-30 hacim oranlarında ortalama büyüklüğü 29 μm olan SiC partikülleri kullanmışlardır. Bu çalışma ile, karıştırılan karışımla hiçbir malzeme temas etmeksizin yarı katı karıştırmalı dökümle MMK'lerin üretimi için yeni bir elektromanyetik aletin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kompozitlerin mikroyapıları incelendiğinde, hızlı bir şekilde katılaştırılmış kompozit karışımlarda takviye elemanının homojen dağıldığı ve matriks alaşımın tane yapısının daha küçük ve düzenli olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla, elektromanyetik yarı katı karıştırmalı dökümlü malzemelerde, matriksin mikroyapısı ve takviye elemanı dağılımının kontrolünde ısıyı alma hızının önemli rol oynadığı belirtilmiştir.

Hanumanth ve Irons (1993), hacimce % 15 silisyum karbür partikülleri ile takviye edilmiş A356 alüminyum alaşımlı MMK'lerin, ergimiş metali karıştırma yöntemiyle üretimindeki partiküllerin alüminyum alaşımı içine katılımını incelemişlerdir. Matriks olarak % 7.3Si ve % 0.33Mg içeren ve MMK'ler için sık sık kullanılan A356 alüminyum alaşımı; takviye elemanı olarak da, ortalama 17 μm çapında yeşil silisyum karbür partikülleri kullanılmıştır. Alüminyum alaşımlı MMK'lerin karıştırma yöntemiyle üretiminde, birinci olarak partiküllerin genellikle sıvı metalle ıslanmaması ve ikinci olarak partiküllerin yoğunluklarına bağlı olarak dibe çökme ya da yüzme eğilimi göstermesi gibi iki önemli problemin olduğu belirtilmiştir (Lafreniere ve Irons, 1990; Hanumanth ve diğ., 1993). Bu çalışmada, partiküllerin ıslanabilirliği problemi üzerinde durulmuştur.

Bu çalışma sonucunda, SiC partiküllerinin ergimiş A356 alüminyum alaşımına temasının yavaş olduğu, 15 dakika karıştırıldıktan sonra ergimiş metal içerisine eklenen

toplam SiC miktarının yalnızca % 16'sının metale karıştığı, ancak ergimiş metale magnezyum eklenmesiyle bu oranın % 36'ya ulaştığı belirtilmiştir. Metale karışma oranı, metalin yüzey gerilmesini azaltan magnezyumun eklenmesiyle ve bu çalışmada elde edilen 550 dev/dak'lık optimum karıştırma hızının kullanılmasıyla iyileştirilmiştir.

Liu ve diğ. (1993), hacimce maksimum % 30 Nb içeren Cu-Nb kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Cu-Nb kompozitler, Cu ve Nb elektrotlarının arkla ergitilerek döküm yapılmasıyla elde edilmişlerdir (Amateau ve diğ., 1979). Silindirik şeklinde dökülen bu külçe Cu-Nb kompozitler daha sonra ekstrüzyon ya da haddelemeyle deformasyona uğratarak levha ya da çubuklar hâline getirilmiştir. Burada Cu matriks olarak, Nb fiber takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Elde edilen bu kompozitler, diğer yaygın kompozitlerden farklı olmuştur, çünkü burada Nb fiber malzeme ve Cu matriks malzemenin her ikisi de yumuşaktır. Nb oranının Cu-Nb kompozitlerin tribolojik davranışı üzerindeki etkisi araştırılmış, kompozit içindeki Nb oranının artmasıyla sürtünme katsayısının azaldığı ve hacimce % 20 Nb içeren Cu-Nb kompozitin en iyi aşınma direncine sahip olduğu bulunmuştur. Bu kompozitler, yüksek mekanik mukavemet ve yüksek termal ve elektriksel iletkenliklerin bir bileşimini göstermiştir (Renaud ve diğ., 1989).

Akbulut ve diğ. (1993), farklı boyut (75, 63 ve 36 μm) ve hacim oranlarındaki (% 5-20) SiC partiküllerinin vorteks metodu ile LM13 alaşımına ilâvesiyle Metal Matriksli Kompozitler elde etmişlerdir. Kompozitlere ısıtma işlemi uygulanmış, döküm halinde ve ısıtma işlemi görmüş malzemelerdeki sertliğin, artan SiC hacim oranıyla ve azalan partikül boyutuyla yaklaşık doğrusal bir şekilde arttığı görülmüştür. Fakat artış hızı, ısıtma işlemi görmüş malzemelerde daha yavaş olarak gerçekleşmiştir. Metalografik incelemeler, SiC partikül boyutunun artması ile homojen bir dağılım sağlandığını göstermiş; ayrıca düşük boyuta sahip partiküllerin partikül topaklanmasına (aglomerasiyonuna) ve porozite oluşumuna yol açtıklarını ortaya çıkarmıştır. Matrikste SiC hacim oranının artmasının mikroyapıyı modifiye ettiği (iyileştirdiği) ve ayrıca %15-20 SiC hacim oranlarında primer Si kristallerinin oluşumuna sebebiyet verdiği gözlenmiştir. Aynı olayın Rohatgi ve arkadaşları tarafından da gözlemlendiği belirtilmiştir (Rohatgi ve diğ., 1988).

Durman ve diğ. (1993), alüminyum-silisyum esaslı LM13 alaşımı, % 10, 15, 20, 25 ve 30 hacim oranlarında kısa saffil (δ -alümina) fiberleri içeren mastarlara, basınç altında (700-750 mmHg vakum altında) infiltre ederek MMK'ler üretmişlerdir. Bu çalışmada, kalıp sıcaklığının 450°C ve sıvı metal sıcaklığının ise 800-850°C'de optimum üretim şartlarını oluşturduğu bulunmuş ve 3 MPa gaz basıncı ile bütün hacim oranlarındaki mastarların infiltrasyonu, herhangi bir makro porozite olmaksızın başarıyla gerçekleştirilmiştir. Yine yoğunluk tayini sonucu, kompozitlerin içerdikleri porozite miktarlarının artan saffil hacim oranı ile arttığı bulunmuştur. Matriks LM13 alaşımı ve üretilen kompozitlere ısıtma işlemi uygulanmış; ısıtma işlemi uygulanan ve uygulanmayan durumlarda kompozitlerin sertliklerinin artan saffil hacim oranı ile arttıkları görülmüştür. Bu artış özellikle % 10-15 saffil hacim oranı aralığında hızla gerçekleşmiştir. Isıtma işlemi sonrası LM13 alaşımının ve kompozitlerin sertlikleri önemli ölçüde artmış, bu artış %15 saffil hacim oranında maksimuma ulaşmış ve daha sonra hızla azalmıştır.

Kurnaz ve diğ. (1993), yaptıkları bu çalışmada çinko-alüminyum esaslı ZA12 alaşımını % 10, 15, 20 ve 30 hacim oranlarında kısa saffil (δ -alümina) içeren mastarlara, 0.1-0.3 MPa arasında değişen basınçlarda infiltre ederek MMK'ler üretmişlerdir. Üretilen malzemelerin belirlenen yoğunlukları sonucu, her bir hacim oranındaki master için infiltrasyonun belirli bir basınç aralığında gerçekleştiği görülmüştür. Fiber hacim oranının artması, bu basınç aralığını yüksek basınç değerlerine kaydırmış ve buna bağlı olarak mastarların dolma oranını azaltmıştır. Ayrıca elde edilen malzemeler üzerinde yapılan sertlik ölçümleri ve sürtünmeli aşınma deneyleri; kompozitlerin fiberlere dik ve paralel kesitlerindeki sertliklerinin birbirlerine eşit olduğu ve her ikisinin de fiber hacim oranı ile doğrusal olarak arttığı, aşınma miktarlarının ise artan saffil fiber hacim oranı ile önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur. Matriks ZA12 alaşımı ve kompozitlerin aşınma miktarları yükün artmasıyla artmış, fakat artış hızı ZA12 alaşımı ve % 10 saffil içeren kompozitte yüke daha fazla bağımlı olarak gerçekleşmiştir.

Yılmaz ve Altıntaş (1993), SiC parçacık takviyeli Al-% 5Mg esaslı kompozitleri modifiye edilmiş bir döküm tekniği ile üretmişler ve bu kompozitlerin mikroyapı ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir (Yılmaz, 1991). Matriks olarak %99.5

saflıktaki ETIAL-7 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak kullanılan ortalama 86 μm çapındaki SiC parçacıklarının yüzeyleri alüminyum içine karıştırılmadan önce 1000 °C’de 1.5 saat süre ile suni olarak oksitlendirilmiş ve yüzeyde parçacıkların alüminyum alaşımı tarafından daha iyi ıslatılmasını sağlayan bir silisyum dioksit (SiO_2) tabakası oluşturulmuştur (Sritharan, 1990; Suery, 1989). Ayrıca parçacıklar ile matriks arasındaki bağı kuvvetlendirmek ve parçacıkların daha iyi ıslanması için alüminyum içine % 5 Mg katılmıştır. Daha sonra döküm halindeki bu kompozitler sıcak ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Sonuç olarak döküm tekniği ile üretilen ve sıcak ekstrüzyon işlemi ile özellikleri iyileştirilen SiC parçacık takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerde parçacıkların matriks içinde homojen bir dağılım gösterdiği ve matriks ile parçacıkların arasında kuvvetli bir bağ olduğu ve bu kompozitlerin aşınma dayanımlarının artan SiC parçacığı oranı ile arttığı görülmüştür.

Purazrang ve diğ. (1994), kısa alümina fiberlerinin hacim oranlarının magnezyum alaşımlı kompozitlerin mekanik özelliklerine olan etkisini incelemişler, oda ve yüksek sıcaklıklarda çekme ve kopma tokluğu testleri yapmışlar ve elektron mikroskobu ve optik mikroskopla kompozitlerin mikroyapılarını incelemişlerdir. Matriks malzeme olarak uygun ısıl işlem yapılabilen AZ91 magnezyum alaşımı; takviye elemanı olarak da ortalama çapı 3 μm , uzunluğu 150 μm ve kopma mukavemeti 2000 MPa olan kısa δ -alümina fiberleri kullanılmıştır. Metal matriksli kompozitler basınçlı infiltrasyon tekniğiyle hazırlanmıştır. Kompozitin mikroyapısı incelendiğinde, takviye elemanı dağılımının hemen hemen iki boyutlu olduğu ve bazı fiberlerin infiltrasyon işlemiyle kırıldığı gözlenmiştir. Matriks alaşım ve alümina fiberler arasındaki yeterli kimyasal reaksiyon, fiber/matriks arayüzeyinde iyi bir bağ oluşturmuştur. Takviye elemanının artmasıyla, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda kompozitlerin çekme mukavemetleri artmış, bununla beraber magnezyum alaşımı içerisine fiberlerin eklenmesi matriksin kırılganlaşmasına neden olmuş ve sonuç olarak takviye elemanının artmasıyla kompozitlerin kopma uzaması azalmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, süreksiz kısa alümina fiberlerle takviye edilmiş magnezyum matriks alaşımlarının 100 °C’e sıcaklığa kadar kullanılabileceğini göstermiştir.

Clark (1994), ortalama 15 μm büyüklüğündeki SiC partiküllerinden hacimce % 20 içeren alüminyum alaşımlı kompozitlerin (Al-% 20 SiC_p MMK) Syndite çok kristalli elmas kesici takımlarla işlenebilirliğini inceleyerek, bu kesici takımları K10 tungsten karbür takım ile kıyaslamıştır. Otomobilin fren diskleri (Jennings, 1993) olarak üretilen bu Al-% 20 SiC_p MMK'ler üzerinde yapılan tornalama, frezeleme, delme ve boşaltma gibi işlemler sonucunda, takım ömrü ve yüzey kalitesi bakımından en iyi kombinasyonu Syndite CTB025 (kaba taneli) PCD takımı göstermiş, bununla beraber bazı delme işlemlerinde CTB010 (orta taneli) PCD takımı da başarılı bir şekilde kullanılmıştır. 0.3 mm/dev ilerleme hızının altında, 400 m/dak kesme hızının üzerinde Syndite PCD kesici takımla 1 μm yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerinden daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir.

Seo ve Kang (1995), sıvı metal karıştırılmalı basınçlı döküm tekniğiyle üretilmiş Al-% 15 SiC_p kompozitlerinin mekanik özelliklerini ve yine uygulanan basıncın partiküllerin dağılma karakteristiklerine olan etkisini incelemişlerdir. Kompozitler 70, 100 ve 130 MPa basınçlar uygulanarak hazırlanmıştır. Optimum sonuçlar, 680-700 °C ergimiş metal sıcaklığı, 750 dev/dak karıştırma hızı ve 5 dakika karıştırma zamanı ile elde edilmiştir. 22 μm büyüklüğündeki SiC partikülleri, 2 gr/dak'lık sabit bir hızla karışıma düzenli olarak eklenmiştir. Kalıbın sıcaklığı 220 °C, sıkıştırma hızı 17-20 mm/s ve basıncın uygulanma süresi 30 saniye olmuştur. En iyi sonuçlar 100 MPa basınçta elde edilmiş, 130 MPa basınç uygulandığında birçok partikülün kırıldığı gözlenmiş ve uygulanan basınç arttıkça malzemenin sertliği de artmıştır. Uygulanan basınç, ıslanabilirliği ve Al alaşımı ile SiC_p partikülleri arasındaki bağlayıcı kuvveti iyileştirmiş ve malzemenin çekme mukavemetini yaklaşık olarak % 10 artırmıştır.

Liauo ve diğ. (1995), basınçlı döküm metoduyla üretilmiş, % 12 hacim oranında Al₂O₃ kısa fiber (saffil) ile takviye edilmiş AC8A/% 12 Al₂O₃ bir kompozitin mikroyapısal gelişimini ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Matriks olarak ağırlıkça bileşenleri, Al-% 12 Si-% 1.2 Ni-% 1 Cu-% 1 Mg-% 0.7 Fe-% 0.1 Mn-% 0.1 Cr olan AC8A alüminyum alaşımı ve takviye elemanı olarak çapı 1 ile 8 μm arasında değişen ortalama çapı 3 μm ve ortalama uzunluğu 500 μm olan kısa δ -alümina (saffil) fiberleri kullanılmıştır. İnfiltrasyon, yaklaşık 40 MPa basınç uygulanarak yapılmıştır.

AC8A alaşıma ve kompozitlere ısıtıl işlem uygulanmıştır. Ön ısıtıl işleminden sonra AC8A alaşımlarının ve kompozitlerin çekme ve yorulma davranışları 25 °C ile 350 °C'ler arasında incelenmiştir; oda sıcaklığında kompozitlerin matriks alaşımı ile benzer mukavemet gösterdiği, ancak 250 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda daha yüksek mukavemet gösterdiği belirlenmiştir. Alaşımlar ve kompozitlerin her ikisinin mukavemet seviyeleri, uzun ısıtıl işleminden sonra özellikle 250 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda belirli bir şekilde azalmış, 150 °C ile 350 °C arasında 400 saatlik ısıtıl işlem sonucunda matriks malzemedeki güçlendirici parçacıkların büyümesiyle mukavemette bir azalma ve yumuşaklıkta ise bir iyileşme olmuştur.

Hung ve diğ. (1995), döküm ve toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş SiC partikül takviyeli alüminyum alaşımlarının konvansiyonel torna tezgâhında işlenebilirliğini incelemişler; HSS, TiN/HSS, WC, TiN/WC, CBN (seramik bağlayıcı) ve PCD kesici takımlarla alın ve yüzey tornalama işlemleri yapılarak kesici takımlardaki yan yüzey aşınmaları, takım ömürleri, ekonomik işlenebilirlik indeksi ve alt yüzeylerde meydana gelen hatalar üzerinde çalışılmış ve kıyaslamalar yapılmıştır. Ağırlıkça % 22 SiC partikülü içeren A359 matriksli kompozitin 0.5 mm talaş derinliğinde, 0.07 mm/dev ilerleme hızında ve soğutma sıvısı kullanılmaksızın WC (K10) kesici takım ile yapılan alın ve yüzey tornalama testleri sonucunda Taylor denklemindeki C ve n değerleri sırasıyla 22.83 ve 0.92 olarak hesaplanmıştır. Büyük ve sert SiC partiküllerinin işlenmesinde ince TiN kaplı HSS ya da WC takımları, kaplanmamış takımlara göre küçük bir avantaj sağlamıştır (Lane, 1993). CBN ve PCD takımlarıyla işlemede dökümle üretilmiş MMK'lerin kesme hızları, toz yöntemiyle üretilmiş MMK'lerinkinden sırasıyla 5 ve 10 kat daha büyük olmuş ve bununla muhtemel nedenleri SiC partiküllerinin dağılımı ve şekli, dökümde oluşan poroziteler ve bağ mukavemeti gösterilmiştir. SiC partiküllerinin düzensiz dağılımının kesme kuvvetini artırdığı ve dolayısıyla takım aşınmasına neden olduğu, yine SiC partiküllerinin şeklinin takım aşınmasına neden olduğu belirtilmiştir (Lane, 1993). Bu çalışmanın sonunda, belirtilen kesme şartları için Al-SiC partiküllü MMK'lerin işlenmesinde kaba talaş için kaplanmamış WC kesici takımları ve son işlem için PCD kesici takımları tavsiye edilmiştir. İşlenebilirlikteki farklılık, döküm ya da toz yöntemi proseslerine çok az olarak bağlı olmuştur. İşlemeye bağlı alt yüzey hatasını minimuma indirmek için PCD

takımının kullanılması gerektiği vurgulanmıştır (Hung ve diğ., 1993). Toz yöntemiyle ve dökümle üretilmiş MMK'lerin yüzey mukavemeti, partikül kırılması, arayüzey ayrılması, partiküllerin tamamıyla matriksten ayrılması ve matriksin işlemeyle sertleşmesiyle etkilenmiştir.

Akbulut ve diğ. (1995), Vorteks metodu kullanılarak, 75, 63 ve 36 μm tane boyutlarında ve % 5, 10, 15 ve 20 hacim oranlarında $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ partikülleri ile takviye edilen Al-Si (LM13) esaslı MMK'leri başarılı bir şekilde üretmişler ve bu kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yoğunluk ölçümleri, porozitenin çok düşük olduğunu göstermiştir. Takviyesiz alaşım ve kompozitlere ısıtılma işlemi uygulanmış, partikül hacim oranının artması ve boyutunun düşmesi ile sertlik ve maksimum çekme mukavemetinin arttığı saptanmıştır. Ancak her iki özellikteki artış hızının, ısıtılma işlemi uygulanan MMK'lerde daha yavaş olduğu belirlenmiştir. Bu davranışın muhtemel sebebinin $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ partiküllerinin matriks alaşımının yaşlanma hızını artırmalarından ileri geldiği sonucuna varılmıştır.

Akbulut ve Durman (1995), geleneksel piston malzemesi olan LM13 (ETIAL-145) alaşımını kullanarak santrifüj döküm yöntemi ile yoğunluğu sıvı matriks alaşımından yüksek olan SiC partiküllerini, döküm dış yüzeyinde biriktirip, aşınmaya dayanıklı bir tabaka oluşturmaya çalışmışlar; tabaka derinliği ve sertliğinin partikül boyutu ve hacim oranı ile değişimini incelemişlerdir. Kompozit dökümle üretilen ve üç farklı boyut (36 μm , 17 μm ve 9 μm) ve hacim oranında (% 5, 10 ve 15) SiC partikül takviyeli alüminyum-silisyum (Al-Si) MMK'ler, ön ısıtılmış yatay tip bir santrifüj cihazında dökülmüşlerdir. Kompozit döküm ve santrifüj döküm tekniklerinin beraber kullanılması ile üretilen bu SiC partikül takviyeli MMK'lerde, santrifüj dökümde SiC partikülleri döküm dış kısmına radyal olarak hareket edip silindirik parçanın dış yüzeyinde birikmişlerdir. SiC partiküllerince zengin dış tabaka kalınlığı, artan partikül hacim oranı ve azalan partikül boyutu ile artmıştır. Döküm kesitinde yapılan sertlik ölçümleri ile sertlik profili elde edilmiş ve dış yüzeylerin maksimum sertliğe sahip oldukları, ama iç kesite gidildikçe SiC partiküllerinin hacim oranlarının sürekli azalmasına bağlı olarak sertlikte sürekli düşüşler meydana geldiği görülmüştür.

Çırakoğlu ve diğ. (1995), yaptıkları çalışmada AlN-B₄C/Al kompozitlerinin basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretimini incelemişlerdir. Alüminyum matrisli AlN-B₄C kompozit malzemelerinin üretimi infiltrasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada alüminyum metali ile ıslanma davranışı farklı iki seramik malzeme olan AlN (ortalama partikül boyutu 13.6 µm) ve B₄C (ortalama partikül boyutu 5 µm) tozları karıştırılarak kullanılmıştır. SEM incelemesi ve birim yüzey alan ölçüm sonuçları çalışılan bu sistemde sinterleşmenin 1600 °C’de başladığını göstermiştir. Çalışılan şartlarda başarılı bir infiltrasyon için B₄C içeriğinin % 4’ün ve sinterleme sıcaklığının 1600 °C’nin üzerinde olması gerektiği belirtilmiştir. Daha yüksek B₄C yüzdelerinde (% 10 gibi) daha düşük sinterleme sıcaklıklarından (1400 ve 1500 °C) sonra bile infiltrasyon gerçekleşmiştir. Vakum altında yapılan infiltrasyon deneyleri, kapiler etkinin artması sonucu daha iyi sertlik değerleri vermiştir.

Kang ve Seo (1996), metal matrisli kompozit masterlarının basınçlı döküm işlemleri süresince deformasyon davranışındaki üretim parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. Matris olarak 2024Al kullanılmış, masterlar ise 3 µm çaplı kısa δ-alümina (Al₂O₃) fiberleri ile silika bağlayıcıdan oluşturulmuştur. Kompozit malzeme basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmiştir. Sonuç olarak, infiltrasyon süresince meydana gelen büyük bir master deformasyonunun nedeni, fiberlerin kırılmasına ve fiberler arasına ergimiş metalin zayıf olarak dolmasına bağlı olan düşük çekme mukavemetinin olabileceği, kompozitlerin çekme mukavemetinin fiber hacim oranına diğer parametrelerden daha güçlü bir şekilde bağlı olduğu, fazla bağlayıcının kullanılmasının ve yüksek master sıcaklığının kompozitin çekme mukavemetini azalttığı ve uygulanan basıncın kompozitlerin çekme mukavemetini dikkate değer bir şekilde etkilemediği ortaya çıkmıştır.

Ma ve diğ. (1996), SiC partikül takviyeli 2024 alüminyum alaşımlı kompozitlerin kaymalı aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Matris olarak ortalama büyüklüğü 60 µm olan 2024 alüminyum alaşımı tozları (% ağırlıkça, Al-4.2Cu-1.47Mg-0.56Mn-0.02Zr-0.4Si-0.27Fe) ve takviye elemanı olarak ortalama büyüklükleri 3.5, 10 ve 20 µm olan α-SiC partikülleri kullanılmıştır. Partikül takviyeli kompozitler hacimce %0, 15, 20 ve 30 oranlarında SiC_p ile takviye edilmiş ve toz metalürjisi tekniği

kullanılarak üretilmiştir. Yapılan sertlik testleri sonuçları; kompozitlerin sertliğinin, SiC partiküllerinin hacim oranının artmasıyla arttığını, ancak SiC partikül boyutlarının artmasıyla azaldığını göstermiştir. Alüminyum alaşımının aşınma özellikleri, SiC partiküllerinin eklenmesiyle belirli bir şekilde iyileşmiş ve kompozitlerin aşınma direnci yüksek yük altında takviyesiz alaşımının yaklaşık iki katı olmuştur. SiC partiküllerinin hacim oranının ve boyutlarının artmasıyla, kompozitlerin aşınma direnci artmıştır. SiC partikül boyutlarının kompozitlerin aşınma direnci üzerindeki etkisinin, SiC partiküllerinin hacim oranınıninkinden daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Chambers (1996), sıkıştırmalı döküm metoduyla üretilen, hacimce % 5 saffil (alümina fiber) ve % 15 SiC ile takviyeli Al-5Mg alaşımlı MMK'lerin takım aşınması, takım ömrü, kesme parametreleri, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi bakımından K10 ve PCD takımlarla işlenebilirliğini incelemiş ve bu MMK'lerin işlenebilirliğini, hacimce % 15 SiC ile takviye edilmiş Duralcan (A356) matriksli kompozit ile kıyaslamıştır.

Duralcan/SiC kompozitin Al-5Mg matriksli kompozitten belirli bir şekilde daha kolay işlendiği bulunmuş ve bunun abrasiv aşınma mekanizması üzerinde matriksin etkisinin bir sonucu olduğu vurgulanmıştır. Her iki MMK ile yapılan testler sonucunda, PCD takımının performansının sementit karbüründen belirli bir şekilde daha iyi olduğu, PCD takımındaki takım aşınma oranının daha düşük olduğu ve Duralcan/SiC kompozitin kesme kuvvetlerinin Al-5Mg matriksli kompozitinkinden daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Yüzey kalitesi (R_a), 20-800 m/dak kesme hızlarında ölçülmüş ve R_a bakımından her iki kompozit için, PCD kesici takımının K10 sementit karbüre göre daha düşük kaliteli bir yüzey oluşturduğu ortaya çıkmıştır.

Barnes ve diğ. (1996), ağırlıkça % 18 SiC partikülleri ile takviye edilmiş 2618 alüminyum alaşımlı (% ağırlıkça 0.24 Si, 1.04 Fe, 2.63 Cu, 1.51 Mg, 0.08 Zn, 0.08 Ti, 1.08 Ni ve dengeleyici Al) MMK'lerin CNC torna tezgâhında işlenmesinde iş parçasının sıcaklığının işlenebilirlik üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Oda sıcaklığında (20 °C) ve 200, 300 ve 400 °C sıcaklıklara ön ısıtılmış numuneler üzerinde, TiC/Al₂O₃ kaplı sementit karbür takımlarla (TNMA 220408, KC910) kesme hızı 20-90

m/dak, ilerleme hızı 0.2 mm/dev, talaş derinliği 2 mm olan ve soğutma sıvısı kullanılmayan kesme şartları altında yapılan kesme işlemlerinde 0.3 mm yan kenar aşınması takım ömrü kriteri olarak alınmıştır.

Sonuçlar, numunelerin sıcaklığının artmasıyla aşınma hızının arttığını ve aşınma mekanizmasının da abrasyon olduğunu göstermiştir. Ayrıca kenarlarda yığılma (BUE) olduğu gözlenmiştir. Alüminyum alaşımlı matriks malzeme, difüzyon aşınması ya da plâstik deformasyon oluşması için yeterince yüksek sıcaklığın ya da gerilimlerin oluşmasına neden olamazken, kesici takımdan daha sert olan SiC parçacıkları abrasyon aşınmasına neden olmuştur. İnce taneli karbür takımlarla MMK'ler işlendiğinde, kopma aşınmasının olduğu da gözlenmiştir (Cronjager ve Biermann, 1991). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, kullanılan parametreler dahilinde MMK'lerin ön ısıtılmasının onun işlenebilirliği üzerinde zararlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Şahin ve Murphy (1996a,1996b ve 1996c), metal infiltrasyon tekniğiyle üretilmiş, % 16, 27 ve 32 hacim oranlarında silisyum karbür ile kaplı tek yönlü bor fiberlerle takviye edilmiş, alüminyum alaşımlı kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Matriks olarak 2014 alüminyum alaşımı (% 4.5 Cu, % 0.8 Si, % 0.8 Mn, % 0.6 Mg ve dengeleyici Al); takviye elemanı olarak 2.5 µm kalınlığında silisyum karbür ile kaplı, 15 µm çapında tungsten filament içeren, 140 µm çapındaki sürekli bor fiberleri B(SiC) kullanmışlardır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, MMK'lerin ve matriks 2014 alaşımının sertliklerinin B(SiC) fiber hacim oranı ile doğrusal olarak arttığı ve yoğunluklarının ise doğrusal olarak azaldığı gözlenmiş, sertlikteki artma hızının çok büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Kuru kaymalı aşınma koşulları altında sabit kayma hızında, farklı sabit yüklerde MMK'lerin hacimsel aşınma hızları matriks alaşım ile kıyaslandığında oldukça az olduğu görülmüş, ancak fiber oranlarının aşınma hızlarına etkisinin çok küçük olduğu gözlenmiştir. Kompozitlerin ve matriks alaşımın hacimsel aşınma hızları yükün artmasıyla artmış, kompozitler için bu artışın çok küçük olduğu, fakat takviyesiz 2014 alüminyum alaşımı için bu artışın çok büyük olduğu belirlenmiştir. Kompozitlerin sürtünme katsayılarının matriks alaşımınıninkinden daha büyük olduğu bulunmuştur.

Lim ve Clegg (1996), melez döküm (hybrid investment casting) işlemiyle, MMK'ler üretmişler ve onların mekanik özelliklerini inceleyerek, sıkıştırılmalı döküm ve kalıplı döküm işlemleriyle üretilen kompozitlerle kıyaslamışlardır (Bhagat, 1991). Melez döküm işlemiyle, LM25 alüminyum alaşımı ve % 10 hacim oranlı alümina fiber master kullanılarak 12MPa infiltrasyon basıncında, özel ergitme katkı maddeleri, fiber kaplamaları ya da soygaz atmosferi kullanılmaksızın seramik bir kalıp içinde başarılı bir şekilde MMK dökümü yapılabilmektedir. Bu dökümün mekanik özellikleri, sıkıştırılmalı döküm ve kalıplı döküm ile yapılanlarınkinin arasında olmuştur. Melez döküm işlemiyle üretilmiş kompozitin çekme dayanımı, kalıplı döküm işlemiyle üretileninkinden % 17 daha yüksek olmuştur. Matriks alaşımlı ve kompozit numunelere ısı işlemler uygulanmıştır. Bu ısı işlemler, düşünülen her bir işlemle (sıkıştırılmalı, kalıplı ve melez döküm) üretilmiş kompozit malzemeler ve matriks alaşımların çekme dayanımını iyileştirmiştir.

Jiang ve diğ. (1996), hacimce % 5, % 8, % 12 ve % 16 oranlarında kısa alümina fiberlerle takviye edilmiş ve merkezkaç kuvvetli infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş Al-12Si (SAE 321) alaşımlı kompozitlerin ve matriks alaşımın kuru kaymalı aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Merkezkaç kuvvetiyle infiltrasyon ve basınçlı infiltrasyon yöntemleriyle üretilmiş MMK'lerin aşınma özellikleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır (Jiang ve diğ., 1994a; Jiang ve diğ., 1994b). Deneysel sonuçlar, Al-12Si alaşımının içindeki alümina fiber hacim oranının aşınma direnci üzerindeki etkisinin, uygulanan yük ile değiştiğini ve bu fiberlerin aşınma hızını azalttığını göstermiş; 100 N ve aşağısı yüklerde, en düşük aşınma hızı % 8 hacim oranlı kompozitte bulunmuştur. 100 N'nun altında uygulanan yüklerde, kompozitlerin sürtünme katsayısı takviyesiz Al-12Si alaşımınıninkinden daha büyük olmuş, 100 N ve 150 N yüklerde MMK'lerin ve matriks alaşımın sürtünme katsayıları arasında çok küçük bir farklılık olmuş ve bu katsayı yaklaşık ortalama 0.4 değerinde bulunmuştur. Temas yüzeyi sıcaklıkları, uygulanan yükün artmasıyla artmış ve 150 N yükte 520 K sıcaklığa ulaşmıştır. Merkezkaç kuvvetli infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozitlerin kuru kaymalı aşınma direnci, basınçlı infiltrasyon metoduyla elde edilen kompozitlerindekiyle hemen hemen aynı olmuştur.

Lu ve diğ. (1997), bilyalı öğütücü kullanılarak toz metalürjisi yöntemiyle hazırlanmış, ağırlıkça bileşenleri Al-% 4.5 Cu/% 15 SiC olan MMK'lerin mikroyapısını ve mekanik özelliklerini incelemişler; alüminyum ve bakır tozları ve güçlendirici SiC partikülleri, ağırlıkça Al-% 4.5 Cu/% 15 SiC bileşenli olarak çevre şartlarında 60 dak ile 6000 dak arasında değişen sürelerde yatay bilyalı öğütücüde öğütmüşlerdir. Alüminyum, bakır ve SiC partiküllerinin ortalama büyüklükleri sırasıyla 120, 50 ve 5 μm 'dir. Çarpma enerjisinin, sonuçta ortaya çıkan toz parçacıklarının mekanik özellikleri ve mikroyapıları üzerindeki etkisini görebilmek için, bilyalı öğütücünün 63 ve 113 dev/dak'lık iki farklı dönme hızı kullanılmıştır.

Yapılan mikroyapı incelemelerinde, bilyalı öğütme işleminin 60 dakikadan sonra SiC partiküllerinin metal matriks (Al-Cu) içerisine girmeye başladığı gözlenmiş, 6000 dakikadan sonra hemen hemen hiç tek başına SiC partikülleri görülmemiştir. Öğütme işlemi süresinin artmasıyla, yumuşak partiküller oldukça büyük bir şekilde deforme olmuş ve soğuk deformasyondan dolayı kırılma başlamıştır. Dolayısıyla, partiküller kopmaya başlamış, partiküllerin kopması nedeniyle SiC partikülleri düzgün bir dağılım göstermemiştir. Sertlik deneyleri sonucunda, öğütme süresindeki artış ile kompozit numunelerin mikrosertliklerinin arttığı; 113 dev/dak hızda öğütme süresinin artmasıyla da mikrosertliğin genel olarak sürekli bir artış gösterdiği, 63 dev/dak hızda 1200 dakikadan sonra mikrosertliğin hemen hemen bir doyma değerine ulaştığı gözlenmiştir.

Bai ve Xue (1997), SiC partikül takviyeli Al-20Si-3Cu-1Mg alüminyum matriksli kompozitlerin kuru kayma ve sulu yağlama şartlarındaki aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Takviyesiz Al-20Si-3Cu-1Mg (ASCM) alüminyum alaşımı ve SiC partikül takviyeli Al-20Si-3Cu-1Mg (ASCM-SiC) alüminyum matriksli kompozitler toz metalürjisi ile üretilmiştir. Farklı frekanslarda ve farklı yükler altında yapılan aşınma testlerinden elde edilen sonuçlara göre, SiC partikül takviyeli kompozitler kuru kaymada daha iyi aşınma direnci göstermişlerdir. Esas aşınma mekanizmasını kazıma, oksitlenme ve kırılmalar oluşturmuştur.

Durante ve diğ. (1997), standart tungsten karbür (WC, WC+TiN), PCD ve CVD elmas kaplı (10-30 μm) kesici takımlarla sıvı metal karıştırmalı döküm metoduyla üretilmiş partikül takviyeli DURALCAN MMK'lerin (6061+%10Al₂O₃, 6061+%20Al₂O₃, A359+%20SiC) tornalama, frezeleme ve delme işlemleriyle işlenebilirliğini incelemişlerdir. Tornalama işlemi, TiN kaplı karbür takımların PCD takımlara göre çok kısa bir takım ömrüne sahip olduğunu göstermiştir. Otomotiv parçalarının üretimi için en iyi malzeme olarak düşünülen Al + % 20 SiC kompozitin (Durante, 1996) tornada işlenmesinde, CVD elmas kaplı karbür takımların takım ömrü, kısa ömürlü TiN kaplı karbür takımlar ile PCD takımların takım ömrü arasında olmuştur. Frezeleme işlemleri, kaplanmış ve kaplanmamış karbür takımların her ikisinin de PCD takımlarla kıyaslandığında çok kısa bir takım ömrüne sahip olduğunu göstermiş ve aralarındaki bu fark Al + % 20 SiC kompozitin frezelenmesinde çok büyük olmuştur. Delme işlemleri de frezeleme işlemlerinde olduğu gibi, kaplanmış ve kaplanmamış karbür takımların her ikisinin de PCD takımlara göre çok kısa bir takım ömrüne sahip olduğunu göstermiş ve aralarındaki bu fark Al + % 20 SiC kompozitin delinmesinde çok büyük olmuştur. CVD elmas kaplı karbür takımlarla sadece tornalama işlemleri yapılmış; elmas kaplama takım ömrünü uzatmış, ancak soğutma sıvılı ve sıvısız yapılan testler süresince kaplamalarda oldukça sık kopmalar olmuştur. Elmas kaplı takımların, takım ömrü iki kat daha uzun olan PCD takımlarla hala kıyaslanamayacağı belirtilmiştir (Eastman ve Lane, 1993).

Felli ve diğ. (1997), düşey sıkıştırırmalı döküm (infiltrasyon) tekniği kullanılarak üretilmiş iki farklı alüminyum matrisli kompozitlerin (AS9C1G + % 20(Al₂O₃-SiO₂) ve 2014 + % 20(Al₂O₃-SiO₂)) mikroyapısını ve mekanik özelliklerini incelemişler ve bu malzemelerin çekme dayanımı, kopma tokluğu, yorulma dayanımı ve yorulmadan dolayı oluşan çatlak büyüme hızı testlerini yapmışlardır (Mortensen, 1990; Roebuck ve Lord, 1990). Kompozitlerin mikroyapısı incelendiğinde, 2014+ % 20 (Al₂O₃-SiO₂) kompozitteki fiber dağılımının AS9C1G+%20(Al₂O₃-SiO₂) kompozittekinden daha düzensiz olduğu görülmüştür. 2014+ % 20(Al₂O₃-SiO₂) kompozitteki tokluğun, AS9C1G + % 20(Al₂O₃-SiO₂) kompozittekinden 1.6 MPam^{1/2} daha büyük olduğu bulunmuştur. 2014 + % 20(Al₂O₃-SiO₂) kompozitin, AS9C1G + % 20(Al₂O₃-SiO₂) kompozitten daha küçük çatlak büyüme hızına sahip olduğu gözlenmiştir.

McLean ve diğ. (1997), SiC partikül takviyeli alüminyum matriksli kompozit çubukların ve tellerin yeni bir sürekli döküm (Ohno sürekli döküm) tekniğiyle üretimini incelemişler ve hacimce % 8-11 SiC içeren Al-Si ve Al-Cu-Si alaşımlarını kullanarak net-şekilli MMK kaynak çubukları ve telleri üretmek için Ohno sürekli döküm tekniğini uygulamışlardır (Shimizu ve diğ., 1993; Soda ve diğ., 1994; Soda ve diğ., 1995). Çubuklar ve tellerin her ikisi için, SiC partiküllerinin dağılımı oldukça üniform olmuştur. Metalin sıcaklığı 700 °C ve kalıbın sıcaklığı 650 °C'de tutulmuş, ergimiş MMK 1 dakika karıştırıldıktan sonra kalıba dökülmüş ve döküm hızı 0.2 ile 1.1 m/dak arasında gerçekleştirilmiştir. Döküm hızı arttıkça, mikroyapının daha düzgün olduğu gözlenmiştir. Döküm ürünündeki partikül dağılımının yalnızca ergimiş metal içindeki partiküllerin üniform dağılımına değil, aynı zamanda soğuma hızı ile ilişkili katılma davranışına (Lloyd, 1989; McCoy ve Wawner, 1988; Mortensen ve Jin, 1992; Lloyd, 1991; Labib ve diğ., 1993; Kolsgaard ve diğ., 1993), sıcaklık eğimine (Stefanescu ve diğ., 1988), partikül büyüklüğüne (Sasikumar ve Kumar, 1991) ve partiküllerin hacim oranlarına (Stefanescu ve diğ., 1990; Samuel ve diğ., 1993) da bağlı olduğu belirtilmiştir. Düşük döküm hızlarında (0.2 m/dak), SiC partiküllerinin üniform katılımı sağlanamamış ve bunu sağlamak için kalıp boşluğunda kompozit malzemenin yeniden karıştırılmasına gerek duyulmuştur. Daha yüksek döküm hızlarında ise, partiküllerin daha üniform katılımının olduğu gözlenmiştir. Ohno sürekli döküm işlemi kullanılarak, MMK malzemeler teller ve çubuklar halinde dökülebilmektedir.

Bushby ve Scott (1997), zift esaslı karbon fiberlerle takviye edilmiş alüminyum-bakır alaşımlı kompozitlerin sıvı metal infiltrasyon yöntemiyle üretimini ve bu kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sıvı metal infiltrasyon yöntemiyle kompozit üretmek için yapılan daha önceki çalışmalarda, bor ve karbon gibi bir çok fiberlerin işlem sıcaklığında alüminyum ile uyumlu olmadığı ve bundan dolayı beklenmedik zararlı ara yüzey reaksiyon ürünlerinin meydana geldiği (Baker, 1975; Ming ve Scott, 1991), daha uyumlu alümina esaslı fiberlerin kullanılmasıyla bazı gelişmelerin olduğu (Bader ve diğ., 1985; Chen ve diğ., 1995), ancak onların da oldukça yüksek yoğunluğu bu takviye elemanının kullanımına limit getirdiği belirtilerek, daha düşük yoğunluklu reaksiyona girmeyen fiberlere ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenlerden dolayı, alüminyum ile diğer tip karbon fiberlerden (Suzuki, 1996) daha

uyumlu olduğu görünen zift esaslı karbon fiberler kullanılmıştır (Yanling ve Young, 1994). Sonuç olarak, tek yönlü dizilmiş zift esaslı karbon fiberlerle takviye edilmiş Al-% 5 Cu alaşımlı kompozitler sıvı infiltrasyon yöntemiyle fiber-matriks ara yüzeyinde istenmeyen karbür oluşumu olmaksızın başarılı bir şekilde üretilmiş, boylamasına yapılan çekme deneyi testleri sonucunda kompozitin elastisite modülünün 200 GPa olduğu ve ısıtıl işleminden sonra bu değerin 240 GPa'a yükseldiği gözlenmiştir. Kompozitin çekme mukavemeti ısıtıl işlemle 420 MPa'dan 350 MPa'a azalmış ve bu azalmanın da soğutma işleminin fiberlere zarar vermesi sonucu olduğu belirtilmiştir.

Chandrasekaran ve Johansson (1997), farklı tip, farklı boyut ve farklı miktarlarda takviye elemanları içeren ve farklı metotlarla üretilen alüminyum alaşım matriksli kompozit malzemelerin frezede ve taşlamada işlenmiş yüzeylerin yüzey kalitesi üzerindeki üretim şartlarının ve takviye elemanının etkisini incelemişlerdir. Bu metal matriksli kompozitler santrifüj döküm, sıkıştırılmalı döküm, toz presleme ve külçe döküm halindeki numunelerin ekstrüzyonu metotlarıyla, 5-50 µm büyüklüğünde ve hacimce % 10-40 oranlarında Al₂O₃ ya da SiC partikül/fiber takviye elemanları kullanılarak üretilmiştir. Kesici takım olarak frezede sert metal/çok kristalli elmas, taşlamada ise organik bağlı süper abrasiv taşlar (CBN taşı B126R75 ve elmas-SDN126R75) kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda MMK malzemeler zayıf işlenebilirlik göstermiş, ayrıca yüzey kalitesinde bazı düşüşler gözlenmiştir (Chadwick ve Heath, 1990; Chandrasekaran ve Johansson, 1996; Cronjager ve Meister, 1992; Lane, 1990b; Saga ve Ikeda, 1991; Tomac ve diğ., 1992). MMK'lerin üretim metodunun yüzey kalitesindeki etkisi taşlamada sadece çok az olmuştur.

Gül ve İnem (1997), döküm yoluyla SiC takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi hakkındaki çalışmalarında ticarî kodu ETIAL-8 ve ETIAL-8 + % 5Mg olan matriks malzemelere sıvı metal karıştırılmalı döküm (vorteks) yöntemiyle (Akbulut ve Durman, 1993) % 10-35 hacim oranlarında yaklaşık 16 µm iriliğinde yeşil renkli SiC parçacıkları ilâve ederek kompozit malzemeler elde etmişlerdir. Bu çalışmada, 900 dev/dak karıştırma hızı, 200 °C takviye sıcaklığı, % 5Mg ilâvesi, takviye hacim oranının % 30'dan az olması iyi bir karışım elde edilmesini sağlamıştır.

Hocheng ve diğ. (1997), hacimce % 56 grafit partikülleri içeren ve matris olarak alüminyum alaşımı (AC8A) kullanılarak Mitsubishi firması tarafından hazırlanmış olan grafit/alüminyum kompozitlerin (PG5) CNC torna tezgâhında değişik kesme şartlarında K10 tungsten karbür kesici takımlarla temel tornalama karakteristiklerini incelemişler; kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği, talaş açısı ve soğutma sıvısı gibi parametreleri içeren kesme şartlarının, talaş yapısı, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Büyük miktarda eklenen partiküller talaşın kırılmasına neden olmuş ve bundan dolayı süresiz talaşlar oluşmuştur. Bu kompozit malzeme için spesifik kesme enerjisi çeliğinkinden daha düşük olmuş ve takım aşınması takımın burun kenarında çoğunlukla abrasiv aşınma ile meydana gelmiştir. Talaş açısı ve kesme sıvısının, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirli etkileri olmamış; bunun yanında kesme kuvveti, ilerleme hızı ve talaş derinliği ile doğru orantılı olarak artmış ve yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ile arttığı da gözlemlenmiştir.

Tönshoff ve Winkler (1997), AZ91 HP magnezyum alaşımının (% 8.5-9.0 Al, % 0.3-1.0 Zn, minimum % 0.17 Mn, maksimum % 0.004 Fe, maksimum % 0.015 Cu, maksimum % 0.001 Ni, maksimum % 0.05 Si ve dengeleyici Mg) ve magnezyum esaslı MMK'lerin (MELRAM 072TS, % 6.5 Zn, % 1.3 Cu, % 0.8 Mn içeren alaşım ile 10 µm partikül boyutlu ve hacimce % 12 SiC) tornada işlenmesinde takım kaplamalarının etkisini incelemişler ve sırasıyla iş parçası malzemesi ile takım malzemesi ve kaplama arasındaki adhezyon etkilerini gözlemek ve bu etkilerle etkilenen talaş ve yüzey oluşum mekanizmalarını analiz etmek için tornalama işlemini AZ91 HP alaşımı ile gerçekleştirmişlerdir. Her iki malzeme üzerinde yapılan tornalama işlemleri soğutma sıvısı kullanılmadan kuru olarak gerçekleştirilmiştir (Tönshoff ve Winkler, 1996; Tomac ve Tonnessen, 1991; Tokisue ve Kato, 1990).

Kesici takım olarak kaplamasız HW K10 (CCMW 120408 ve CCMT 120408) sementit karbür, TiN ile kaplı (HC TiN) sementit karbür, çok kristalli elmas (PCD) ve PCD kaplı sementit karbür takımlar kullanılmıştır. Kesici takım ve iş parçası arasındaki adhezyonun neden olduğu yan kenar yığılmasının olmadığı en iyi durumu PCD kaplamaların kullanımı sağlamıştır. Kaplamasız ve TiN kaplı sementit karbür takımlarla

kıyaslandığında, PCD kesici takımlar $V > 900 \text{ m/dak}$ yüksek kesme hızlarında bile magnezyum alaşımlarının kuru olarak işlenmesinde daha iyi bir davranış göstermişlerdir. PCD tip takımlar, keskin kesici kenarlara müsaade eden PCD'nin küçük tane boyutuna bağlı olarak en iyi yüzey pürüzlülüğü değerini vermiştir. Magnezyum alaşımı işlenirken kesme kuvvetleri düşük olduğundan, takım aşınması zorlukla gözlenmiştir. Bunun yanında düşük sürtünme katsayısı ve iyi termal iletkenliğe bağlı olarak, PCD takımlar talaş sıcaklığını azaltmakta yardımcı olmuş ve dolayısıyla kuru kesmede talaşın yanma tehlikesini daha da azaltmıştır. Düşük kesme hızlarında bile $V = 100 \text{ m/dak}$, TiN kaplı karbür takımlarda oldukça fazla takım aşınması olduğu görülmüştür. PCD kaplamalar daha iyi sonuçlar göstermiş, ancak düşük film kalınlığı seçildiğinde PCD takımlarla rekabet edememiştir.

Taha ve El-Mahallawy (1998), sıvı metalin birbirine bağlanmayan seramik partiküllere basınç uygulanarak infiltrasyon edilmesiyle $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ MMK malzemeler üretmişler ve bunlara iki farklı teknik kullanarak basınç uygulamışlardır. Bunlar merkezkaç kuvveti ile yapılan döküm ve dışardan uygulanan basınçla yapılan dökümdür. Her iki teknik de % 50-70 Al_2O_3 hacim oranlı $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ MMK üretiminde başarılı bulunmuştur. Bu tekniklerden biri, sıvı metali seramik partikül içerisine sızdırtmak (infiltrate etmek) için merkezkaç kuvvetinin uygulanmasıdır (El-Mahallawy ve diğ., 1994a; El-Mahallawy ve diğ., 1994b). Diğer teknik ise, infiltrasyon için basınç kuvvetinin uygulanmasıdır (Abdel-Hamid, 1994; Taha ve diğ., 1993). Matriks olarak merkezkaçlı dökümde ticarî Al, basınçlı dökümde Al-12Si-2Mg ve takviye elemanı olarak farklı ölçülerde alfa Al_2O_3 (alümina) partikülleri kullanılmıştır. Deneyler, merkezkaçlı dökümde tam infiltrasyonu sağlamak için gerekli olan basıncın basınçlı dökümdekinden daha az olduğunu göstermiştir. Merkezkaçlı dökümde, tam infiltrasyon 2 saniyeden daha az bir sürede gerçekleşirken, basınçlı dökümde 25 saniyede gerçekleşmiştir. Merkezkaçlı dökümde kompozit, kalıbın uzak tarafından başlayarak merkezkaç kuvvetine zıt yönde dönme merkezine doğru; basınçlı dökümde ise kompozit, metal-partikül arayüzeyinden başlayarak basınç kuvvetinin yönünde kalıbın uzak noktasına doğru oluşmaya başlamıştır. Merkezkaçlı dökümle, partikül dağılımı hemen hemen üniform olurken; basınçlı dökümle partikül dağılımı üniform olmamıştır.

Wang ve Zhou (1998), takviye elemanı yüzeylerinin kaplanması MMK'lerin özellikleri ve üretim işlemi üzerindeki etkisini incelemişler ve polycarbosilane çözelti işlemiyle (PCS) (Wang ve diğ., 1995) SiC ile kaplanmış karbon fiberlerle takviye edilmiş alüminyum alaşımlı kompozit malzemeleri basınçlı döküm tekniğiyle üretmişlerdir (Fukunaga ve Kuriyama, 1982; Fukunaga, 1988; Fukunaga, 1993). Metal matriksli kompozitlerin üretiminde ve özelliklerinin belirlenmesinde takviye elemanının yüzey durumunun önemli bir rol oynadığı, karbon fiber takviyeli kompozitler için zayıf ıslanabilirliğinden dolayı alüminyum matriks içerisinde karbon fiberlerinin üniform bir dağılımını sağlamanın ve üretim prosesi parametrelerini kontrol etmenin zor olduğu belirtilmiştir. Kompozitler, master sıcaklığı 723-823 K, metalin dökülme sıcaklığı 1013-1073 K, pres hızı 0.8-5 cm/s, basınç 10-60 MPa ve uygulama zamanı 30 s şartları altında sıkıştırılmalı döküm tekniğiyle üretilmiştir. Kompozitlerin mikroyapılarının optik inceleme sonuçları, alüminyum içindeki karbon fiberlerin dağılımının mastara, ergimiş metalin sıcaklığına, pres hızı ve basıncına bağlı olduğunu göstermiştir. Karbon fiberler üzerindeki SiC kaplaması, fiberlerin matriks içerisindeki dağılımını ve üretim işlemi operasyonunu iyileştirmiştir. Ergimiş alüminyum, SiC ile kaplanmış karbon fiberler içerisine iten basınç, kaplanmamış karbon fiberlerin içerisine iten basınçtan 1-2 MPa daha düşük olmuştur. Kullanılan alete bağlı olarak, optimize edilmiş sıcaklık ve etki basıncı, yüksek mukavemetli karbon fiber-Al kompozitleri sağlamak için hesaplanabilmiştir.

Quan ve diğ. (1999), SiC parçacık takviyeli alüminyum matriksli kompozitlerin kesme işlemlerini ve talaş yapılarını incelemişler ve metal kesme analizi için Merchant kesme düzlem metodunu kullanmışlardır. Büyük ve küçük boyutlu SiC parçacık takviyeli kompozitler (14 μm ve 85 μm SiC_p/A356) kesme işlemleri yapılarak birbirleriyle kıyaslanmıştır. Kompozitlerin takviye ve matriks elemanları oldukça farklı özelliklere sahip olduklarından, daha önceki çalışmalarda SiC parçacık takviyeli alüminyum matriksli kompozitlerin işlenmesinin zor olduğu belirtilmiş ve en büyük problemlerin fazla takım aşınması ve işlenmiş yüzeylerin zayıflığı olduğu vurgulanmıştır (Tomic ve Tonnessen, 1992; Weinert, 1993; Chadwick ve Heath, 1990; Brun ve diğ., 1985; Cronjager ve Meister, 1992).

Sonuç olarak; büyük boyutlu SiC parçacık takviyeli kompozitler, çok zayıf bir işlenebilirlik göstermişlerdir. Bunun anlamı; kesme hızının düşük olması gerektiğidir. Daha küçük boyutlu parçacıkla takviyeli kompozitlerde, takım ömrü uzamış ve daha yüksek kesme hızlarına müsaade edilebilmiştir. İşlenmiş yüzeylerde, kesme hataları azalmış, dolayısıyla işlenebilirlik iyileşmiştir. Takviye parçacıklarının boyutunun ya da hacminin artmasıyla, kompozit talaşlarının deformasyon katsayısı azalmış ve kesme açısı artmıştır. Büyük boyutlu SiC parçacıklarıyla takviye edilmiş kompozitlerin işlenmesinde, sürekli talaş ve küçük parçacıkların her ikisi de bulunurken, diğer tarafta küçük boyutlu SiC parçacık takviyeli kompozitlerin işlenmesinde çoğunlukla sürekli talaşlar oluşmuştur. Daha büyük talaş derinliğinde, kompozit talaşları spiral şeklinde olurken, diğer yanda daha az talaş derinliğinde talaşlar C-şeklinde görülmüştür.

Rahman ve diğ. (1999), karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin (CFRP) kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme hızı gibi farklı işleme parametreleri altında, kübik bor nitür (CBN), seramikler ve tungsten karbür gibi farklı kesici takımlar kullanılarak en iyi şekilde nasıl işlenebileceğini incelemişlerdir. CHEMI R-50 ve CHEMI H-64 kimyasallarının karıştırılmasıyla üretilmiş, kısa (süreksiz) ve uzun (sürekli) karbon fiber epoksi kompozitler olmak üzere iki çeşit numune torna tezgâhında işlenmiştir. Kesici takımlar olarak Toshiba Tungalloy tarafından üretilmiş olan seramik (TNGA 160408-CERAMIC), kübik bor nitür (TNGA 160408-QBN) ve kaplamasız tungsten karbür (TNGA 160408-CERMET) kullanılmış ve işlenebilirlik takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri yönünden incelenmiştir. Tüm takımlarda çentik aşınması meydana gelmiş ve tungsten karbür ve seramik takımlarda kübik bor nitür takıma oranla daha fazla çentik aşınma derinliği gözlenmiştir. Takım ömrü bakımından, karbon fiber takviyeli kompozitlerin işlenmesinde en uygun takım kübik bor nitür olmuştur. Ekonomik bakımdan, düşük kesme hızlarında tungsten karbür diğer iki takımdan daha iyi olurken, diğer yandan daha yüksek kesme hızlarında karbon için en uygun takım kübik bor nitür takım olmuştur. Kesme hızının artmasıyla takım aşınmasındaki artışa, karbon fiberin kırılgan özelliğinin ve matriksin sertliğinin neden olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak; kübik bor nitür takımlar, tungsten karbür ve seramik takımlara oranla daha iyi takım aşınma özellikleri ve daha iyi yüzey kalitesi göstermiştir.

Luo ve diğ. (1999), ısıtılma işlemle sertleştirilmiş farklı sertlikteki AISI 4340 çelik alaşımlarının, kübik bor nitür (TiC ve Al_2O_3 bağlayıcılı), seramik (Al_2O_3 ve TiC) ve karbür (P10) takımlarla tornada işlenmesinde, takımların aşınma davranışlarını ve kesme performanslarını incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar; CBN takımlar için, temel aşınma mekanizmasının iş parçasındaki sert karbür parçacıklarının neden olduğu, bağlayıcı malzemedeki abrasyon aşınması olduğunu göstermiştir. Seramik takımlarda adhezyon ve abrasyon aşınması görülmüştür. CBN ve seramik takımlar için kesme hızının artmasıyla takım ömründeki artışa, takım ile talaş ara yüzeyinde oluşan koruyucu bir tabakanın neden olduğu bulunmuştur. Seramik takım için bu tabakanın iş parçası malzemesi olduğu belirtilirken, CBN takım için bu tabakanın takım malzemesindeki bağlayıcının bir çözeltisi olduğu belirtilmiştir. Daha yüksek kesme hızlarında sıcaklığın yükselmesiyle, takım yüzeyindeki bu tabakanın yumuşadığı görülmüş ve dolayısıyla takım aşınmasının artacağı belirtilmiştir. Kesme hızının artmasıyla P10 karbür takımın ömrü azalırken, CBN ve seramik takımların takım ömrü belirli bir değere kadar artmış ve bu değerden itibaren takım ömrü azalmaya başlamıştır. Yüksek kesme kuvvetlerine ve sıcaklığına neden olan iş parçasının yüksek sertliği, P10 takımın hızlı bir şekilde aşınmasına, kopmasına ya da kırılmasına neden olmuştur. Sertliğin artmasıyla seramik ve CBN takımların aşınması belirli bir kritik değere kadar azalmış ve yaklaşık HRC50 sertlik değerinde aşınma artmaya başlamıştır.

Sreejith ve diğ. (1999), TiN ile kaplı karbür takımlar ve çok kristalli elmas takımlarla karbon/fenolik kompozitler üzerinde alın tornalama yaparak kesme kuvveti, sıcaklık ve takım aşınması bakımından işlenebilirliğini incelemişlerdir. Kesme işlemleri her iki takım için aynı ilerleme hızlarında ve talaş derinliğinde yapılırken, kesme hızları farklı değerlerde alınmıştır. TiN kaplı karbür takımlarla işlemedeki kritik hız yaklaşık 100 m/dak; PCD takımlarla işlemedeki kritik hız, kesme kuvvetlerinin minimum olduğu 300 m/dak olmuştur. Her iki takım için kesme hızı ya da ilerleme hızı kritik hızın üzerine çıkarıldığında, sıcaklık artmıştır. TiN kaplı takımlarda sıcaklık, kesme hızı ve ilerleme hızının her ikisine bağlı olurken, PCD takımlarda sıcaklık büyük oranda kesme hızına bağlı olmuştur. TiN kaplı karbür takımlarda yan kenar aşınması, küçük oyuklar ve takım ucunda kavisler görülürken; PCD takımlarda kenarlarda kavisler, çatlaklar ve kopmalar görülmüştür.

3. KOMPOZİT MALZEMELER VE ÜRETİMİ

Mühendislikte yaygın olarak kullanılan malzemeler genelde metaller, plastikler, seramikler olmak üzere üç gruba ayrılırlar (Şahin, 1998). Bunların birbirlerine göre zayıf ve üstün yanları vardır. Bu malzemelerin uygulama alanları dikkate alındığında bir malzemede aranan özelliklerden en önemlileri; a) Akma dayanımı, b) Rijitlik (elastisite modülü), c) Kırılma tokluğu (çatlağın yayılmasına karşı dayanma direnci), d) Yoğunluk, e) Yüksek sıcaklıklara dayanma direncidir (Taya ve Arsenault, 1988).

Bunlardan çoğunlukla tokluk ve dayanım özelliği en uygun olan metaller, makine ve metalürji mühendisliği alanında en yaygın olarak tercih edilen malzeme türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Saf halde yumuşak ve dayanımı düşük olan metallerin alaşımlama, soğuk biçimlendirme ve ısıtma işlemiyle dayanım ve sertlikleri artırılabilir. Bunlar yüksek zorlamalara karşı dayanma direnci gösterdiklerinden, kullanımda yüksek derecede güvenilirlik sağlarlar. Ayrıca metaller döküm veya plastik deformasyon yöntemi ile şekillendirilmeye; karmaşık montajlarda ise kaynak veya vida ile birleştirmeye elverişlidirler.

Plastiklerin yoğunluğu düşük olduğu için bunlarla karmaşık şekilli parçalar oluşturmak çok kolay olup, birbirleriyle ve diğer malzemelerle birleştirilebilirler. Yine bunların talaş kaldırma işlemleri kolaydır. Fakat termal dayanımları ve mekanik özellikleri düşüktür; bir çoğunun çevresel şartlara karşı kullanımı tehlikelidir.

Seramikler; düşük yoğunluklu, çok dayanıklı ve sert olmalarına rağmen, aşırı derecede gevrekler. Bunlar genellikle termal ve kimyasal etkilere karşı dirençlidirler. Ancak yalıtkan olan seramiklerin, yüksek ergime sıcaklıkları ve sertlikleri işlenmelerini zorlaştırmaktadır. Kırılgan oluşları bunları potansiyel olarak güvensiz kılmaktadır. Metallerle kıyaslandığında, seramikler çok gevrek olduklarından plastik davranış göstermezler ve maliyetleri de yüksektir. Bunun yanında, bu malzemelerden yapılan parçaların çok daha dikkatli ve doğru olarak tasarlanma zorunluluğu vardır.

Bu üç ana malzeme grubu yanında, teknoloji ile birlikte yeni malzeme arayışları içinde geliştirilmiş olan kompozit malzemeler dördüncü grubu teşkil etmektedirler. Bunlar daha mukavemetli, elastik ve hafif oluşları nedeniyle özellikle uçak ve uzay sanayinde geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır.

Kompozit malzemelerin kullanımı nispeten yeni bir alan olup, II. Dünya Savaşı esnasında mevcut konvansiyonel malzemelerin tek başlarına, teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile başlamış ve o zamandan beri de bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmiştir. Bu gelişmeler için tahrik edici güç, malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranı elde etmek olmuş ve spesifik uygulama alanlarında kullanımları hızla artmıştır.

3.1. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi ve Uygulama Alanları

Günümüzde gelişmiş olan kompozit malzemeler, aslında binlerce yıldan beri kullanılmaktadır. Mısırdaki M.Ö. 2800 yıllarında arkeologlar lamine edilmiş tahta tabakalar yapmışlardır. Yine Orta Doğuda daha fazla eğilme dayanımı elde etmek amacıyla ok yayları, lif yönleri farklı şekilde üst üste konulan malzemelerle kompozit olarak yapılmıştır. Bina yapımı için çamur içine karıştırılan saman çöpleri ile yapılan kerpiç de bir kompozit malzemedir. Bununla beraber, herkesin bildiği tahta, ahşap ve kemik de doğal kompozit malzemelerdir.

Alüminyum alaşımları son 75 yıldan beri uçak çerçevesi olarak kullanılmıştır. Az oranda Cu, Mg ihtiva eden Duralüminyum olarak adlandırılan bu alaşımın, saf Al kadar hafif olmamasına rağmen çok dayanımlı olduğu tesadüfen bulunmuş ve I. Dünya savaşı esnasında bu malzeme ile birkaç uçak üretilmiştir. Duralüminyum gerçekten çok karmaşık alaşım olup, içerisindeki Mg ve Cu çok ince parçacık çökmesiyle bir iki atom kalınlığı alüminyum matriksi sertleştirir. Alüminyumdan yapılan bir çok petek şekilli yapısal malzemeler üretilmiştir. Çok yüksek rijitlikte hafif olan bu malzemeler uçakların kanatlarında, döşemelerinde, kapılarında ve kayaklarda kullanılmaktadır.

Son zamanlarda Al alaşımlarına az miktarda lityum ilâve edilerek, özelliklerinde hayli iyileşmeler sağlanmaktadır. Lityum bütün metaller içerisinde en hafif olanı olduğu için ağırlıkça % 2-3 kullanıldığında alaşım Duralüminyum'dan hafif olmaktadır. Bu oran çok fazla olmamasına rağmen ağırlıkça % 80 kadar Al'dan oluşan Boing 767 gibi büyük modern uçaklarda Al-Li alaşımı kullanılması halinde, her yıl on binlerce litre yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir. Geleneksel Al alaşımından Al-Li alaşımına geçiş hâlihazırda Westland'ın EH 101 helikopterlerinde uygulanmış ve hava otobüslerinde uygulanması için de plânlar yapılmıştır. Modern uçaklarda kullanılan Al alaşımlarının oranı azalmakta, bunların yerini kompozitler almaktadır.

Modern kompozit malzemeler ise II. Dünya Savaşı'nda başlamış ve özellikle askerî kullanım amaçları için geliştirilmiştir. Özellikle sivil ve askerî uçaklarda son 25 yıldan beri kompozit malzemeler kullanılmakta ve bu modern malzemelerde öncelikle cam, bor, karbon ve aramid elyaflar, daha sonraları da silisyum karbür ve alüminyum oksit takviye elemanları kullanılmaya başlanmıştır. Tablo 3.1'de değişik takviye elemanları kullanılarak yapılmış olan plastik ve metal esaslı kompozit malzemeler ve bunların bazı uygulama alanları verilmiştir.

İlk uygulama olarak; cam takviyeli plastik esaslı kompozitler (CTP) kullanılarak radar kubbeleri yapılmıştır. Bu kompozitlerin hafiflik, elektro manyetik geçirgenlik, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeniyle en uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Yine CTP kompozitler 1942 yılında gemi yapımında kullanılmış, 1960'lı yıllarda İngiliz Kraliyet Deniz Kuvvetlerinin kullanacağı cam elyaf takviyeli bir mayın tarama gemisi üzerine yoğun araştırmalar yapılmış ve Vosper Thornycroft tersanelerinde bir prototip inşa edilmiştir. İtalya'nın La Spezia şehrinde bulunan tersane 1970 yılında sadece elyaf takviyeli kompozit malzemelerden gemiler inşa etmek için kurulmuştur (Tavman, 1997). İlk sarma patenti de 1948 yılında ABD'de alınmıştır. Daha sonra uçak pervaneleri 1950'li yıllarda kompozitten yapılmaya başlanmıştır. Boing 707, 727 uçaklarında cam, karbon elyaf, Boing 767'de ise örmeli karbon/kevlar/epoksi kompozitten iniş kapısı dişlisi, kanat, sabit ve arka kenar dengeleyicisi (stabilizatörü) yapılmıştır. Bunun da cam elyafa göre daha uzun süre dayandığı anlaşılmıştır. Karbon elyaf takviyeli kompozitten direksiyon mili 1981

yılında Almanya, USA, Japonya ve İngiltere’de incelenmiştir. Volkswagon şirketi tarafından 1980 yılında ince cidarlı tüpler cam/epoksi süngerli sandvich kompozitten yapılmıştır. İngiliz Hava Yollarında kullanılan karbon/epoksiden yapılan panellerin uzun denemeler sonucu iyi netice verdiği gözlenmiştir.

Tablo 3.1. Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları (Piatti, 1983)

ENDÜSTRİSİ	UYGULAMA ALANLARI	KULLANILAN KOMPOZİT MALZEMELER
Uçak	Uçak kanatları ve gövdesi, helikopter pervaneleri, iniş ve çıkış kapıları, payandalar, döşeme kirişleri, çerçeveler, vantilatör ve türbin kanatları	B/Al, SiC _w /Al, Gr/Al, Cam/epoksi, C/epoksi, B/epoksi, kevlar/epoksi Süper alaşımlar
Helikopter	Transmisyon kutusu, giriş destek yapıtları, İtici çubuklar, iniş takımları, Rotor kanatları arkası	Al ₂ O ₃ /Mg, Gr/Al, Gr/Mg B/Al, Al ₂ O ₃ /Al, SiC _w /Al SiC _w /Al, B/Al, Al ₂ O ₃ /Al Gr/Al, SiC/Al
Uzay	Uzay yapıtları, antenleri, robot kolları	B/Al, B/Mg, Gr/Mg
Otomotiv	Gövde parçaları, tampon ve çamurluklar, Ön ve arka paneller, aks mili, yaylar, İtme çubukları ve piston kolları	Kevlar epoksi, SiC _p /Al, SiC _w /Al SiC _w /Al, B/Al
Gemi	Gemi teknesi Gemi güvertesi	Kevlar/epoksi, Cam/epoksi
Kimya	Borular, basınçlı kaplar ve tanklar	Cam/epoksi, Karbon/epoksi
Spor	Oltalar, golf sopaları, yüzme havuzları, Tenis raketleri, Bisiklet ve motosiklet çerçevesi	B/epoksi, C/epoksi B/Al, Gr/Al, SiC _w /Al B/Al, Gr/Al, SiC/Al
Elektrik	Motor fırçaları, kablo ve akü plakaları	Gr/Cu, Gr/Pb, Al ₂ O ₃ /Pb
Tekstil	Mekikler	B/Al, C/Al, SiC/Al
Tıp	Röntgen masaları, Protezler ve tekerlekli sandalye	SiC/Al, B/Al B/Al, SiC/Al
Uçak-uzay	Uçak frenleri, türbin pervaneleri, Roket çıkış sistemleri	Karbon/karbon kompozit
Diğer alanlar	Makine yatakları	C/Pb, Al ₂ O ₃ /Pb

Askerî uçaklarda ise bor/epoksi kompozitler, USA F-14 uçaklarının yatay stabilizatörlerinin dış yüzeylerinde kullanılmıştır. Dış kanat esas olarak

karbon/epoksi'den oluşmaktaydı. Fakat daha sonra karbon/epoksi ve bor/epoksi içeren karma kompozitten yapılmıştır. Bu yapılan kompozit ile metal versiyona göre 2 kat daha fazla uçuş zamanı elde edilmiş ve yorulma davranışı da çok iyi bir performans göstermiştir. S3-A uçağı için ince karbon/epoksi kompozit sandwich'den oluşan kanat kalıplanarak yapılmış, dış yüzeyler ısıtılma işlemine tabi tutularak tek bir işlemle göbeğe yapışması gerçekleştirilmiştir. 1986 yılında kanatlar, uçak ön gövdesi, yatay stabilizatörü, irtifa dümeni, dümen pedalı, aşağı sarkan kanat ve kapaklar, kanatçıklar ve kanat üzeri kaplaması yeniden tasarlanmış ve karbon/epoksi malzemeden üretilmiş; bunlar üzerinde yapılan denemelerde kırılma/bozulma olmadığı performanslarında ise iyileşme olduğu gözlenmiştir. Almanya'da Alpha-Jet Şirketi metal malzeme yerine zırhlı araç için karbon elyaf kullanmış, sınırsız uçuş gerçekleştirerek ağırlığı azaltmıştır.

Uçak kanadı ana kirişi, uçak burnu, uçak kanadı ve birleştirme elemanları metal yerine karbon elyaf takviyeli plastik kompozitten (CFRP) yapılmıştır. Kompozit kullanıldığında parça sayısının hayli azaldığı ortaya çıkmıştır. Örneğin, uçak kanadı ana giriş sayısı metal kullanıldığında 107 iken, kompozitte bu sayı 52'ye düşürülmektedir. F-18 savaş uçağının kanat yüzeyleri, yatay ve düşey arka kısımları, hem kanat hem de arka kontrol yüzeyleri, burun kısmı, fren ve kapıları karbon takviyeli plastiklerden yapılmıştır. Bu uçaklarda kompozit malzemeler % 50'den fazla yüzeyi oluşturmuş ve yaklaşık % 10 hafiflik sağlamıştır. Yarış arabalarının gövdelerinde Ford Şirketi tarafından karbon elyaf takviyeli ve karma kompozitler kullanılmıştır (Phillips, 1992: Şahin'den 1998).

Türbinli/pervaneli uçaklara yönelik çalışmalar kompozit malzemeler kullanılarak uçak pervanelerinin gelişmesini de hızlandırmıştır. Çapın artmasıyla ağırlık da artmaktadır. Dolayısıyla uçak pervanesi kompozit malzeme ile yapıldığında ağırlıktan tasarruf sağlanacağından, tekerlek göbeğinde ve kontrol dişlisinde merkezkaç kuvveti azalmaktadır. 1985 yılında metal yerine kalıplama tekniği ile daha iyi aerodinamik özelliğine sahip kompozit malzemeden yeni şekilleri üretmenin daha kolay olduğu; iniş ve tırmanma özelliklerinin iyileştiği NASA tarafından açıklanmıştır.

Kompozitten yapılan malzemelerin avantajlarından biri de yorulma ömründe önemli ilerlemeler sağlanmasıdır (Taya ve Arsenault, 1989; Ibrahim ve diğ., 1991). Kompozit pervanenin metallere göre daha tok olduğu ve uygun tasarım yapıldığında kompozit helikopter pervanelerinin metallere göre çok daha iyi ömre sahip oldukları anlaşılmaktadır. Örneğin, metal pervane ile nadiren 1500 uçuş saatine ulaşılırken, kompozit pervane ile yaklaşık 3000 ve daha fazla uçuş saatine ulaşılmaktadır (Trumper, 1987). Rotorların ve statörlerin imalinde de karbon/poliamidler kullanılmaktadır. Reçineler arasında yüksek sıcaklık özelliği en iyi olanlardan birisi de poliamid'dir. Bu matriks grafit, cam, quartz ve kevlar gibi malzemelerle kullanılmaktadır. Grafit elyaf takviyeli poliamid matriksli kompozit malzemeler, taktik füzelerinde kullanılmaktadır (Young, 1969; Easterling, 1989).

Aramid elyaf da iyi rijitliği ve şok direnci nedeniyle gemi yapımında uygulama alanı bulmuştur. Ancak basma dayanımının zayıf olmasından dolayı son zamanlarda aramid ve cam elyafların birlikte kullanıldığı karma kompozitler tavsiye edilmektedir. Cam elyafli kompozitlere göre, hayli ağırlık tasarrufu sağlanabilmekte ve sahil botları, küçük ve büyük yatlar, yüksek motor hızlı kayıklar cam/karbon ve aramid birleşimi karma kompozit malzemelerden yapılmaktadır. 1986 yılında suni bacaklar, karbon/epoksi'den imal edilmiş; bunların diz ve topukta hastaya uyum sağlayabilecek nitelikte ve standart ölçüde olduğu görülmüştür.

Metal matriksli kompozitlerin uygulama alanına gelince, bunlar sadece uzay sanayinde değil otomotiv sanayinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine tasarımı, spor malzemeleri ve eğlence malzemeleri yanında rijitlik ve hafiflik ile birlikte iyi yorulma direnci sağlamasından dolayı otomobil buji kolları, alüminyum oksit takviyeli alüminyum kompozitlerden basınçlı pres tekniği ile yapılmıştır. Bu kompozitler, yüksek sıcaklık özelliklerinin çok iyi olmasından dolayı otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uçak kanatları panelleri SiC_w takviyeli alüminyum matriksli kompozitten üretilmiş ve % 20-40 arasında hafiflik sağlanmıştır (Trumper, 1987). MMK'ler ile de uçak çerçevelerinin yapımında benzer avantajlar elde edilmektedir. Kompresör diskleri, pervaneler, vanalar, jet motoru rotorları ve Trident füze kılavuz elemanları MMK'lerden başarılı olarak üretilmektedir. Yakın gelecekte metal ve

seramik esaslı kompozitlerin Jet motorları ve uçak çerçevelerinin üretiminde geleneksel malzemelerin yerini alacağı sanılmaktadır. SiC_p/Al kompozitler de son yıllarda tenis racketleri ve golf sopalarının yapımında kullanılmakta, motor parçaları ve pistonları da SiC_w/Al kompozitten yapılmaktadır. Karbon elyaf takviyeli kompozitler de oltalar ve tenis racketleri yapımında tercih edilmektedir. MMK'ler diğer mühendislik malzemelerine göre daha yüksek mekanik sönümlene özellikleri nedeniyle uzay mekiği yapımı için de çekici görünmektedir. Titanyum da daha yüksek sıcaklık direnci nedeniyle uçak motorlarında, özellikle kompresör pervanesi ve disklerinde kullanılmaktadır. Magnezyum ise piston, buji kolları ve yaylarda; düşük yoğunluğu, düşük termal uzama katsayısı ve yüksek rijitlik özelliğinden dolayı uçak sanayinde keza kullanılmaktadır. Ancak karbon elyaf ile alüminyum esaslı kompozitler üretildiğinde işlem sırasında elyafın özelliğini kaybetmesi veya ara yüzey reaksiyonuna uğramasından dolayı bu kompozit üretimi tercih edilmemekte, Mg esaslı kompozit üretimi daha ucuz olduğundan uygulanmaktadır. Ancak ıslanabilirliği iyileştirmek için bazen karbon elyaf kaplanmakta veya Ni, Si kullanılmaktadır (Taya ve Arsenault, 1988; Kreider, 1974; Trumper, 1987).

Kısa elyafli kompozitler diğerleri ile karşılaştırıldığında dayanımı düşük olduğundan, temel olarak ateşe dayanıklı yalıtım amaçlı yerlerde kullanılır, fakat diğer elyaf ve whiskerlerden daha ucuzdur. Buna ilâveten, SiC_p takviyeli alüminyum esaslı kompozitler aşınmaya dirençli malzemeler olarak iyi potansiyele sahip bulunmaktadır. Endüstride çok sayıda parçacık takviyeli sistemler, seramikler dahil, elektronik endüstrisinde hassas değişebilir dirençlerin traklarında ve yüksek hızda kesici takım uçları olarak da talaşlı imalat işlemlerinde kullanılmaktadır. Metalik filamentler de (elyaflar) yüksek elastisite modülleri ile karakterize edilirler. Bunların dezavantajı ise yoğunluklarının seramiklerden daha fazla olmasıdır. Fakat Honda şirketi buji kollarını, alüminyum matriks içerisine % 45 hacim oranında ince paslanmaz çelik elyaflar ile basınçlı pres metodunu kullanarak üretmişlerdir. Bu kompozit parçaların, dövme tasarımla üretilenlerle karşılaştırıldığında yaklaşık % 40 kadar daha hafif olduğu, yakıt tasarrufu ve tezgâh gücünde oldukça ilerlemeler sağladığı görülmüştür (Easterling, 1989).

3.2. Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Sınıflandırılması

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar. Pek çok türü mevcut olup; bunlara karbon elyafı plastikler, otomobil lastikleri, seramikler, çelik takviyeli beton, cam takviyeli plastik ve bor takviyeli alüminyumlar örnek olarak gösterilebilir. Genel olarak bir kompozit malzeme; düşük elastisite modülü ve dayanıma sahip reçine veya metalik matriks ana fazıyla, uygun bir teknikle bu ana fazın içinde dağılmış daha az oranda kullanılan takviye elemanı fazlarından oluşmaktadır. Ancak, moleküler ve atomik düzeyde birleştirilen malzemeler (alaşımlar) mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmazlar. Örneğin; çelikteki krom ve vanadyum bir karışım oluşturur; bir kompozit değildir, çünkü yapı mikroskobik olarak homojendir. Fakat sert metal uçlu takımlarda, yumuşak kobalt metal matriks içine sert karbürlerin yerleştirilmesi, parçacıklı bir kompoziti oluşturur.

Bir kompozit malzemenin bünyesinde çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matriks malzemesi bulunmaktadır. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, whiskerler (kılcal kristaller), kırılmış veya parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matriksin rijitlik ve dayanımını artırmaktır. Matriksin fonksiyonu ise elyaflara yük ve gerilim transferi sağlayabilmek için elyaf-matriks çiftini bir arada tutmak yanında, çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılgan olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır. Ayrıca plastiklik ve süneklik üstünlüğü ile elyaflar da kırılgan çatlakların yayılmasını önlemektedirler. Plastik deformasyonlar ve çatlaklar varsa, elyaflara paralel olarak yönlerini değiştirir.

Yeni gelişen bir malzemenin, kompozit olarak adlandırabilmesi için şu kriterleri taşıması gereklidir:

- 1) İnsan yapısı olmalı,
- 2) En az iki veya daha fazla fiziksel ve mekaniksel özelliği ayrı olan malzemenin birleştirilmesi ve bunların farklı ara yüze sahip olmaları,
- 3) Herhangi bir ferdî bileşenle elde edilemeyen mekanik özelliklerin gerçekleştirilmesi,
- 4) Optimum özellikler elde etmek için, bir malzemenin diğer malzeme içine kontrollü şekilde dağıtılmasıyla iki ayrı malzeme karıştırılarak KOMPOZİT (KARMA) bir malzeme oluşturulması,
- 5) Özelliklerinin mükemmel olup, kompoziti oluşturan elemanların en iyi özelliklerinin bir arada toplanması gereklidir (Lubin, 1982).

Yukarıda belirtilen özellikleri içeren kompozit malzemeler, genellikle, matriks malzemesine göre:

- a) Plastik,
- b) Metal,
- c) Seramik matriksli kompozitler olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar (Lubin, 1982).

Bunlar takviye elemanlarına göre de şöyle sıralanabilirler:

- 1) Elyaf takviyeli kompozit malzemeler,
- 2) Parçacıkla takviyeli kompozit malzemeler,
- 3) Tabakalı kompozit malzemeler (Lubin, 1982).

Bu üç tip takviye elemanlı kompozit yine plastik, metal veya seramik matriks içinde olabilir. Takviye elemanı her zaman net özellik sağlanması için matriksten daha serttir. Burada elyaf takviyeli kompozitler ;

- a) Sürekli elyaf takviyeli kompozitler,
- b) Kesikli elyaf takviyeli kompozitler,

- c) Rastgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş kompozitler olarak alt sınıflara ayrılabilir (Lubin, 1982).

Parçacıkla takviyeli kompozitleri de;

- a) Büyük parçacıklarla dayanımı artırılmış kompozitler,
b) Dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitler olarak iki alt gruba ayırmak mümkündür (Lubin, 1982).

3.3. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin, genellikle kendi başlarına elde edilemeyen, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemedeki toplanması önemli bir avantaj meydana getirmektedir. Kompozit malzeme üretilmesi ile aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir:

- 1) Yüksek dayanım,
- 2) Yüksek rijitlik,
- 3) Yüksek yorulma dayanımı,
- 4) Mükemmel aşınma direnci,
- 5) Yüksek sıcaklık kapasitesi,
- 6) İyi korozyon direnci,
- 7) İyi ısı iletkenliği,
- 8) Hafif ağırlık,
- 9) Çekicilik ve estetik görünüm v.b. (Taya ve Arsenault, 1988; Kreider, 1974; Lubin, 1982).

Uygun matriks/takviye eleman çifti, üretim tekniği ve optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa, yukarıda belirtilen özellikleri elde etmek mümkündür. Uygun matriks/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür.

Çünkü kompozit içerisinde matriksler tarafından yükün takviye elemanına iletilmesinde matriks ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir. Ara yüzey bağının kuvvetli olması ise, çiftlerin uyumuna ve matriksin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında üretim tekniği seçimi dışında, takviye elemanlarının matriks içerisinde homojen dağılımı da matriks alaşımı ve takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır. Kompozitler karma malzeme olduklarından, bu şartları sağlamak ve elde etmek için en iyi matriks/takviye elemanı çifti seçilmelidir.

Bu avantajları yanında bazı dezavantajları da mevcut olup, bunlar da;

- 1) Üretim güçlüğü,
- 2) Pahalı olması,
- 3) İşlenme problemi, maliyetin yüksek oluşu ve gerekli yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesinin güçlüğü,
- 4) Diğer malzemeler gibi geri dönüşümün (recycle) olmayışı,
- 5) Kırılma uzamasının az oluşu gibi faktörler sayılabilir (Lubin, 1982; Trumper, 1987).

3.4. Metal Matriksli Kompozitler ve Üretim Teknikleri

Hafif metaller, kompozitler için matriks malzemesi olarak çok çekicidir. Bunlar plastiklerden daha yüksek dayanıma sahiptirler; yüksek tokluk ve sıcaklıklarda özellikleri daha iyidir. Ancak metal matriksli kompozit (MMK) üretimi daha zordur. Bunlar her elyafla iyi ara yüz bağı oluşturmazlar. Metallerle en kolay bağ oluşturan silisyum karbür ile kaplanmış bor elyaftır; fakat bunlar da pahalıdır.

MMK'lerde yaygın olarak kullanılan matriks malzemesi düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarda tercih edilmektedirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımının da çok yüksek olması diğer karakteristik özelliklerinden biridir. Genellikle metal matriksli

kompozit malzemelerin üretiminde Al, Mg, Zn, Cu, Ti ve Ni gibi malzemeler ve bunların alaşımları matriks olarak kullanılırken; silisyum karbür (SiC), bor (B), grafit, alüminyum oksit (Al_2O_3), tungsten ve molibden gibi değişik sürekli, kılcal kristalli veya parçacıklı elyaflar takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Ancak matriks olarak yaygın bir şekilde kullanılan Al, Ti, Mg ve bunların alaşımlarıdır.

MMK'lerin üretiminde kullanılan teknikler;

- a) Sıvı hal üretim tekniği,
- b) Katı hal üretim tekniği olarak çok genel bir sınıflandırma yapılabilirken, yaygın olarak kullanılan üretim teknikleri:
 - 1) Sıvı Metal Emdirilmesi (Liquid Metal Infiltration),
 - 2) Sıkıştırılmalı Döküm (Squeeze Casting),
 - 3) Ergimiş Metal Karıştırılması (Vortex),
 - 4) Plazma Püskürtme,
 - 5) Toz Metalürjisi,
 - 6) Vakumda Presleme,
 - 7) Sıcak Presleme teknikleridir (Weeton ve diğ., 1987; Şahin, 1994).

Bu tekniklerden en uygun ve en ekonomik olanı, kılcal kristalli ve kırılmış elyafla (parçacıklarla) takviyeli kompozitlerin üretiminde kullanılan ergimiş metal karıştırılması tekniğidir.

Bu tekniğin avantajları şunlardır:

- 1) Klasik döküm işlemleriyle daha düşük sıcaklıkta gerçekleştirilir. Isınamayan takviye elemanlarının karıştırma hareketiyle ısılanabilirliği artmaktadır.
- 2) Yarı katı durumda daha düşük basınçla kusursuz parçalar üretilebilmekte ve katı alaşım partiküllerin varlığıyla çökelti, yüzme ve yığılma önlenmektedir.
- 3) Büyük boyutlu çubuklar üretilebilmekte, elyaf-matriks çifti uygun seçilirse tekrar eritilerek döküm elde edilebilmektedir (Kreider, 1974; Mehan ve Bolon, 1979).

Ergimiş metal karıştırılması metodunun dezavantajları ise şöyle sıralanabilir:

- a) Elyaf lar arasında kalan boşluklar tamamen yok edilememektedir.
- b) Yarı katı metalin karıştırılması sırasında elyaf ların birbirine teması neticesinde mamulün özelliği olumsuz olarak etkilenebilmektedir (Kreider, 1974; Mehan ve Bolon, 1979).

Ergiyik ve parçacıklı elyaf arasındaki temas zamanı uzun olursa birbirini etkilemekte, bundan dolayı seçilecek takviye elemanlarının kararlı olması veya elyaf ların kaplanması gerekmektedir. Parçacıkların dağılımı, katılma noktası ve karıştırma işlemi dahil, birçok faktöre bağlı olmaktadır.



4. İŞLENEBİLİRLİK

Değişik özellikteki çok çeşitli malzemeler üzerinde kesici takımların geometrik performanslarının ölçümü, takım tasarımı ve geliştirilmesi açısından çok önemlidir. Modern işleme metotları, takım değiştirme zamanını ve maliyetini en aza indirmeyi ve seri üretim alanlarında çok yönlü kullanmayı gerektirmektedir. Deneysel testlerin büyük bir bölümü bu hedefe ulaşmak için gerçekleştirilmekte ve işlenebilirlik deneyleri ile olay anlaşılmasına çalışılmaktadır. Bu testler, iş parçası malzemelerinin kesici takımları ve talaş kaldırma işlemlerini ve onların karakteristiklerini kapsamaktadır (ASM, 1978; ASM, 1975; ISO 3685, 1977; Thomas ve Lambert, 1974; Kiang ve Barrow, 1971; Mills ve Redford, 1983; ASM'den 1989).

Talaşlı işlenebilirlik, bir malzemenin bitmiş bir ürün haline getirilmesi esnasında malzemenin talaş kaldırma kolaylığı ya da zorluğu olarak tanımlanmaktadır (Zimmerman ve diğ., 1989). İşlenebilirlik, kullanılan kesici takımın çeşidi ve şekliyle büyük oranda etkilenmektedir. Bununla beraber işlenebilirlik ortak bir terimdir ve yalnızca takım ömrünün uzunluğu, kesme işlemi yapmak için gerekli güç, belirli miktardaki bir malzemeyi işleme maliyeti ya da elde edilen yüzey şartları gibi faktörlerle belirtilmektedir. İşlenebilirlik testleri, talaş kaldırılan malzemenin direncini göstermekte ve sonuçlar malzemenin kimyasal bileşimi, sertliği, çekme mukavemeti, tane büyüklüğü, mikroyapısı, işleme sertleşmesi karakteristikleri ve malzemenin boyutları ile etkilenmektedir (Amstead ve diğ., 1984).

Bir malzemenin işlenebilirliğini en çok etkileyen iki faktör, malzemenin yumuşaklığı ve sertliğidir. Malzemenin sertliği arttığında takımın malzemeye dalması daha zor olmakta ve işlenebilirlik azalmaktadır. Daha yumuşak malzemeler, süresiz talaş oluşumu için uygun olmamakta ve sürekli talaşların oluştuğu durumlarda, artan yumuşaklık kenarlarda yığılma oluşmalarına sebebiyet verebilmektedir. Dolayısıyla, düşük yumuşaklık iyi işlenebilirlik için bir dezavantaj olmaktadır. Genel olarak daha sert malzemeler zor işlenmektedir. Buna rağmen işlenebilirlik malzemenin sertliğinden çok, mikroyapısı ile doğrudan ilgilidir.

Bir malzemenin işlenebilirliğinin ölçülmesinde, şu faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir (Zimmerman ve diğ., 1989):

- Kesici takım malzemesi
- İşleme operasyonu (sürekli ya da kesintili)
- Kesici takım geometrisi
- Kesici kenarın şekli
- İşleme şartları
- Kesme sıvısı
- Tezgahın rijitliği

İşlenebilirlik testleri farklı formlarda yapılmakta, genel olarak şu testleri içermektedir (Zimmerman ve diğ., 1989):

- Takım ömrü ya da takım aşınması
- Yüzey kalitesi
- Kesme kuvvetleri
- Harcanan güç
- Kesme sıcaklığı

İyi işlenebilirlik, iyi bir yüzey kalitesi anlamına gelmemekte, daha ziyade talaş kaldırma işlemindeki ekonomikliği ifade etmektedir. Metallerin işlenebilirliği takım ömrü ve takım kuvvetlerine bağlı olmaktadır. Düşük kesme kuvvetleri ve uzun takım ömrü oluşturan ve tatminkar bir yüzey kalitesinde en düşük maliyetle talaş kaldırma işlemine müsaade eden bir malzeme en iyi işlenebilirliğe sahiptir. İyi bir yüzey kalitesi bir çok değişken tarafından etkilenmektedir. Yüzey kalitesini iyileştiren faktörler; düşük talaş derinliği, küçük ilerleme hızları, yüksek kesme hızları, kesme sıvısı, yuvarlak uçlu takımlar ve iyi sabitleştirilmiş takımlarda artırılmış talaş açılarıdır (Amstead ve diğ., 1984).

Talaşlı üretim işlemlerinde kullanılan kesici takımlar; yüksek hız çeliği (HSS) takımlar, modern sinterlenmiş karbürler, kaplanmış karbürler, sermetler, seramikler ve son olarak da çok kristalli elmas (PCD) ve kübik bor nitür (CBN) takımlar olarak sınıflandırılmaktadır (Zimmerman ve diğ., 1989).

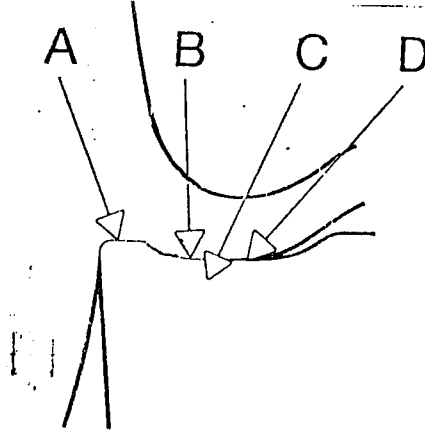
4.1. Takım Ömrü ve Takım Aşınması

Bütün kesici takımlar, talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınmakta ve bu aşınma, kesici takım ömrünü tamamlayıncaya kadar devam etmektedir. Takım ömrü, kesici takımın iş parçalarını kabul edilebilir parametrelerin sınırları dahilinde işlemesi süresince geçen zaman olarak tanımlanmakta ve dakika olarak ifade edilmektedir (Şeker, 1997). İlk zamanlarda takım ömrü parametresi, sadece takımın artık daha fazla kesme yapmaması gibi basitçe ifade edilmekteydi. Günümüzde yüzey kalitesi, takım aşınma biçimi, talaş oluşumu ve önceden belirlenen güvenli takım ömrü gibi yaygın parametreler kullanılmaktadır.

Takım aşınması, kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin bir kombinasyonunun ürünüdür. Kesici kenar ömrü, takım geometrisini değiştirmeye çalışan çeşitli yüklerle belirlenmektedir. Aşınma, takım - iş parçası - işleme şartları arasındaki karşılıklı etkileşimin bir sonucu olmaktadır. Temel yük faktörleri Şekil 4.1'de görüldüğü gibi;

- A) Mekanik
- B) Termal (Isıl)
- C) Kimyasal
- D) Aşındırıcı

olarak sıralanabilmektedir (Şeker, 1997).



Şekil 4.1. Tipik Aşınma Bölgeleri (Şeker, 1997)

Mekanik yüklerin statik bileşenlerinden başka, talaş biçimlenme sürecinin kendisinden oluşan çeşitli dinamik yükler de söz konusu olmaktadır. Bunların en önemlileri değişen talaş derinliğinden ve kesintili (vuruntulu) işlemeden kaynaklananlardır (Şeker, 1997).

Metalin işlenmesi (talaş kaldırma) talaş yüzeyinde ve kesici ucun yan yüzeyinde (yanaklarında) önemli miktarda ısı oluşmasına neden olmaktadır. Termal yük, önemli ölçüde takım malzemesi üzerinde olmakta ve frezelemede olduğu gibi kesici kenarlar iş parçasından ayrılırken ve tekrar dalarken takımın zarar görmesi söz konusudur.

Talaş oluşumu-biçimlenmesi süreci, devamlı olarak yeni bir metal arayüzeyi oluşturulması anlamı taşımakta ve talaş biçimlenmesi sırasında takım malzemesi boyunca hayli yüksek sıcaklık ve basınçta zorlama olmaktadır. Oluşan bölgeler metallerin kimyasal reaksiyonları ve difüzyon için oldukça uygun bir ortam yaratmaktadır.

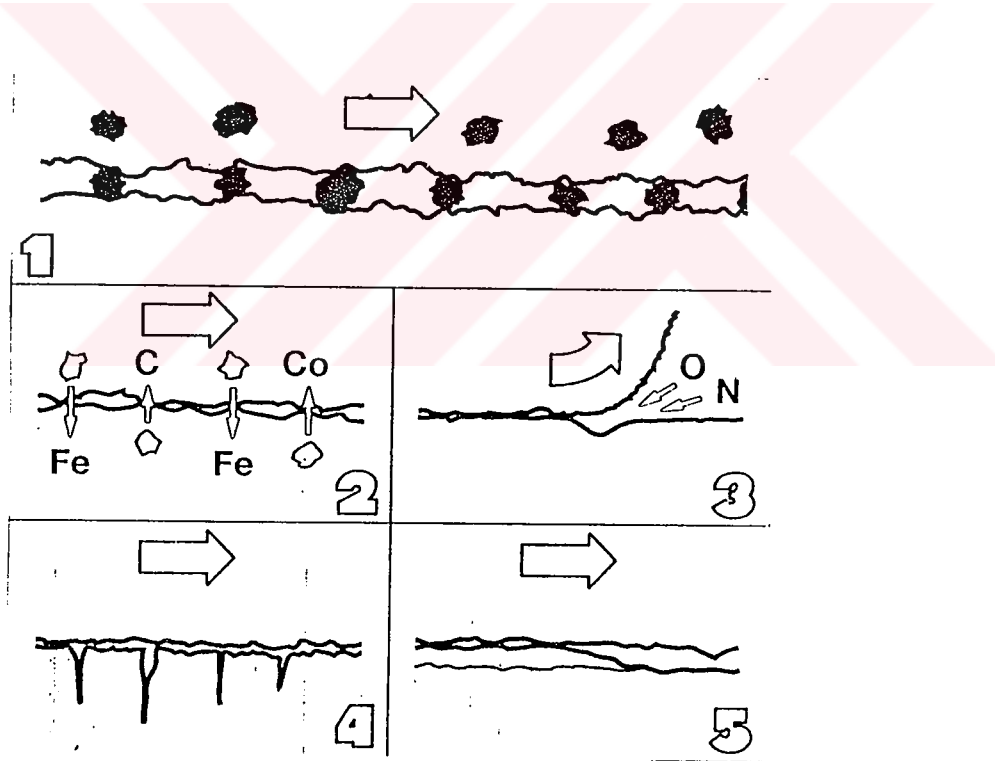
Pek çok iş parçası malzemesinin işlenmesi sırasında, sertlikleri takım malzemesi ile kıyaslanabilecek kadar yüksek olan, çeşitli tipte oldukça sert parçacıklar görülmektedir. Bu parçacıklar, takım üzerinde bir taşlama işleminden daha fazla aşındırma etkisi oluşturmaktadırlar.

4.2. Temel Aşınma Mekanizmaları

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerinde etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine ve takım aşınmasına etki etmektedir. Bunlar;

- 1- Abrasiv Aşınma,
- 2- Difüzyon Aşınması (Atomik Yer değiştirme),
- 3- Oksidasyon Aşınması,
- 4- Yorulma Aşınması (Statik veya Dinamik),
- 5- Adhesiv Aşınma,

şeklinde gruplandırılmaktadır (Şekil 4.2) (Şeker, 1997).



Şekil 4.2. Metallerin İşlenmesi Sırasındaki Temel Aşınma Mekanizmaları (Şeker, 1997)

Abrasiv aşınma çok yaygındır; buna çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert parçacıkları sebep olmaktadır. Sert parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasına geldiğinde, taşlama işlemindeki benzer bir durum oluşmaktadır. Kesici kenarın yan yüzeyinde aşınmaya sebep olan bu aşınma mekanizması, kesici uç üzerindeki mekanik yüklerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Abrasiv aşınma, takım talaş yüzeyinde ise krater (çukur) oluşmasına neden olmaktadır. Kesici kenarın abrasiv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti, önemli ölçüde sertliğine bağlıdır.

Difüzyon aşınmasında, talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kimyasal olaylar daha etkili olmaktadır. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve iş parçası malzemesiyle olan birleşme eğilimi, difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasını sağlamaktadır. Takım malzemesinin sertliği, bu aşınmada çok fazla etkili olmamaktadır. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki, asıl aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin etmektedir. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüksek kesme hızlarında daha fazla olmaktadır.

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber, metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon anlamına gelmektedir. Hava, özellikle kesici kenarla parçanın arayüzeyinde, talaş genişliğinin bittiği yerde (talaş derinliğinde) talaş kaldırma sürecinde aşınmaya katılma imkanı elde etmektedir. Oksidasyon bu bölgede, kesici kenarda tipik çentiklerin oluşmasına sebep olmaktadır.

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve kesme kuvvetlerinin yüklenmesi ve kaldırılması kesici kenarda çatlaklara ve kırılmalara sebep olmaktadır.

Adhezyon aşınması aynı zamanda “Yapışma aşınması” olarak da bilinmektedir. Belli bir sıcaklık aralığı, takım ve iş parçası malzemesi arasındaki yakınlık ve kesme kuvvetleri ile oluşan yüklerin kombinasyonu adhezyon aşınma mekanizmasını oluşturmaktadır. Bu aşınma mekanizması, takımın talaş yüzeyinde daha çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşmakta ve genellikle kesici kenar ile talaş arasında, kenarda

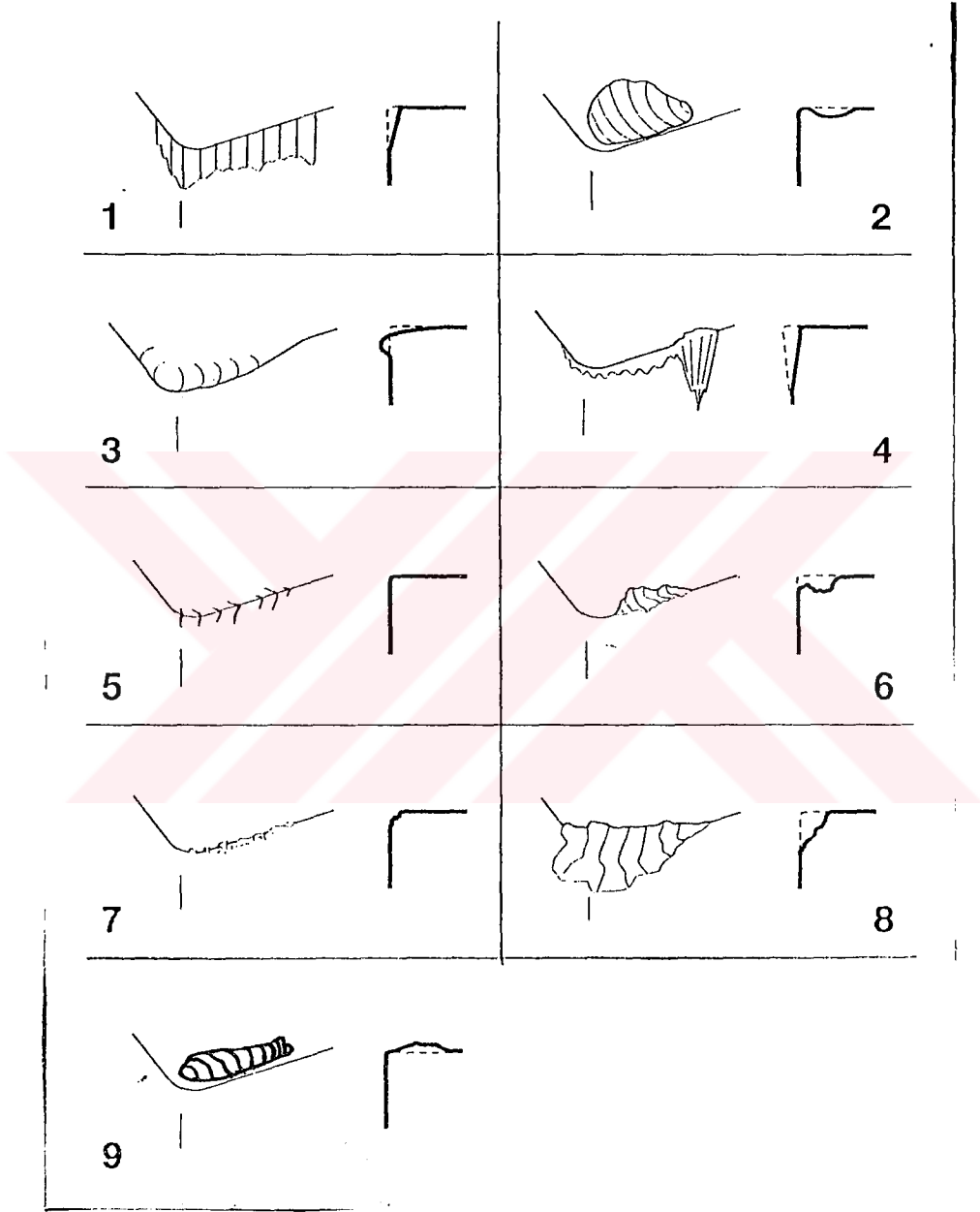
yığılmış talaş (BUE) oluşmasına neden olmaktadır. Talaştan birbirini takip eden katmanlar takımın talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşmekte ve kesici kenarın bir parçası halini almaktadırlar. BUE tabakası yırtılıp (kopup) uzaklaşmakta ve tekrar birikmeye başlamakta veya kesici kenardan küçük parçaların kırılmasına neden olabilmektedir. Bu aşınma mekanizması bölgesel aşınmanın hızlanmasına neden olmakta ve çentik aşınmasının oluşmasını sağlamaktadır.

Bu temel mekanizmalar genellikle birleşerek, talaş kaldırma işleminde kesici kenarın küçük bir kısmı boyunca şeklini ve orijinal malzemeyi değiştirmeye çalışmaktadırlar. Çoğunlukla takım malzemesinin özelliklerine bağlı olarak, bu mekanizmalar kesici kenarı belli bir aşınma tipinin oluşmasına sebep olacak şekilde etkilemektedirler.

4.3. Takım Aşınma Tipleri

Takım aşınma tiplerinin sınıflandırılması, işleme tipi ve malzeme için doğru işleme şartlarının ve takım serisinin elde edilmesiyle verimliliği optimize etmek, işleme operasyonunu değerlendirmek için önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Talaş kaldırma miktarı, ekonomik hassasiyet, yüzey kalitesi ve talaş kontrolü gibi temel işleme kriterleri, takım aşınmasının oluşup gelişmesine bağlıdır.

Temel aşınma mekanizmalarının biri ya da birkaçının bir araya gelerek oluşturduğu aşınma tipleri Şekil 4.3'te görülmektedir. Sınıflandırılmış aşınma tipleri ve bunlara neden olan mekanizmalar ise Tablo 4.1'de verilmiştir.



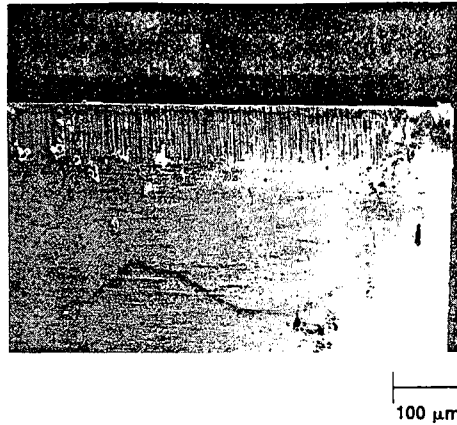
Şekil 4.3. Farklı Aşınma Mekanizmaları İle Oluşan Aşınma Tiplerinin Sınıflandırılması; (1) Yan Yüzey Aşınması, (2) Krater Aşınması, (3) Plastik Deformasyon, (4) Çentik Aşınması, (5) Termal Çatlaklar, (6) Mekanik Yorulma Çatlakları, (7) Çıtlama, (8) Kırılma ve (9) Kesici Kenarda Yığılma (BUE) (Şeker, 1997)

Tablo 4.1. Aşınma Tipleri ve Bunlara Neden Olan Mekanizmalar (Şeker, 1997)

AŞINMA TİPİ	NEDEN OLAN AŞINMA MEKANİZMASI
Yan Yüzey Aşınması	Abrasiv Aşınma
Krater Aşınması	Abrasiv Aşınma ve Difüzyon Aşınması
Plastik Deformasyon	Yorulma Aşınması
Çentik Aşınması	Oksidasyon ve Adhezyon Aşınma, ve Mekanik Yorulma
Termal (Isıl) Çatlaklar	Termal (Isıl) Yorulma
Mekanik Yorulma Çatlakları	Mekanik Yorulma
Çentiklenme (Çıtlama)	Yorulma ile Aşınma
Kırılma	Plastik Deformasyondan Sonra Oluşur
Yığılma-Sıvanma (BUE)	Adhezyon Aşınma

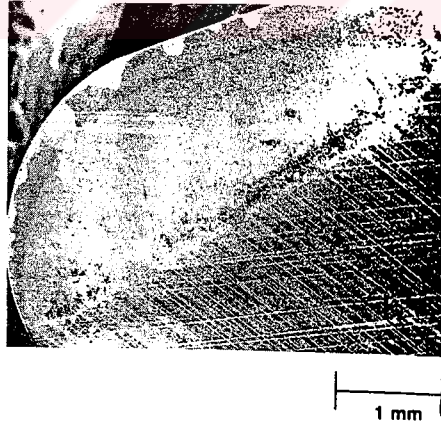
4.3.1. Yan Yüzey (Yanak) Aşınması

Yan yüzey aşınması, kesici kenarın yan yüzeylerinde genellikle abrasiv aşınma mekanizmasından kaynaklanan bir aşınma tipidir. Bu tip aşınma genelde karşılaşılabilecek en normal aşınma tipidir ve genellikle emniyetli-sürekli artan bir yanak aşınması sağlamak en ideal durum olarak kabul edilmektedir. Aşırı yanak aşınması sonucu, daha kötü yüzey kalitesi ve hassasiyetten sapma söz konusu olmakta ve kesici kenar şekil değiştirdiğinden sürtünme artmaktadır. Şekil 4.4, bir sementit karbür takımında tornalama işlemi sonucu oluşan yan yüzey aşınma bölgesini göstermektedir.

**Şekil 4.4. Sementit Karbür Bir Takımdaki Tipik Yan Yüzey Aşınması (Zimmerman ve diğ., 1989)**

4.3.2. Krater Aşınması

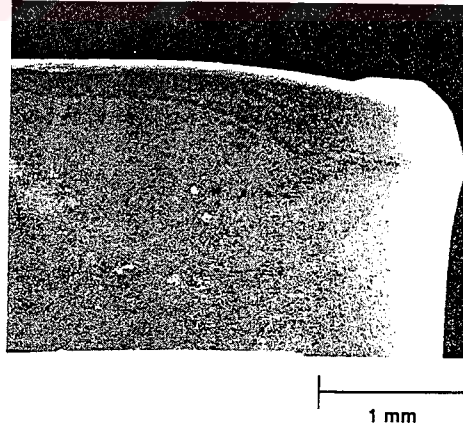
Krater aşınması veya çukur aşınma olarak bilinen aşınma tipi, takımın talaş yüzeyinde abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmaları etkisiyle oluşmaktadır. Krater, ya sert parçacıkların aşındırma etkisiyle ya da takım ile talaş malzemesi arasındaki difüzyon etkisiyle takım malzemesinin talaş yüzeyinden ayrılma sonucu meydana gelmektedir. Sertlik ve malzemeler (takım-iş parçası) arasındaki minimum kimyasal yakınlık, krater aşınması eğilimini de minimuma indirmektedir. Aşırı krater aşınması, kesici kenar geometrisini değiştirmekte ve talaş oluşumunu ve biçimlenmesini bozabilmektedir. Kesme kuvvetlerinin yönlerini değiştirmekte ve aynı zamanda kesici kenarı zayıflatmaktadır. Düzgün açılmış talaş kırıcı geometrisi ile krater oluşumu engellenebilmektedir. Şekil 4.5'te sementit karbür bir takımdaki krater aşınma tipi görülmektedir.



Şekil 4.5. Sementit Karbür Bir Takımda Oluşmuş Tipik Krater Aşınması (Zimmerman ve diğ., 1989)

4.3.3. Plastik Deformasyon

Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek kesme ve ilerleme hızları, sert iş parçası malzemesi, sıcaklık ve basınç anlamına gelmektedir. Takım malzemesinin bunlara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için yüksek sıcaklık sertliği kritiktir. Kesici kenarda bir şişmenin oluşması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, takım geometrisinin deformasyonuna, talaş akışının değişmesine sebep olur ve kritik bir noktaya ulaşıncaya kadar etkisi devam eder. Takımın uç yarıçapının boyutu ve takım geometrisi (kesme geometrisi) bu tip aşınmanın engellenmesinde önemli rol oynamaktadır. Şekil 4.6'da sementit karbür takımın kenar deformasyonu görülmektedir.

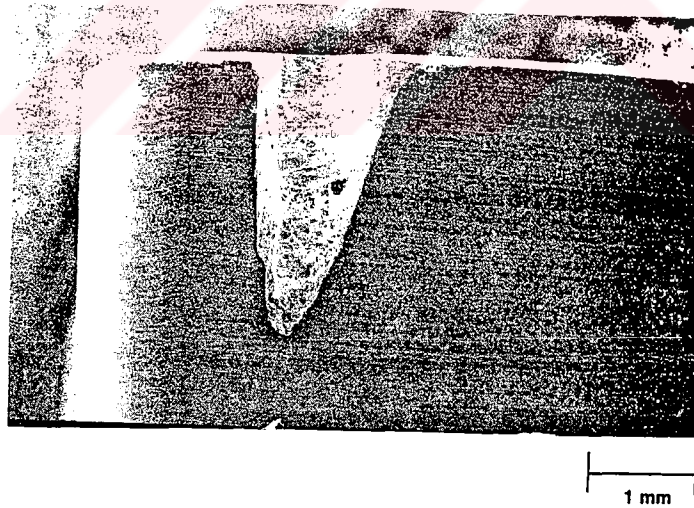


Şekil 4.6. Sementit Karbür Bir Takımdaki Tipik Kenar Deformasyonu (Zimmerman ve diğ., 1989)

4.3.4. Çentik Aşınması

Yardımcı kesici kenarda çentik aşınması tipik bir adhezyon aşınması olmakla beraber, oksidasyon aşınma mekanizması ile büyüebilmektedir. Çentik, kesici kenar ile iş parçası malzemesinin birleştiği yerde oluşmaktadır. Aşınma, havanın kesme bölgesine dahil olduğu talaş derinliğinin son noktasında yani kesme derinliği ile sınırlı bir alanda oldukça bölgesel olarak meydana gelmektedir.

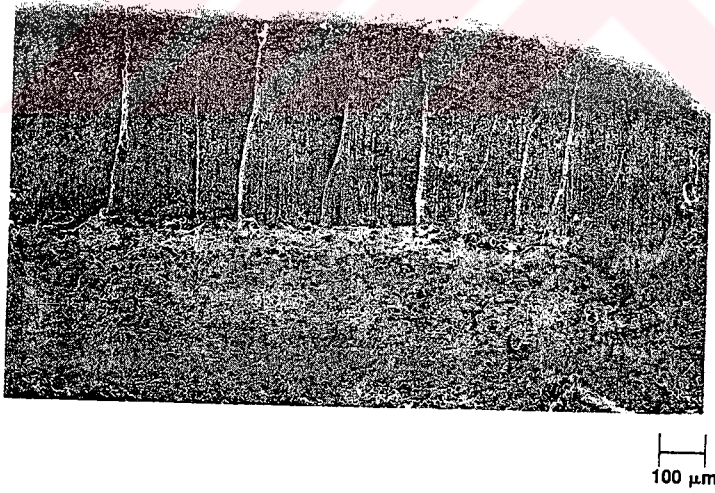
Asıl kesici kenarda çentik oluşması mekanik yüklerin bir sonucu olmakta ve genellikle daha sert malzemelerin işlenmesi sırasında meydana gelmektedir. Aşırı çentik aşınması, bitirme talaşında yüzey kalitesini etkilemekte ve özellikle kesici kenarın dayanımını azaltmaktadır. Şekil 4.7’de whisker takviyeli seramik bir takımda talaş derinliğindeki çentik aşınması görülmektedir.



Şekil 4.7. Whisker Takviyeli Seramik Bir Takımda Talaş Derinliğindeki Tipik Çentik Aşınması (Zimmerman ve diğ., 1989)

4.3.5. Termal (Isıl) Çatlaklar

Termal çatlaklar, çoğunlukla kesme işlemi sırasında sürekli ve hızlı sıcaklık değişikliklerinden kaynaklanan yorulma aşınmasını oluşturmaktadır. Özellikle frezeleme işlemlerinde yaygın olarak görülen bu termal çatlaklar, kesici kenara dik olarak ortaya çıkmakta ve bu çatlaklar arasındaki takım malzemesi kesici kenardan koparak ayrılabilir. Takım malzemesi parçacıklarının koparak kendiliğinden ayrılması, takımın kırılma ihtimalini hızlandırmakta ve kesici kenar bozulmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda değişen talaş derinliği de, talaş kaldırma sırasında sıcaklıkları etkilemektedir. Bu tip durumlarda soğutma sıvısının kullanılması, metallerden talaş kaldırma işlemlerinde genellikle zararlı olabilmektedir. Çünkü soğutma sıvısı, talaş kaldırma esnasındaki (kesici takım iş parçası içinde iken) ve iş parçasından çıktıktan sonraki sıcaklık farklarını daha da artırmaktadır. Şekil 4.8, sementit karbür bir takımdaki termal çatlakları göstermektedir.



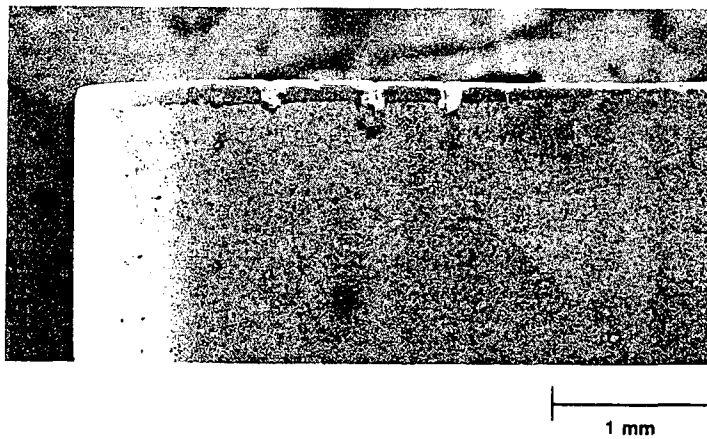
Şekil 4.8. Sementit Karbür Bir Takımdaki Termal Çatlaklar (Zimmerman ve diğ., 1989)

4.3.6. Mekanik Yorulma Çatlakları

Mekanik yorulma çatlakları, kesme kuvveti darbeleri aşırı olduğu zaman oluşmaktadır. Kesme kuvvetleri, takımın kırılmasına sebep olacak kadar büyük olmamasına rağmen, yükteki sürekli değişim bu çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kesme işleminin başlangıcında ve kesme kuvvetindeki değişimlerde bu çatlaklar büyüebilmekte; bu çatlaklar kesici ucun dayanımı ve tokluğu için çok büyük olabilmektedir. Bu tip çatlakların termal çatlaklardan farkı, genellikle kesici kenara paralel olmalarıdır.

4.3.7. Çıtlama (Çentiklenme ya da Küçük Parçacıklar Kopması)

Kesici kenarda meydana gelen çentikler, aşınmadan ziyade kesici kenardaki küçük boyutlu kırılmalardır. Yükleme ve yükün kaldırılmasından kaynaklanan bu yorulma, kesici takım malzemesinden küçük parçacıkların koparak takım yüzeyinden ayrılmasına neden olmaktadır. Çoğunlukla, kesikli (darbeli) çalışma bu tip aşınmayı meydana getirmektedir. Şekil 4.9, sementit karbür bir takımdaki çentiklenmeyi göstermektedir.



Şekil 4.9. Sementit Karbür Bir Takımdaki Çentiklenme (Zimmerman ve diğ., 1989)

4.3.8. Kırılma

Kırılma, kesici kenarın görevinin tamamen sona erdiğini göstermektedir. Kenar kırılması, genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasını oluşturmaktadır. Takım geometrisinin değişmesi, kesici kenarın dayanımının zayıflaması, sıcaklık ve kesme kuvvetlerinin artması pek çok kesici kenar hatalarına zemin hazırlamaktadır. Ağır kesme şartlarında (kesme parametrelerinin büyük olması) oluşan veya iş parçası malzemesinden kaynaklanan ani kırılmaların neden olduğu “Gevrek Kırılma”, çalışma ihtiyaçlarını karşılamaya muktedir olmayan bir takım malzemesi üzerindeki değişik gerilmelerin bir sonucu olabilmektedir. Şekil 4.10’da sementit karbür bir takımdaki tipik bir kırılma görülmektedir.



Şekil 4.10. Sementit Karbür Bir Takımdaki Tipik Kırılma (Zimmerman ve diğ., 1989)

4.3.9. Kesici Kenarda Yığılma (BUE)

Kesici kenarda yığılma, genellikle sıcaklık ve onunla ilişkili olan kesme hızının etkisi ile oluşmaktadır. Ancak bu yığılma, kesici kenar erimesi ve diğer aşınmaların bir sonucu olabilmektedir. BUE, kesici kenar geometrisinde olumsuz bir değişikliğe neden olmakta ve aynı zamanda takım malzemesi BUE biçimindeki kaynaklanmış malzemeyle birlikte koparak uzaklaşmaktadır. Kesici takım malzemesiyle iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de, BUE oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Düşük sıcaklık ve yüksek basınçlar, iş parçası malzemesinin, talaştan takımın talaş yüzeyine basınçla kaynak olmasına (adhezyon) neden olmaktadır.

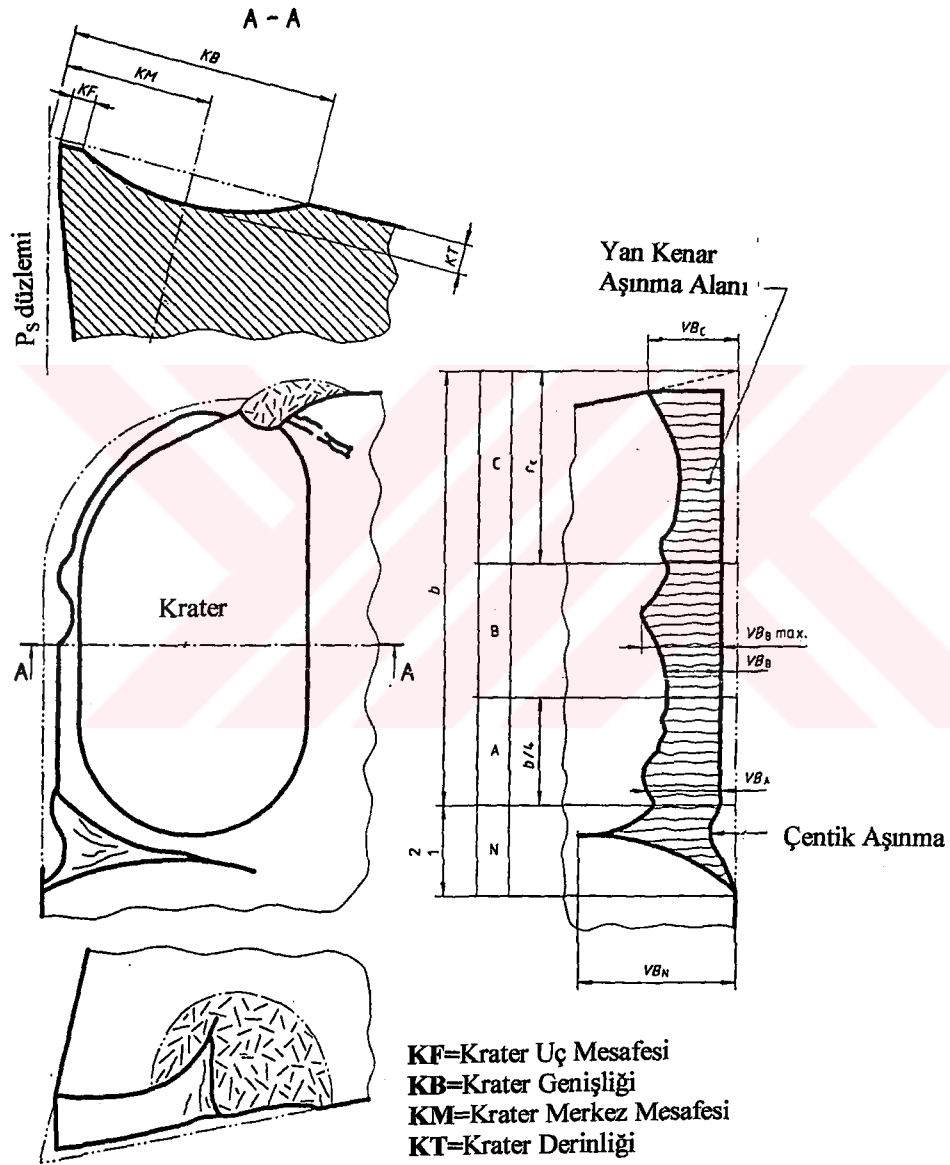
Yüzey pürüzlülüğü, genellikle BUE oluşumundan ilk zarar gören unsur olmaktadır. Eğer bu tip aşınmanın devam etmesine izin verilirse, çok çabuk kesici kenar kırılması, hatta takım kırılması meydana gelebilmektedir.

4.4. Takım Aşınması ve Takım Ömrü Kriterleri

Güvenirliliği artırmak ve test sonuçlarını kıyaslamak için takım ömrü, belirli bir takım ömrü kriter değerine ulaşmak için geçen, takımın toplam kesme zamanı olarak tanımlanmaktadır. Takım ömrü testinin faydası, kesici takımların faydalı ömürlerine etki eden bir veya daha fazla faktörün nasıl etkidiğini deneysel olarak tanımlamaktır.

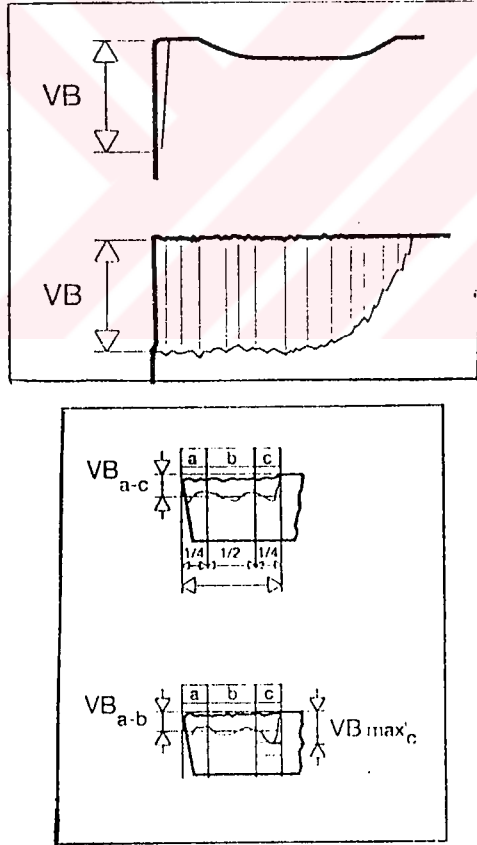
Belirli testlerde faydalı takım ömrünün sonucuna katkıda bulunacağına inanılan aşınma türü, takım ömrü kriteri olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.11’de çeşitli aşınma tipleri ve bunların analizinde esas alınan kriterler görülmektedir.

Takım ömrü kriteri olarak kullanılan takım aşınması, belli bir seviyeye ulaşmadan önce geçen işleme zamanına bağlı olarak geliştiğinden, muayene ve kontrol yöntemleri ile belirlenmektedir. Uygun bir mikroskop en yaygın kullanılan kontrol aletidir.



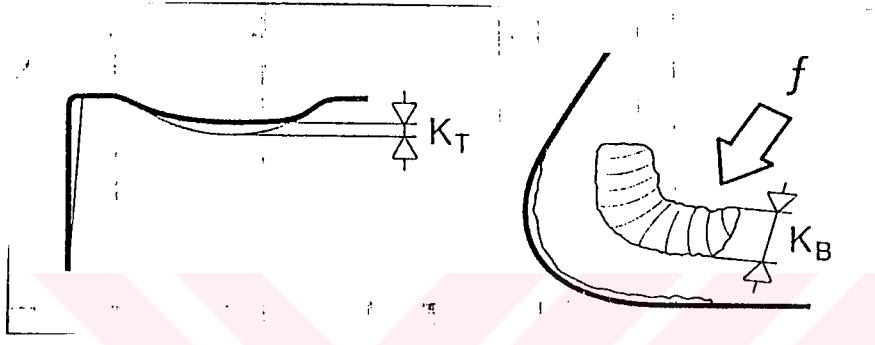
Şekil 4.11. Kesme İşleminde Bazı Takım Aşınma Tipleri ve Kriterleri

Yan yüzey aşınması, asıl kesme kenarından ölçülmekte ve ölçüm yapmak için aşınan kısım üç bölgeye ayrılarak incelenmektedir. Toplam uzunluk ise dörde bölünmekte, $\frac{1}{4}$ 'lük kısımlar iki başta ve $\frac{1}{2}$ 'lik kısım ortada kalacak şekilde üçe ayrılarak analiz yapılmaktadır (Şekil 4.12). a, b, c diye ayrılan bu bölgelerin üçünde de aşınma değeri benzer bir dağılım gösteriyorsa, yan yüzey aşınması bu üç bölgenin ortalaması olarak VB_{a-c} şeklinde alınmaktadır (Şekil 4.12). Eğer bu üç bölgenin birinde aşırı bir yan yüzey aşınması söz konusu ise, ortalama değerin alınması için bu bölgenin gözardı edilmesi tavsiye edilmekte ve ortalama değer (VB_{a-b}) iki bölgeye göre alınmaktadır (Şeker, 1997). Ayrıca, maksimum aşınmanın olduğu bölgedeki maksimum yanak aşınması da (VB_{max}) kaydedilmektedir.



Şekil 4.12. Yan Yüzey (Kenar) Aşınması ve Analizi İçin Bölgeler (Şeker, 1997)

Krater aşınması, asıl takım talaş yüzeyinden ölçülen maksimum derinlik (K_T) ile belirlenmektedir. Bazı durumlarda krater genişliği (K_B) de kaydedilmekte ve analizlerde dikkate alınmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Krater Aşınması ve Analizi İçin Temel Kriterler, K_T ve K_B (Şeker, 1997)

4.4.1. HSS Takımlar İçin Genel Kriterler

HSS takımlar için kullanılan en yaygın takım aşınma kriterleri;

- Eğer yan yüzey aşınma bölgesi düzgün olarak aşınmamış ise, yan yüzey aşınma bölgesinin maksimum genişliği, $VB_{max}=0.6mm$
 - Eğer yan yüzey aşınma bölgesi düzgün olarak aşınmış ise, yan yüzey aşınma bölgesinin ortalama genişliği, $VB=0.3mm$
- olarak alınmaktadır (ISO 3685, 1993).

4.4.2. Sinterlenmiş Sert Karbür Takımlar İçin Kriterler

Sinterlenmiş karbür takımlar için kullanılan en yaygın kriterler;

- a) Eğer yan yüzey aşınma bölgesi düzgün olarak aşınmamış ise, yan yüzey aşınma bölgesinin maksimum genişliği, $VB_{\max}=0.6\text{mm}$
- b) Eğer yan yüzey aşınma bölgesi düzgün olarak aşınmış ise, yan yüzey aşınma bölgesinin ortalama genişliği, $VB=0.3\text{mm}$ olarak alınmakta
- c) Milimetre cinsinden verilen KT krater derinliği şu formül ile hesaplanmaktadır:

$$KT=0.06+0.3f$$

Burada f , mm/dev olarak ilerleme hızıdır (ISO 3685, 1993).

4.4.3. Seramik Takımlar İçin Genel Kriterler

Seramik takımlar için kullanılan en yaygın kriterler;

- a) Eğer yan yüzey aşınma bölgesi düzgün olarak aşınmamış ise, yan yüzey aşınma bölgesinin maksimum genişliği, $VB_{\max}=0.6\text{mm}$
- b) Eğer yan yüzey aşınma bölgesi düzgün olarak aşınmış ise, yan yüzey aşınma bölgesinin ortalama genişliği, $VB=0.3\text{mm}$ olarak alınmaktadır (ISO 3685, 1993).

4.5. Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme Kuvvetleri, Kesme Sıcaklığı ve Harcanan Güç

Yüzey pürüzlülüğü ince talaş kaldırma işlemlerinde çok yaygın bir kriterdir. Daha iyi yüzey kalitesi, malzemenin işlenebilirliğinin daha iyi olduğu anlamına gelmektedir.

Kesme zamanı, sıcaklık ve kesme kuvvetleri adapte edilebilir kontrol sistemleri ve bilimsel araştırmalarda takım ömrü kriterleri için temel olarak kullanılmaktadır. Daha az kesme kuvvetine ihtiyaç olması, malzemenin işlenebilirliğinin daha iyi olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, harcanan güç miktarı da malzemenin işlenebilirliğini ölçmek için kullanılmaktadır. Güç azaldıkça, malzemenin işlenebilirliğinin iyi olduğu anlaşılmaktadır.

Kesme sıcaklığı testleri, talaş kaldırma süresince kesici takımın ucunun sıcaklığını ölçmek için yapılmaktadır (Kane ve Groover, 1967; Zimmerman ve diğ.'den 1989). Daha sert malzemeler ve/ya da daha yüksek kesme hızları genellikle daha yüksek kesici takım sıcaklığı oluşturmaktadır ve bu da takım ömrünü azaltmaktadır.

4.6. Kompozitlerin İşlenebilirliği

Hafif metal matriksli kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri, bu malzemelerin otomobil ve uzay sanayinde, özellikle sürtünmeye maruz kalan makine parçaları uygulamalarına çok elverişlidir. Ancak, alaşımın pahalı olması, kompozit üretiminin ve işlenmesinin güç olmasından dolayı, bunlar yüksek hacim oranlarında çok yaygın olarak kullanılamamaktadırlar. Döküm ve sıcak dövme metodu ile MMK malzemelerin yakın boyutta üretilme çabaları devam etmesine rağmen, tasarlanmış olan şekil ve boyuta getirilmesi için üretilen parçaların yine de işlenmesini zorunlu kılmaktadır (Chambers, 1996). Son yıllarda MMK malzemelerden alüminyum esaslı SiC ya da Al_2O_3 saffil takviyeli kompozitler üzerinde yoğunlaşma görülmektedir. Bu iki seramik takviye elemanı, seramik kesici takımların bünyesinde mevcut olduğundan dolayı, bu malzemelerin işlenmesi güç olmaktadır. SiC ya da Al_2O_3 parçacık takviyeli

MMK'ler, sert takviye elemanına sahip olması nedeniyle yüksek takım aşınmasına yol açmaktadırlar. Bundan dolayı, kesme işlemi maliyeti bu MMK malzemelerin seçiminde belirleyici faktörler arasında yer almaktadır (Hung ve diğ., 1995).

Al_2O_3/SiC fiber/partikül takviyeli hafif alaşımlı kompozitlerin işlenebilirliği üzerinde yapılan çalışmalar takımların oldukça yüksek abrasiv aşınmasına bağlı olarak, bu kompozitlerin işlenebilirliğinin zayıf olduğunu göstermiştir (Chadwick ve Heath, 1990; Lane, 1990b; Saga ve Ikeda, 1991; Cronjager ve Meister, 1992; Tomac ve diğ., 1992; Chandrasekaran ve Johansson, 1996). Buna ek olarak, işlenen yüzeylerin kalitesinin de takım aşınması ile daha kötüleştiği belirtilmiştir (Chadwick ve Heath, 1990; Chandrasekaran ve Johansson, 1996). MMK'lerin işlenmesi (tornalama, frezeleme, matkapla delme, vida açma) onların bünyelerinde bulundurduğu abrasiv taneciklere bağlı olarak oldukça zordur (Durante ve diğ., 1997). Bu tanecikler, kesici takımları hızlı bir şekilde aşındırmakta ve üretim maliyetini artırmaktadırlar (Tomac ve Tonnessen, 1992). Takımların bu hızlı aşınmasına bağlı olarak, MMK'lerin verimli bir şekilde işlenmesini gerçekleştirecek pahalı elmas takımların dışında bilinen hiçbir takımın olmadığı belirtilmektedir (Chen ve Miyake, 1989; Committee of Machinability JSPE, 1989).

MMK'lerin işlenmesi üzerine yapılan araştırmalar halen devam etmekte olup, bu da MMK'lerde kesme mekanizmasının temelden araştırılmasını gerekli kılmıştır. Endüstri tecrübeleri ve araştırmalar MMK'lerin işlenmesi için, yüksek hız çeliği (HSS) takımların yetersiz olduğunu ve sinterlenmiş karbürli takımların da sadece kısa işletme şartları için kullanılabileceğini ve pratik amaçlar için ise çok kristalli elmas (PCD) takımların uygun olduğunu göstermektedir. Ancak literatürde, bu konuda aynı sonucu vermeyen çalışmalar mevcut bulunmaktadır. Örneğin yapılan bir çalışmada, SiC partikül takviyeli MMK'lerin işlenmesinde çok kristalli elmas (PCD) takımların etkili olarak kullanıldığı ileri sürülürken, takım ömrünü etkileyen en belirgin değişkenin kesme hızı olduğu, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin daha az önemli olduğu vurgulanmıştır (Lane, 1990b ve 1993). Daha önce yapılan çalışmalarda (McGinty ve Preuss, 1985; Ricci, 1987) fiber takviyeli MMK'lerin işlenmesinde, PCD takımların karbürli takımlara göre daha kötü olduğu sonucuna varılmasına rağmen, PCD

takımların etkinliği diğer yazarlar tarafından onaylanmıştır (Chambers ve Stephens, 1991; Hung ve diğ., 1993). Takım ömrü, metal kesme hızı ve yüzey kalitesi bakımından, çok kristalli elmas takımların en iyi sonuçları verdiği bazı çalışmalarda ortak bir görüş olarak belirtilmiştir (Brun ve diğ., 1985; Chadwick ve Heath, 1990; Chambers ve Stephens, 1991). Bununla beraber, PCD takım ve sinterlenmiş karbür takımlar arasındaki bağıl farklılığın, MMK'lerin bileşenlerine bağlı olduğu vurgulanmıştır (Chadwick ve Heath, 1990). Dolayısıyla, çok kristalli elmas (PCD)'ın, MMK malzemeler için her zaman çok etkili takım malzemesi olmayabileceği belirtilmiştir (Chambers, 1996).

Titanyum nitür (TiN) ya da titanyum karbür (TiC) ile kaplı sinterlenmiş karbür takımlar gibi kesici takımlarla MMK'lerin işlenmesinde, takımlardaki aşınma oranı oldukça yüksek ve dolayısıyla işlenme oldukça pahalı olmaktadır. Elmas takımlarla (tek kristalli ya da çok kristalli elmaslarla) ise aşınma çok düşük, ancak fiyat çok yüksek (TiN ya da TiC kaplı sinterlenmiş karbür takımların fiyatının en az 5-10 katı) olmaktadır (Durante ve diğ., 1997). Kesici takımların yüksek maliyeti, kesme işlemi maliyetini artırmaktadır. Bundan dolayı, takım maliyetini minimum yapabilecek ve üretim artışı sağlayabilecek kesme şartlarının elde edilebilmesi için, bazı temel işlenebilirlik çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Bu deneysel çalışmada, elde edilen MMK malzemelerde K10, TP30 ve HX kesici takımlarla CNC torna tezgahında, değişik kesme hızlarında takım ömrü, takım aşınması, talaş yapısı ve yüzey pürüzlülüğü bakımından işlenebilirlik incelenmiş ve takımlardaki aşınan bölgelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları çekilmiştir. K10 ve TP30 takımlarla tüm malzemeler işlenirken, alüminyum alaşımlar için uygun olan HX takımıyla, sadece 2024Al matriks alaşımı ve bir çeşit kompozit (2024Al + % 30 32 μm Al_2O_3 kompozit) işlenerek aralarındaki fark görülmeye çalışılmıştır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Kompozit Üretim Ünitesi

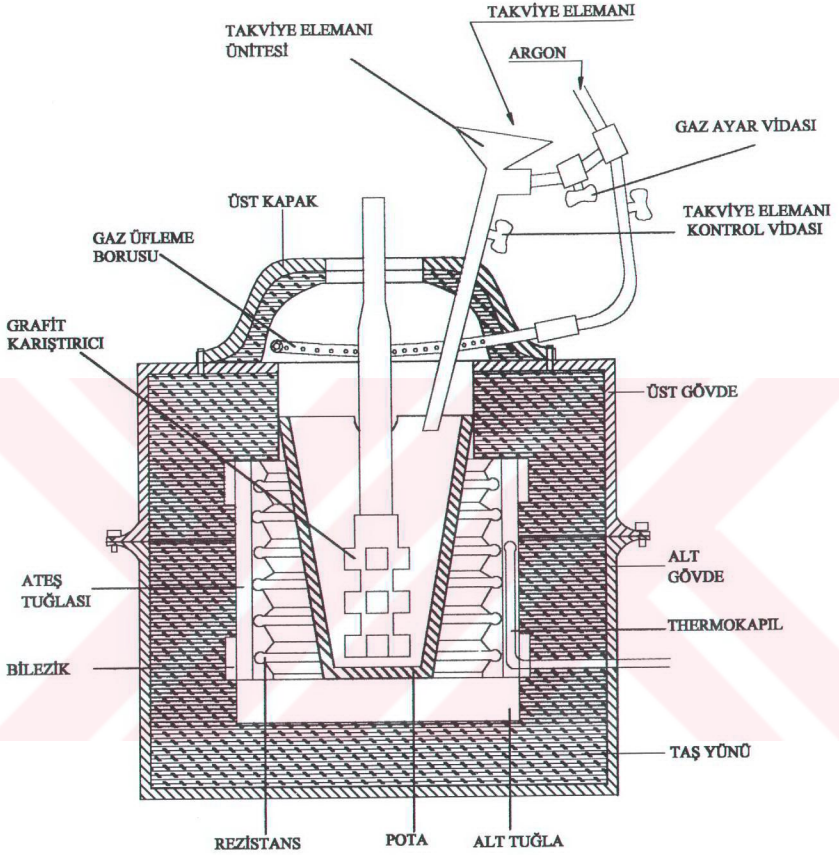
Kompozitlerin üretiminde laboratuarda imal edilmiş olan 2kW gücünde, 1100 °C sıcaklığa kadar çıkabilen, ergitme hızı ve argon gazlı koruyucu atmosfer kontrollü Şekil 5.1’de şematik olarak gösterilen devrilebilir elektrikli fırın ile takviye elemanı ünitesi kullanılmıştır. Ergitme işlemi grafit pota içerisinde gerçekleştirilirken, karıştırma işlemi için özel olarak laboratuarda yapılmış, dört kanada sahip ve bir çelik mil üzerine monte edilmiş olan 55 mm çaplı grafit karıştırıcı kullanılmıştır. Argon gazı iki kola ayrılarak birisi ergimiş metalin atmosferle temasını önlemek için pota üzerine verilirken, diğeri de takviye elemanının akış hızını kontrol etmek için takviye elemanı ünitesine bağlanmıştır. Kompozit üretim ünitesinin yan ve ön görünüşleri Foto 5.1 ve 5.2’de verilmiştir. Fırının ve ergimiş metalin sıcaklık kontrolü Nel Elektronik firmasından sağlanan NR911 termostat kullanılarak özel olarak hazırlanmış kontrol ünitesi ve thermoçiftler ile yapılmıştır.

5.2. Matriks Malzeme ve Elek Analiz Deneyleri

Matriks olarak yoğunluğu 2.8 gr/cm³ olan 2024 (ETIAL-24) alüminyum alaşımı kullanılmış ve bu alaşımın taramalı elektron mikroskobunda (SEM) yapılmış olan elementsel (EDXR) spektroskopi analiz sonuçları Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, bu alüminyum alaşımının ağırlıkça içermiş olduğu elementler Tablo 5.1’de görülmektedir.

Tablo 5.1. Matriks Alaşımının Kimyasal Analizi (% Ağırlıkça)

Al	Cu	Mg	Si	Mn	Zn	Zr	Fe	Ti	Cr
94.33	3.23	0.81	0.74	0.54	0.13	0.09	0.06	0.05	0.02



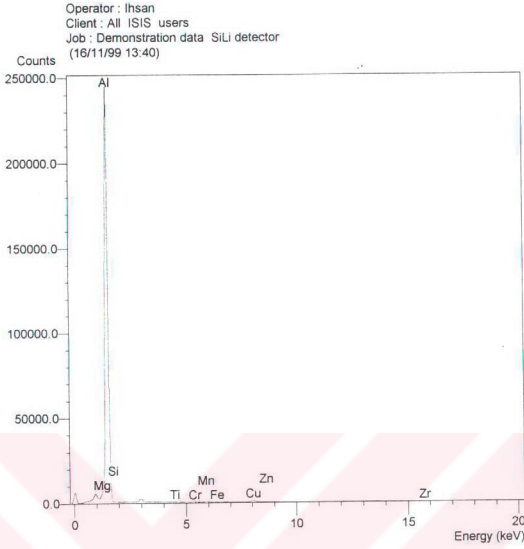
Şekil 5.1. Ergitme ve Parçacık İlişmelerinin Yapıldığı Kompozit Üretim Ünitesinin Şematik Görünüşü



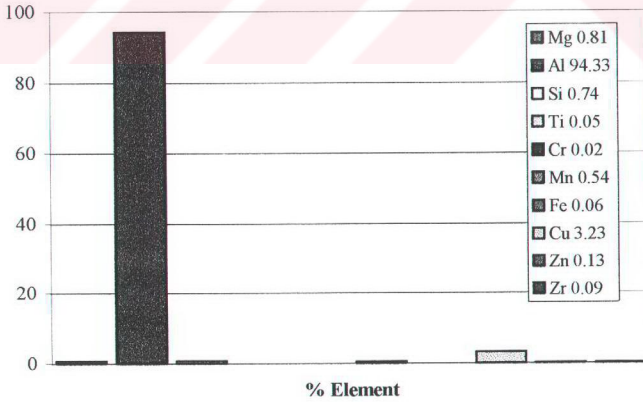
Foto 5.1. Kompozit Üretim Ünitesinin Yandan Görünüşü



Foto 5.2. Kompozit Üretim Ünitesinin Önden Görünüşü



Şekil 5.2. 2024Al Matriks Alaşımının EDXR Spektroskopi Analiz Sonuçları



Şekil 5.3. 2024Al Matriks Alaşımının EDXR Analizine Göre Ağırlıkça Kimyasal Bileşenleri

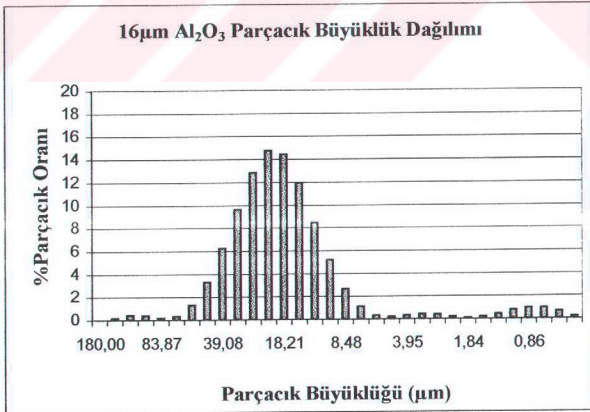
Takviye elemanı olarak Avusturya'daki Treibacher A.G. firması tarafından üretilmiş olan 66 μm , 32 μm ve 16 μm tane boyutlarında ve 3.95gr/cm^3 yoğunluğundaki beyaz renkli $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (α -alümina) parçacıkları kullanılmıştır. Alüminyum oksidin kimyasal bileşenleri Tablo 5.2'de verilmiştir. Alümina (alüminyum oksit) parçacıklar matrisi içerisine ağırlıkça % 10, % 20 ve % 30 (hacimce % 7.3, % 15 ve % 23.3) oranlarında ilâve edilmiş ve kompozit malzemeler Sıvı Metal Karıştırma (Vortex) metoduyla birlikte basınç uygulanarak üretilmişlerdir. Alüminyum oksit (Al_2O_3) parçacıklarının tane büyüklüklerini belirlemek için yapılan elek analizinde Malvern Master Sizer model “Laser Size Analyzer” cihazı kullanılmıştır. Bu şekilde takviye malzemelerinin hacimce ortalama tane boyutu (D [4,3]), parçacığın yüzey alanına göre ortalama tane boyutu (D [3,2]), malzemenin % 90'nının geçtiği elek açıklığı ($d(0.9)$), %10'nun geçtiği elek açıklığı ($d(0.1)$) ve % 50'sinin geçtiği elek açıklığı ($d(0.5)$) tespit edilmiş ve bu değerler Tablo 5.3-5.5'de; dağılım grafikleri ise Şekil 5.4-5.6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Takviye Malzemesi Alüminyum Oksidin Kimyasal Bileşenleri (%)

Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	Diğerleri
min 93	max 0.8	min 1.8	max 1.1	max 0.2

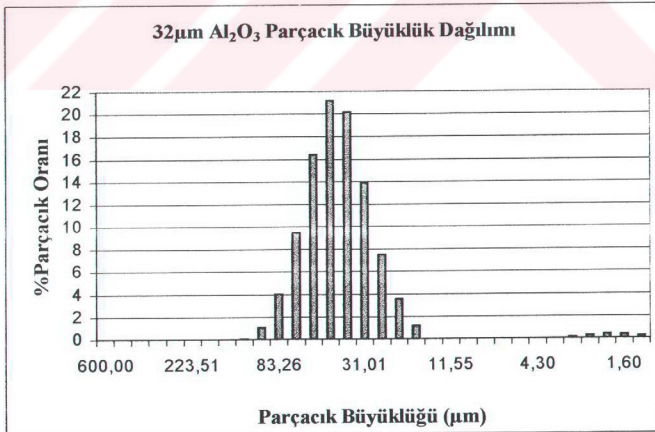
Tablo 5.3. 16 μm Al_2O_3 Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı

Elek Boyutu (µm)	Üstte Kalan (%)	Elek Boyutu (µm)	Alta Geçen (%)	Elek Boyutu (µm)	Üstte Kalan (%)	Elek Boyutu (µm)	Alta Geçen (%)
180.00	0.0	148.72	100.00	8.48	2.71	7.01	10.26
148.72	0.18	122.87	100.00	7.01	1.12	5.79	7.55
122.87	0.45	101.52	99.82	5.79	0.36	4.79	6.44
101.52	0.40	83.87	99.37	4.79	0.23	3.95	6.08
83.87	0.19	69.30	98.97	3.95	0.35	3.27	5.86
69.30	0.32	57.25	98.78	3.27	0.45	2.70	5.50
57.25	1.28	47.30	98.46	2.70	0.40	2.23	5.05
47.30	3.32	39.08	97.18	2.23	0.24	1.84	4.65
39.08	6.29	32.29	93.86	1.84	0.14	1.52	4.42
32.29	9.64	26.68	87.57	1.52	0.21	1.26	4.28
26.68	12.84	22.04	77.94	1.26	0.45	1.04	4.07
22.04	14.77	18.21	65.10	1.04	0.77	0.86	3.61
18.21	14.46	15.05	50.32	0.86	0.98	0.71	2.85
15.05	11.95	12.43	35.87	0.71	0.97	0.59	1.86
12.43	8.46	10.27	23.92	0.59	0.69	0.48	0.90
10.27	5.19	8.48	15.46	0.48	0.21	0.20	0.21
Büyüklik Dağılım Değerleri							
Hacme Göre Tane Boyutu	Yüzey Alanına Göre Tane Boyutu	Malzemenin %50'sinin geçtiği Elek Açıklığı	Malzemenin %90'nının geçtiği Elek Açıklığı	Malzemenin %10'nunun geçtiği Elek Açıklığı			
20.54µm	8.14µm	18.14µm	34.38µm	8.37µm			

Şekil 5.4. 16 μm Al_2O_3 Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı

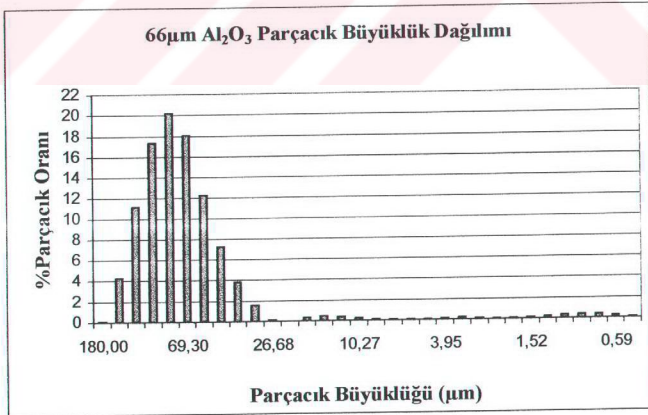
Tablo 5.4. 32 μm Al_2O_3 Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı

Elek Boyutu (μm)	Üstte Kalan (%)	Elek Boyutu (μm)	Alta Geçen (%)	Elek Boyutu (μm)	Üstte Kalan (%)	Elek Boyutu (μm)	Alta Geçen (%)
600.00	0.0	492.47	100.00	25.46	7.53	20.90	13.64
492.47	0.0	404.47	100.00	20.90	3.56	17.15	6.10
404.21	0.0	331.77	100.00	17.15	1.17	14.08	2.54
331.77	0.0	272.31	100.00	14.08	0.02	11.55	1.37
272.31	0.0	223.51	100.00	11.55	0.00	9.48	1.35
223.51	0.0	183.44	100.00	9.48	0.00	7.78	1.35
183.44	0.0	150.57	100.00	7.78	0.00	6.39	1.35
150.57	0.0	123.59	100.00	6.39	0.00	5.24	1.35
123.59	0.03	101.44	99.97	5.24	0.00	4.30	1.35
101.44	1.10	83.26	98.87	4.30	0.00	3.53	1.35
83.26	4.02	68.33	94.85	3.53	0.00	2.90	1.35
68.33	9.51	56.09	85.34	2.90	0.14	2.38	1.34
56.09	16.41	46.03	50.32	2.38	0.28	1.95	1.21
46.03	21.22	37.79	68.93	1.95	0.38	1.60	0.93
37.79	20.20	31.01	47.71	1.60	0.35	1.32	0.55
31.01	13.87	25.46	27.51	1.32	0.20	0.50	0.20
Büyüklik Dağılım Değerleri							
Hacme Göre Tane Boyutu	Yüzey Alanına Göre Tane Boyutu	Malzemenin %50'sinin geçtiği Elek Açıklığı	Malzemenin %90'nının geçtiği Elek Açıklığı	Malzemenin %10'nunun geçtiği Elek Açıklığı			
40.58μm	27.71μm	38.59μm	61.13μm	23.40μm			

Şekil 5.5. 32 μm Al_2O_3 Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı

Tablo 5.5. 66 μm Al_2O_3 Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı

Elek Boyutu (μm)	Üstte Kalan (%)	Elek Boyutu (μm)	Alta Geçen (%)	Elek Boyutu (μm)	Üstte Kalan (%)	Elek Boyutu (μm)	Alta Geçen (%)
180.00	0.05	148.72	100.00	8.48	0.11	7.01	2.58
148.72	4.28	122.87	99.95	7.01	0.04	5.79	2.48
122.87	11.16	101.52	95.67	5.79	0.04	4.79	2.44
101.52	17.34	83.87	84.51	4.79	0.08	3.95	2.40
83.87	20.22	69.30	67.17	3.95	0.13	3.27	2.32
69.30	18.01	57.25	46.95	3.27	0.16	2.70	2.18
57.25	12.26	47.30	28.94	2.70	0.14	2.23	2.02
47.30	7.25	39.08	16.68	2.23	0.09	1.84	1.88
39.08	3.84	32.29	9.42	1.84	0.06	1.52	1.79
32.29	1.54	26.68	5.59	1.52	0.10	1.26	1.73
26.68	0.11	22.04	4.04	1.26	0.19	1.04	1.63
22.04	0.02	18.21	3.93	1.04	0.31	0.86	1.44
18.21	0.28	15.05	3.91	0.86	0.39	0.71	1.13
15.05	0.46	12.43	3.63	0.71	0.38	0.59	0.74
12.43	0.36	10.27	3.17	0.59	0.27	0.48	0.35
10.27	0.22	8.48	2.81	0.48	0.08	0.20	0.08
Büyüklük Dağılım Değerleri							
Hacme Göre Tane Boyutu	Yüzey Alanına Göre Tane Boyutu	Malzemenin %50'sinin geçtiği Elek Açıklığı	Malzemenin %90'nının geçtiği Elek Açıklığı	Malzemenin %10'nunun geçtiği Elek Açıklığı			
72.64μm	23.48μm	71.33μm	109.48μm	39.82μm			

Şekil 5.6. 66 μm Al_2O_3 Parçacıklarının Büyüklük Dağılımı

5.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Çalışmaları, Sonuçları ve Tartışılması

Matriks alaşımı, elektrikli fırındaki (Şekil 5.1) üst çapı 102mm ve alt çapı 70mm olan grafit potada ergitildikten sonra sıcaklığı 700 °C'ye çıkarılmıştır. Ergimiş metalin sıcaklığı ile fırının sıcaklığı arasında bir fark olduğundan, ergimiş metalin gerçek sıcaklığı kontrol ünitesindeki aynı termostata bağlı diğer bir termočiftin potaya daldırılmasıyla ölçülerek 700 °C'ye ayarlanmıştır. Ön ısıtılmış ve 900 dev/dak hızla döndürülmüş 55 mm çaplı grafit karıştırıcı sıvıya daldırıldıktan sonra, nemini almak ve ıslanabilirliğini geliştirmek için diğer bir fırında 400 °C'de 10 dak bekletilerek havada soğumaya bırakılmış olan alüminyum oksit parçacıkları oda sıcaklığında (yaklaşık 25°C'de) yaklaşık 5 gr/dak hızla takviye elemanı ünitesindeki bakır boru vasıtasıyla kontrollü bir şekilde karıştırıcı ucun ergimiş metal içerisinde oluşturduğu girdabın (vorteks) ortasına verilmeye başlanmıştır. Ergitme ve ilâvelerin tümü Oknal firmasından sağlanan % 99.99 saflıktaki Argon gazı atmosferinde yapılmıştır. Argon gazının basıncı 0.5 MPa ve debisi 4 lt/dak olacak şekilde sabit tutulmuştur. Argon gazı sürekli fırının içerisine verilerek potanın yüzeyinde koruyucu bir atmosfer oluşturulduğundan, içerde oluşan gazların dışarıya atılması için karıştırıcı ucun daldırıldığı fırının üzerindeki kapak sürekli olarak açık bırakılmıştır. Parçacık ilâvesi tamamlandıktan sonra, parçacıkların pota dibine çökmeden sıvı metal içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlamak için karıştırma işlemine 5 dakika daha devam edilmiştir. Daha sonra karıştırıcı uç hızlı bir şekilde dışarıya çıkarılmış ve sıvı karışım, fırın devrilerek 550 °C'ye ön ısıtılmış 40 mm çapında ve 200 mm uzunluğundaki silindirik dökme demir kokil kalıba dökülmüştür. Porozitenin en az seviyede tutulabilmesi için, hemen akabinde kalıp hidrolik pres altına götürülmüş ve sıvı karışıma yaklaşık 6 MPa (60 bar)'lık bir basınç uygulanmıştır. Kalıp 5 dakika sonra açılmış ve numuneler havada soğumaya terk edilmişlerdir. Bu şekilde 40x140mm ölçülerinde silindirik kompozit numuneler elde edilmiştir. Ayrıca üretilen kompozitlerin özelliklerinin, matriks alaşımın özellikleri ile kıyaslanabilmesi için takviyesiz matriks alaşım da aynı üretim şartları altında hazırlanmıştır. Takviye elemanı olmamasına rağmen matriks alaşım da yine kısa bir süre karıştırıldıktan sonra kalıba dökülmüştür.

Değişik denemeler sonucunda optimum sonuçlar; 700 °C ergimiş metal sıcaklığı, 900 dev/dak karıştırma hızı, 550 °C kalıp sıcaklığı ve 5 gr/dak takviye elemanı ilâve hızlarında elde edilmiştir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda da bu değerlere yakın değerlerde optimum sonuçların elde edildiği belirtilmiştir. Milliere ve Suery (1988), yaptıkları çalışmada metal sıcaklığını 700 °C, karıştırma hızını 1000 dev/dak ve kalıp sıcaklığını 600 °C olarak almışlardır. Hanumanth ve Irons (1993), metal sıcaklığının 690-700 °C olması gerektiğini belirtirken; Seo ve Kang (1995), yaptıkları çalışmada ergimiş metalin sıcaklığının 680-700 °C, karıştırma hızının 750 dev/dak, karıştırma zamanının 5 dak ve takviye ilâve hızının 2 gr/dak olarak alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Hung ve diğ. (1995), döküm sıcaklığının 700-710 °C arasında olması gerektiğini vurgularken; McLean ve diğ. (1997), metal sıcaklığını 700 °C ve kalıp sıcaklığını 650 °C olarak almışlardır. Yine, Gül ve İnem (1997) yaptıkları çalışmada 750 °C metal sıcaklığı ve 900 dev/dak karıştırma hızında; Akbulut ve diğ. (1995) ise, 750 °C metal sıcaklığı ve 1000 dev/dak karıştırma hızında optimum sonuçlar elde etmişlerdir.

Bu çalışma esnasında, daha yüksek ergimiş metal sıcaklığında Al_2O_3 parçacıkları dibe çökelmiş, daha düşük sıcaklıkta ise parçacıklar metalin içerisine girememiş ve metalin yüzeyinde topaklanmışlardır. Daha yüksek karıştırma hızlarında, Al_2O_3 parçacıkları karıştırıcının meydana getirdiği rüzgârla savrulurak bir kısmı potanın dışına gitmiş ve bir kısmı da potanın yan yüzeylerine sıvanarak orada birikmiştir. Daha düşük karıştırma hızlarında ise; karıştırıcı uç, parçacıkları metalin içerisine itememiş ve parçacıklar metalin yüzeyinde topaklanarak birikip kalmıştır. Kalıp sıcaklığı daha düşük olduğunda, karışım kalıba dökülür dökülmez katılaşmış ve uygulanması gereken basınç uygulanamamış, dolayısıyla malzemedeki porozite miktarı artmıştır. Daha yüksek kalıp sıcaklığında ise, katılaşma hızı düşük olduğundan Al_2O_3 parçacıkları kalıbın alt tarafına doğru çökelmiş ve homojen bir dağılım sağlanamamıştır. Yine daha yüksek takviye elemanı hızlarında, parçacıkların bir kısmı metalin içerisine karışmayarak yüzeyde topaklanmış ve karışım homojen olmamıştır.

Elde edilen kompozit ve matriks alaşım numunelerin yoğunlukları Arşimed prensibine göre ölçülmüş ve bu yoğunluklardan yararlanılarak poroziteleri

hesaplanmıştır. Malzemelerin mikroyapı fotoğrafları LEO 440 Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) çekilmiş, sertlikleri ve çekme mukavemetleri ölçülmüştür. Widia marka TiN kaplı sementit karbür (TiN-K10), Seco marka TP30 ve HX kesici takımlarla değişik kesme hızları kullanılarak Boxford 250 CNC Torna Tezgahında, üretilen bu kompozitlerin ve matrisi alaşımın işlenebilirliği takım ömrü, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü bakımından incelenmiştir. Aşınan takımların aşınma bölgelerinin yine SEM fotoğrafları çekilmiştir.

5.4. Yoğunluk Ölçüm ve Porozite Oran Deneyleri, Sonuçları ve Tartışılması

Üretilen deney numunelerinin yoğunluk ölçümleri Arşimed prensibine göre, ağırlıklarının ve su içinde hacimlerinin belirlenmesi ile yapılmıştır. Kompozit malzemelerle aynı şartlarda üretilen takviyesiz 2024Al alaşımının ölçülen yoğunluğu esas alınarak ve üretilen kompozitlerin içerdikleri Al_2O_3 parçacık hacim oranına bağlı olarak karışım kuralına göre, kompozitlerin hesaplanan teorik ve ölçülen deneysel yoğunlukları Tablo 5.6'da verilmiştir. Her bir kompozit için teorik ve deneysel yoğunluk farklarından hesaplanan, içerdikleri porozite oranları da yine Tablo 5.6'da gösterilmiştir. Ayrıca malzemelerin yoğunluklarının ve içerdikleri porozite miktarlarının Al_2O_3 parçacık oranı ile değişimi sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de verilmiştir. Malzemelerin porozite oranları

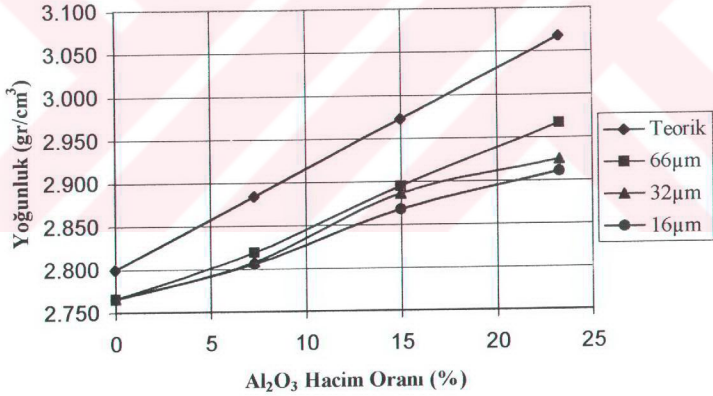
$$\% \text{ porozite} = \frac{\rho_{\text{teorik}} - \rho_{\text{deneysel}}}{\rho_{\text{teorik}}} \times 100$$

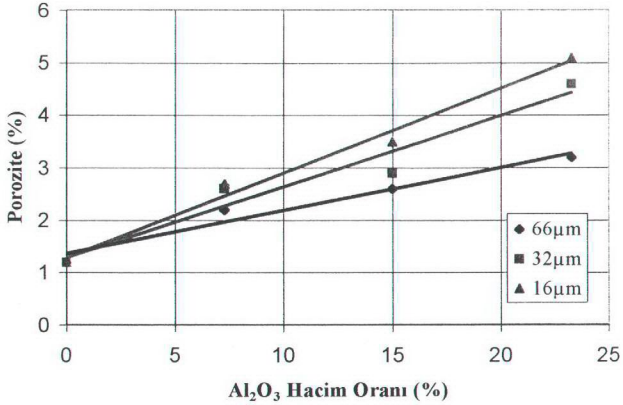
formülü ile hesaplanmıştır.

Şekil 5.7'de, malzemelerin teorik yoğunluk değerlerinin karışım kuralından bekleneneği gibi ideal bir şekilde doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Ölçülen deneysel yoğunluklarda da doğrusal bir artış görülmesine rağmen, artış hızı teorik artışın hızından düşüktür. Burada görüldüğü gibi, takviye elemanı Al_2O_3 parçacıklarının boyutunun ve hacim oranının artmasıyla malzemelerin yoğunlukları da artmaktadır.

Tablo 5.6. Deney Numunelerinin Teorik ve Ölçülen Yoğunlukları ve Porozite Miktarları

Malzeme	Al ₂ O ₃ (%) (Hacimce)	Teorik Yoğunluk (gr/cm ³)	DeneySEL Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)
2024Al matrisi	0	2.800	2.766	1.2
66µm Al ₂ O ₃ -2024Al	7.3	2.884	2.819	2.2
66µm Al ₂ O ₃ -2024Al	15	2.973	2.895	2.6
66µm Al ₂ O ₃ -2024Al	23.3	3.068	2.967	3.2
32µm Al ₂ O ₃ -2024Al	7.3	2.884	2.808	2.6
32µm Al ₂ O ₃ -2024Al	15	2.973	2.886	2.9
32µm Al ₂ O ₃ -2024Al	23.3	3.068	2.925	4.6
16µm Al ₂ O ₃ -2024Al	7.3	2.884	2.806	2.7
16µm Al ₂ O ₃ -2024Al	15	2.973	2.868	3.5
16µm Al ₂ O ₃ -2024Al	23.3	3.068	2.911	5.1

Şekil 5.7. Kompozitlerin Teorik ve DeneySEL Yoğunluklarının Al₂O₃ Hacim Oranı ile Değişimi



Şekil 5.8. Kompozitlerin İçerdikleri Porozite Miktarının Al₂O₃ Hacim Oranı ile Değişimi

Şekil 5.8’de Al₂O₃ parçacıklarının hacim oranının artması ve tane boyutunun azalmasıyla malzemelerdeki porozite oranlarının arttığı görülmektedir. Bu sonuç diğer çalışmalarda da gözlenmiştir (Akbulut ve diğ., 1993; Akbulut ve diğ., 1995). Partikül hacim oranının artışı ile MMK malzemelerin üretimleri esnasında partikül ilâve süresinin uzun olması ve partikül boyutunun düşmesi ile hava ile temas eden yüzey alanı arttığından dolayı porozitenin artması doğaldır ve bu durum birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmektedir (Ghost ve Ray, 1988; Akbulut ve diğ., 1995). Buna rağmen, bu çalışmada döküm işleminden hemen sonra basıncın uygulanması, porozite oranının azalmasına, Al alaşımı ile Al₂O₃ partikül arasındaki bağ kuvvetinin ve ıslanabilirliğin iyileşmesine neden olduğundan, vorteks metodu ve basınç ile daha iyi ve oldukça düşük poroziteli MMK malzemeler elde edilmiştir. Basınç uygulanmamasından dolayı, daha önceki çalışmalarda (Akbulut ve diğ., 1993; Akbulut ve diğ., 1995) vorteks metodu ile üretilmiş kompozitlerdeki porozite oranlarının, bu çalışmadaki porozite oranlarından daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

5.5. Mikroyapı Deneyleri, Sonuçları ve Tartışılması

Elde edilen malzemelerin mikroyapı incelemeleri için, malzemelerden alınan numuneler sırasıyla 120-400-600 mesh'lik zımpara kademelerinden sonra 6 μm ve 1 μm 'lik elmas pasta ile parlatılmış; mikroyapı fotoğrafları taramalı elektron mikroskopunda (SEM) çekilmiştir. Foto 5.3'de 2024Al matriks alaşımının mikroyapısı; Foto 5.4, 5.5 ve 5.6'da sırasıyla ağırlıkça % 30, 20 ve 10 oranlarında 66 μm , 32 μm ve 16 μm boyutlu Al_2O_3 partikül takviyeli kompozitlerin mikroyapıları verilmiştir. Bu fotoğraflarda 66 μm boyutlu Al_2O_3 partiküllerinin homojen dağıldığı, 32 μm ve 16 μm partiküllerin dağılımının ise homojen olmadığı ve partiküllerin bir araya toplandığı gözlenmiştir (Foto 5.4-5.6). Porozite miktarlarına bakıldığında, 32 μm ve 16 μm boyutlu Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde porozite miktarlarının daha fazla olduğu, 66 μm Al_2O_3 partikül takviyeli kompozitlerde ise porozite miktarlarının az olduğu görülmüştür. Foto 5.7'de yine 66 μm , 32 μm ve 16 μm boyutlu Al_2O_3 takviyeli kompozitlerin farklı mikroyapıları verilmiştir.

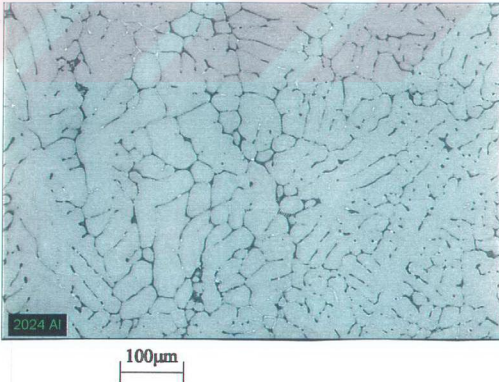


Foto 5.3. 2024Al Matriksin SEM Mikroyapı Fotoğrafi

Foto 5.4, 5.5 ve 5.6'ya bakıldığında, 66µm boyutlu Al_2O_3 partiküllerinin homojen olarak dağıldığı, diğer partiküllerin dağılımının ise homojen olmadığı ve partiküllerin bir araya toplandığı görülmektedir. En çok partikül toplanmasının ve porozitelerin 16 µm boyutlu Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde olduğu bu fotoğraflardan açıkça anlaşılmaktadır. Foto 5.5c, 5.6b ve 5.6c, partikül toplanmalarını göstermekte; Foto 5.7c'de ise partiküller arasındaki koyu siyah renkli bölgenin porozite olduğu çok net bir şekilde görülmektedir.

Tablo 5.6'ya bakıldığında ağırlıkça % 30 16 µm Al_2O_3 içeren kompozitlerde porozite oranı % 5.1'e çıkmaktadır. MMK'lerin üretiminde en önemli faktör, takviye elemanlarının homojen dağılımıdır. Pratikte vorteks metodu ile MMK üretiminde homojen bir partikül dağılımı elde etmek çok güçtür ve işlem parametrelerinin çok iyi kontrol edilmesi gerekir (Ghost ve Ray, 1988). Kompozitin katılaşması sırasında katı partiküller, büyüyen dendritlerden katı-sıvı ara yüzeyine doğru itilirler. Ötektik altı Al-Si alaşımlarında ilk katılaşan dendritler takviye elemanı partiküllerini ötektığe itip, bu bölgeleri takviyece zenginleştirirler. Bu olay düşük partikül boyutlu metal-seramik sistemlerinde daha da fazla olur ve partiküller dendritler arasına sıkışarak bir araya toplanmalar meydana getirirler (McCoy ve Franklin, 1988). Bu durumun bu çalışmadaki 16 µm ve 32 µm boyutlu Al_2O_3 partikül takviyeli kompozitlerde de olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak bu çalışmada elde edilen kompozitlerde, büyük boyutlu Al_2O_3 partiküllerinin homojen olarak dağıldığı, buna karşın küçük boyutlu Al_2O_3 partiküllerinin homojen dağılmadığı ve bu partiküllerle takviyeli kompozitlerde partikül yığılmasının olduğu gözlenmiştir (Foto 5.4-5.6). Bu partikül yığılmasının nedeninin de, kompozitin katılaşması sırasında partiküllerin büyüyen dendritler tarafından katı-sıvı arayüzeyine doğru itilmeleri ve partiküllerin dendritler arasına sıkışarak bir araya toplanmalarının olduğu sanılmaktadır. Bu olayın küçük boyutlu partiküllerde daha fazla olduğu belirtilmektedir (McCoy ve Franklin, 1988). Ayrıca basınç uygulanmasına rağmen, küçük boyutlu Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde büyük boyutlu Al_2O_3 takviyeli kompozitlere göre porozite oranı daha fazla olmuştur (Foto 5.7). Akbulut ve diğ. (1993) yaptıkları çalışmada, partikül boyutunun artması ile homojen bir dağılımın sağlandığını

ve düşük boyutlu partiküllerin, partikül topaklanmasına ve poroziteye neden olduğunu belirtmişlerdir. Yine, Durman ve diğ. (1993), partikül hacim oranının artmasıyla porozite oranının arttığını belirtirken; Akbulut ve diğ. (1995) yaptıkları çalışmada, partikül hacim oranının artması ve partikül boyutunun azalmasıyla porozite oranının arttığını vurgulamışlardır. Değişik üretim şartlarında yapılan denemeler sonucunda homojen partikül dağılımı; 700 °C ergimiş metal sıcaklığı, 900 dev/dak karıştırma hızı, 5 gr/dak takviye ilâve hızı, 5 dak karıştırma süresi (takviyeden sonraki), 550 °C kalıp sıcaklığı ve 6 MPa basınç şartlarında gerçekleştirilmiştir.



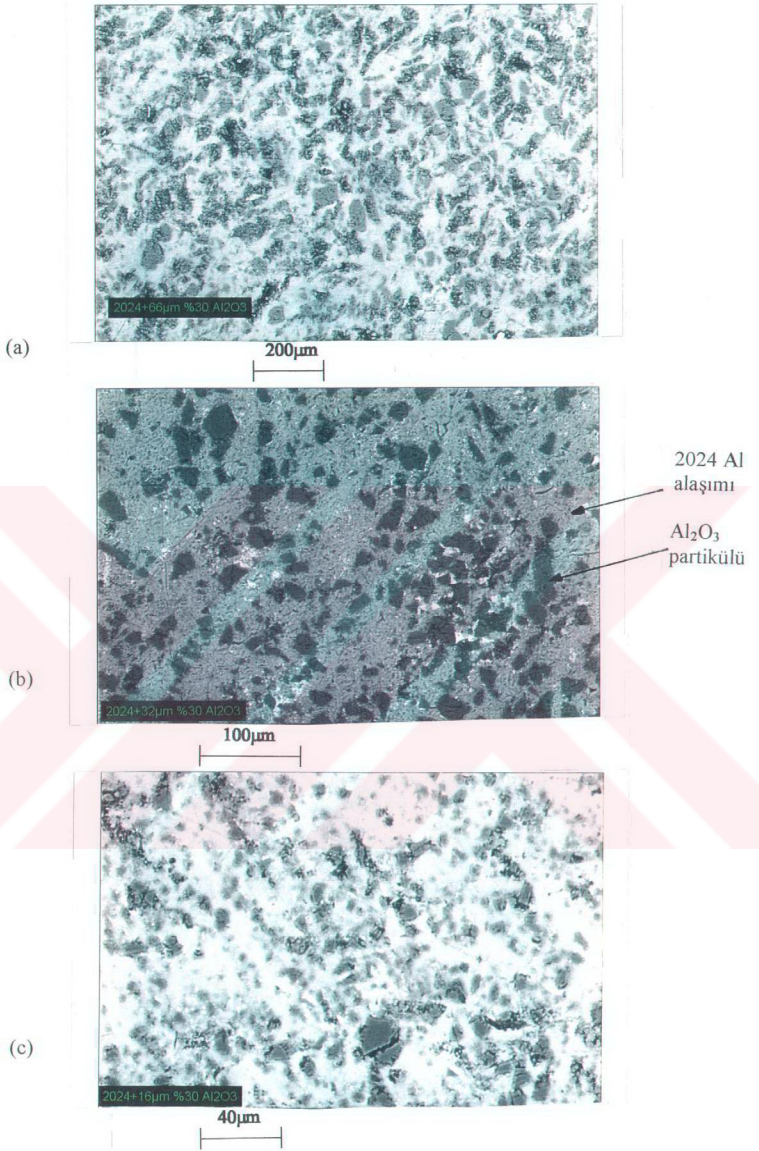


Foto 5.4. Ağırlıkça %30 Al₂O₃ Takviyeli Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafları
(a) 66 µm Al₂O₃+2024Al Kompozit, (b) 32 µm Al₂O₃+2024Al Kompozit, (c) 16 µm Al₂O₃+2024Al Kompozit

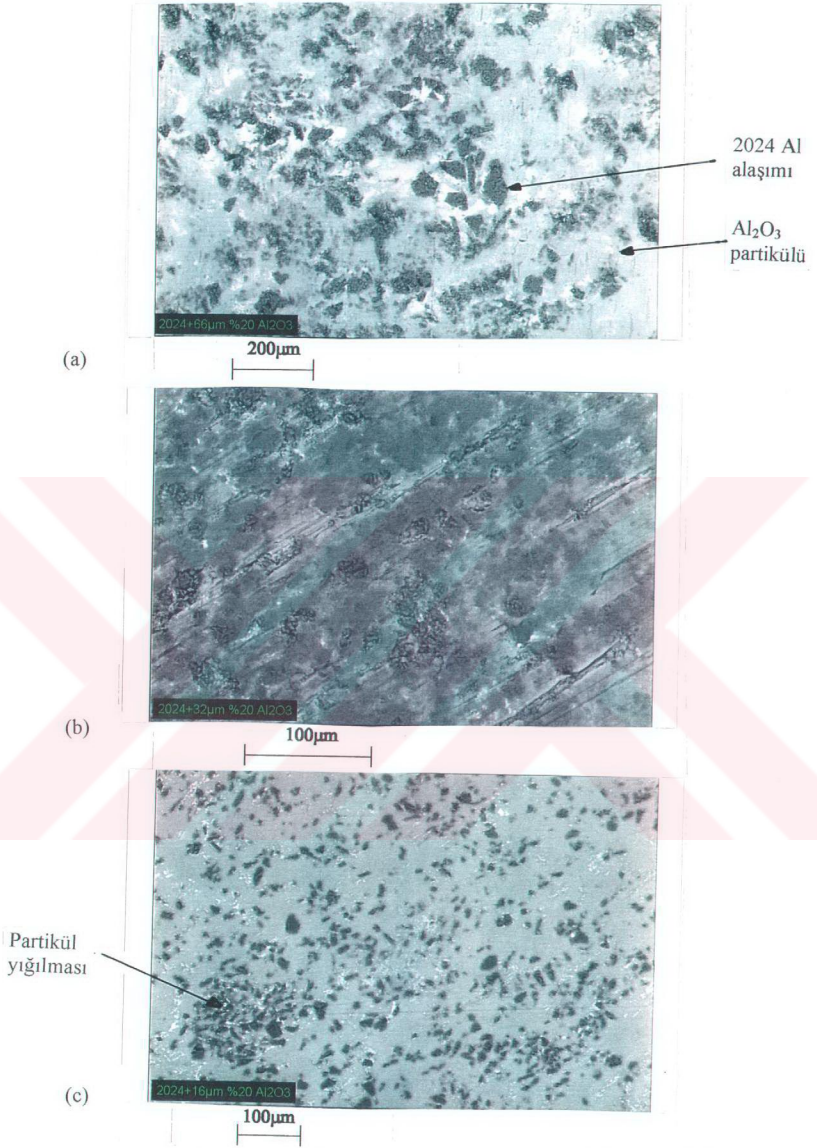


Foto 5.5. Ağırlıkça %20 Al₂O₃ Takviyeli Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafları
 (a) 66 μm Al₂O₃+2024Al Kompozit, (b) 32 μm Al₂O₃+2024Al Kompozit, (c) 16 μm Al₂O₃+2024Al Kompozit

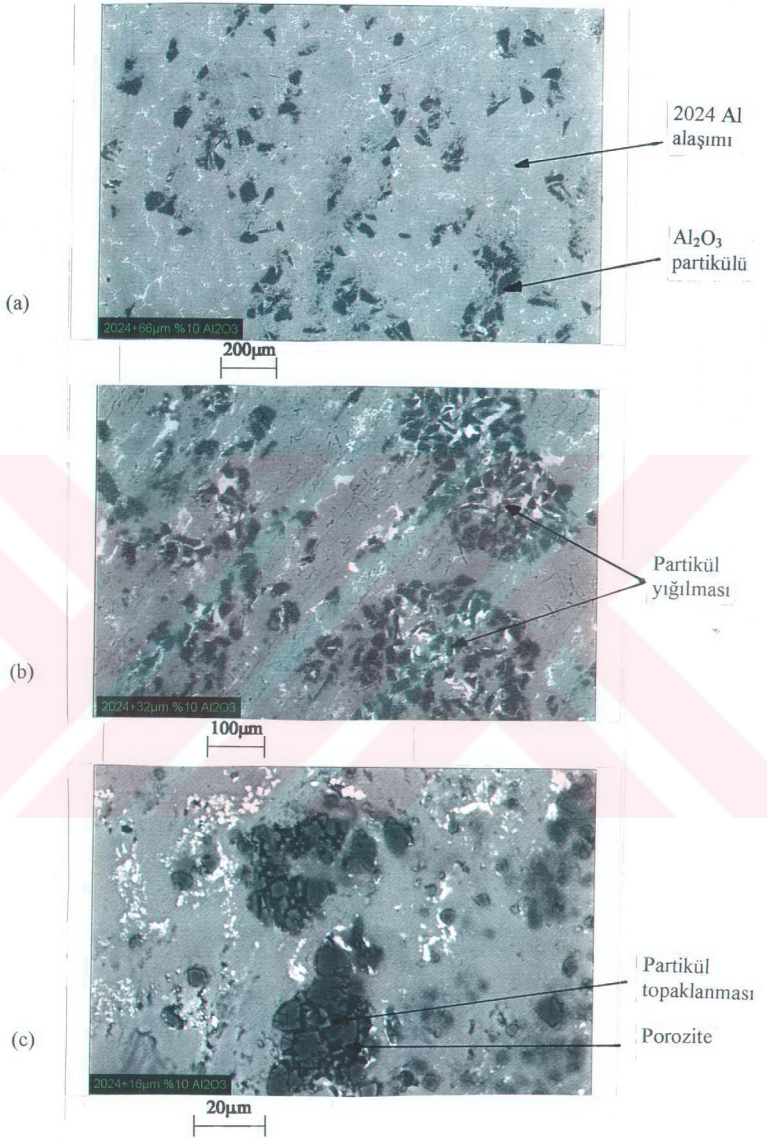


Foto 5.6. Ağırlıkça %10 Al₂O₃ Takviyeli Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafları
 (a) 66 µm Al₂O₃+2024Al Kompozit, (b) 32 µm Al₂O₃+2024Al Kompozit, (c) 16 µm Al₂O₃+2024Al Kompozit

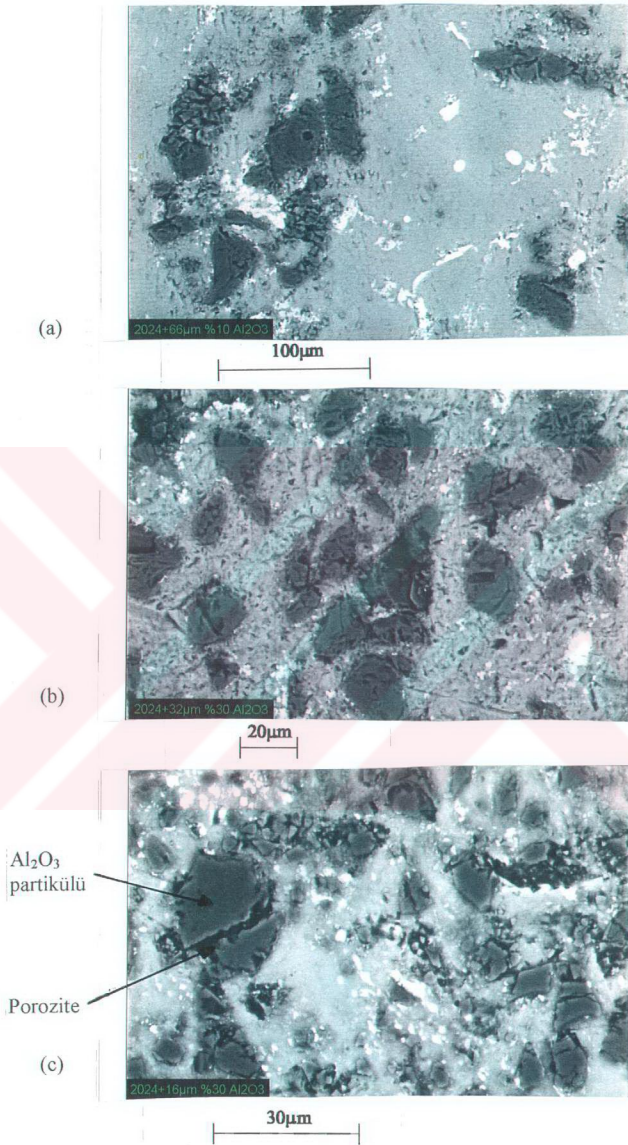


Foto 5.7. Kompozitlerin SEM Mikroyapı Fotoğrafları (a) 2024Al+%10 66 µm Al₂O₃ Kompozit, (b) 2024Al+%30 32 µm Al₂O₃ Kompozit, (c) 2024Al+%30 16 µm Al₂O₃ Kompozit

5.6. Malzemelerin Sertlik ve Çekme Mukavemetleri Deneyleri, Sonuçları ve Tartışılması

Takviyesiz 2024Al alaşımının ve değişik boyut ve hacim oranlarında Al_2O_3 partikül takviyeli MMK malzemelerinin, Brinell sertlik ölçümleri 2.5 mm çapında bilya ve 187.5 kg yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için en az 10 ölçüm yapılmış ve ortalama değer, sertlik değeri olarak alınmıştır. Matriks alaşımın ve elde edilen kompozit malzemelerin sertlik değerleri Tablo 5.7’de verilmiştir. Malzemelerin sertlik değerlerinin partikül hacim oranı ve partikül boyutuna göre değişimi ise, Şekil 5.9’da görülmektedir. Şekil 5.9’da görüldüğü gibi, partikül hacim oranının artmasıyla MMK malzemelerin sertliği önemli derecede artmaktadır. Partikül boyutunun düşmesi de sertliğin artmasına neden olurken, 66 μm partikül boyutunda en düşük, 32 μm ’de 66 μm ’ye göre daha yüksek ve 16 μm ’de ise en yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Sonuç olarak, partikül hacim oranının artması ve partikül boyutunun azalmasıyla MMK malzemelerin sertlikleri artmaktadır.

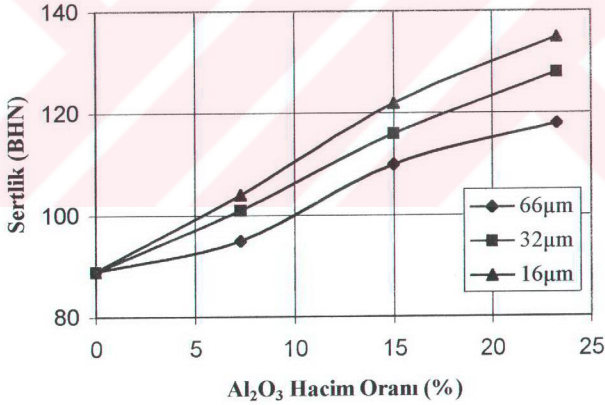
Matriks alaşımın ve MMK malzemelerin çekme mukavemet testleri Şekil 5.10’da görülen 30 mm boy ve 6 mm çapa (TS 138) sahip numuneler üzerinde, Hounsfield Çekme deneyi cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyler her bir malzeme için iki numune üzerinde yapılmış ve ortalama değer, çekme mukavemeti değeri olarak alınmıştır. Sonuçlar Tablo 5.7’de gösterilmiştir. Şekil 5.11’de malzemelerin çekme mukavemetlerinin partikül hacim oranına ve partikül boyutuna göre değişimleri gösterilmiştir. Bu grafikte, artan partikül hacim oranı ve azalan partikül boyutu ile MMK malzemelerin çekme mukavemetlerinin arttığı görülmektedir. Partikül boyutuna göre bir değerlendirme yapıldığında ise, tıpkı sertlikte olduğu gibi 66 μm partikül boyutunda en düşük, 32 ve 16 μm partikül boyutunda ise daha yüksek çekme gerilmesi değerlerine ulaşılmıştır. 32 ve 16 μm partikül boyutunda % 12’lik bir artıştan sonra küçük bir değişim olmuş ise de, bu değişim genel artışı etkileyici bir büyüklükte değildir.

Matriks malzemesi ile kıyaslandığında, bütün MMK malzemelerin sertliklerinin ve çekme mukavemetlerinin daha fazla olduğu görülmekte ve partikül ilâvesinin malzemenin sertliğini ve çekme mukavemetini artırdığı anlaşılmaktadır.

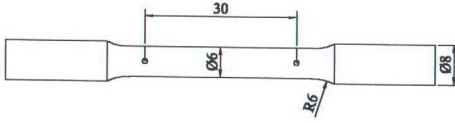
Elde edilen kompozit malzemelerin ölçülen sertlik değerlerinden; partikül hacim oranının artması ve partikül boyutunun azalmasıyla malzemelerin sertliklerinin arttığı görülmüştür. Yine malzemelerin çekme mukavemeti test sonuçları, artan partikül hacim oranı ve azalan partikül boyutuyla kompozit malzemelerin çekme mukavemetlerinin arttığını göstermiştir. Yapılan bazı çalışmalarda bu konuda ortak görüşler belirtilmiştir: Akbulut ve diğ. (1993), partikül hacim oranının artması ve partikül boyutunun azalmasıyla sertliğin arttığını; Durman ve diğ. (1993), kompozitlerin sertliklerinin artan hacim oranı ile arttığını; Purazrang ve diğ. (1994), takviye elemanı oranının artmasıyla kompozitlerin çekme mukavemetinin arttığını; Akbulut ve diğ. (1995), partikül hacim oranının artması ve boyutunun düşmesi ile kompozitlerin sertlik ve çekme mukavemetlerinin arttığını belirtmişlerdir.

Tablo 5.7. 2024 Al Matriksin Al₂O₃ Malzemelerin Brinell Sertlik ve Çekme Mukavemeti Değerleri

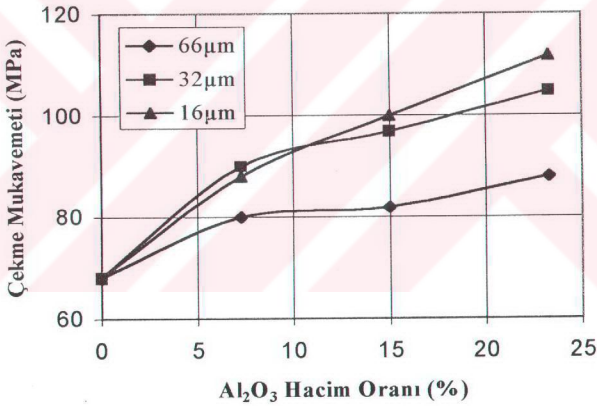
Malzeme	Al ₂ O ₃ (%) (Hacimce)	Sertlik Değeri (BHN)	Çekme Mukavemeti (MPa)
2024Al matriks	0	89	68
66µm Al ₂ O ₃ -2024Al	7.3	95	80
66µm Al ₂ O ₃ -2024Al	15	110	82
66µm Al ₂ O ₃ -2024Al	23.3	118	88
32µm Al ₂ O ₃ -2024Al	7.3	101	90
32µm Al ₂ O ₃ -2024Al	15	116	97
32µm Al ₂ O ₃ -2024Al	23.3	128	105
16µm Al ₂ O ₃ -2024Al	7.3	104	88
16µm Al ₂ O ₃ -2024Al	15	122	100
16µm Al ₂ O ₃ -2024Al	23.3	135	112



Şekil 5.9. Kompozitlerin Sertlik Değerlerinin Partikül Hacim Oranı ve Partikül Boyutuna Göre Değişimi



Şekil 5.10. Çekme Mukavemeti Testi Numunelerinin Şematik Diyagramı (Ölçüler, mm)



Şekil 5.11. Kompozitlerin Çekme Mukavemeti Değerlerinin Partikül Hacim Oranı ve Partikül Boyutuna Göre Değişimi

5.7. İşlenebilirlik Deneyleri

5.7.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Tornalama işlemleri, yine bu çalışmada üretilmiş olan 40mm çapında ve 140mm uzunluğundaki 2024Al matrisi alaşımı ve ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında 66 µm, 32 µm ve 16 µm boyutlarındaki Al₂O₃ partiküllerle takviye edilmiş MMK'ler olmak üzere 10 çeşit numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Daha sıhhatli sonuçlar elde etmek için, döküm sonrası deney numunelerinin dış yüzeylerindeki sert ve pürüzlü olan döküm kabuğu tamamen kaldırılncaya kadar, elmas uçlu torna kalemı ile numuneler 35 mm çapa kadar torna edilmiştir.

5.7.2. Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar

Bu çalışmada, SECO firmasına ait ISO kodları sırasıyla CCMT09T308-F2 ve CCMT09T304R-95HX olan, Ti+Ti(C,N)+TiN ile kaplı TP30 ve kaplamasız HX rombik düz talaş kırıcı CNC torna kalemleri ile WIDIA firmasına ait ISO kodu CCMT09T308-41 olan, TiN ile kaplı K10 (K10) rombik motifli talaş kırıcı CNC torna kalemı kullanılmıştır. Birbirleriyle kıyaslamak için kompozitlerin işlenmesinde, kısa talaşlı malzemeler için uygun olan yüksek tokluğa sahip K10 takımı ile uzun talaşlı malzemeler için uygun olan yine yüksek tokluğa sahip TP30 kesici takımları tercih edilmiştir. Alüminyum alaşımlar için uygun olan HX kesici takımıyla matrisi alaşım ve bir çeşit kompozit işlenerek, aralarındaki fark görülmeye çalışılmıştır. Bu kesici takımlar yine SECO firmasına ait ve ISO kodu SCLCL2020K09 olan takım tutucu kullanılarak CNC torna tezgahına bağlanmıştır. Kullanılan bu kesici takımların geometrik özellikleri Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8. Kullanılan Kesici Takımların Geometrik Özellikleri

TAKIM:	K10	TP30	HX
Talaş Açısı (γ)	0°	0°	0°
Boşluk Açısı (α)	7°	7°	7°
Kama Açısı (β)	80°	80°	80°
Uç Yarıçapı (r)	0.8mm	0.8mm	0.4mm

5.7.3. Kesme Şartları

Deneyler, 2.2kW gücünde BOXFORD 250 CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Kesme şartları Tablo 5.9’da verildiği gibidir. Kesme şartlarından da görüldüğü gibi, tornalama testlerinde ilerleme hızı ve talaş derinliği sabit tutularak kesme hızı değiştirilmiş ve soğutma sıvısı kullanılmamıştır.

Tablo 5.9. Tornalama Testlerinde Kullanılan Kesme Şartları

Kesme Hızı, V (m/dak)	100, 160 ve 210
İlerleme Hızı, f (mm/dev)	0.1
Talaş Derinliği, a (mm)	2
Kesme Sıvısı	Kullanılmadı

5.7.4. Takım Aşınması ve Takım Ömrü Deneyleri

Bütün numuneler daha önce belirtilen aynı kesme şartları altında ($V=100, 160$ ve 210 m/dak, $f=0.1$ mm/dev, $a=2$ mm ve kuru olarak) işlenmiş ve takımın 0.3 mm ortalama yan yüzey aşınma değeri ($VB=0.3$ mm), takım ömrü kriteri olarak alınmıştır. Tablo 5.10’da yapılacak deneylerin bir listesi görülmektedir. Takımların yan yüzey aşınma miktarları, SCHERR ST TUMICO marka ve 0.002 mm hassasiyetindeki alet mikroskobunda ölçülmüştür. Bütün takımların tornalama işlemlerinden sonra, aşınan yan yüzey bölgelerinin LEO 440 taramalı elektron mikroskobunda (SEM) fotoğrafları çekilmiştir. Ancak, numune sayısı ve çekilen fotoğraflar çok fazla olduğundan ve tüm

bu fotoğrafların çalışmada fazla yer işgal edeceği düşünüldüğünden, çekilen SEM fotoğraflarının tümü yerine bazıları bu çalışmada sunulmuştur.

Tablo 5.10. Takım Ömrü Deneyleri

Deney No	İşlenilen Malzeme	Kullanılan Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)
1	2024 Al alaşımı	TP30 K10	100, 160 ve 210	0.1	2
2	16 µm partikül takviyeli kompozitler	TP30 K10	100, 160 ve 210	0.1	2
3	32 µm partikül takviyeli kompozitler	TP30 K10	100, 160 ve 210	0.1	2
4	66 µm partikül takviyeli kompozitler	TP30 K10	100, 160 ve 210	0.1	2
5	2024 Al alaşımı ve 2024Al+% 30 32 µm Al ₂ O ₃ kompozit	HX	100, 160 ve 210	0.1	2

5.7.4.1. K10 ve TP30 Kesici Takımlar İle Yapılan Deneyler ve Sonuçları

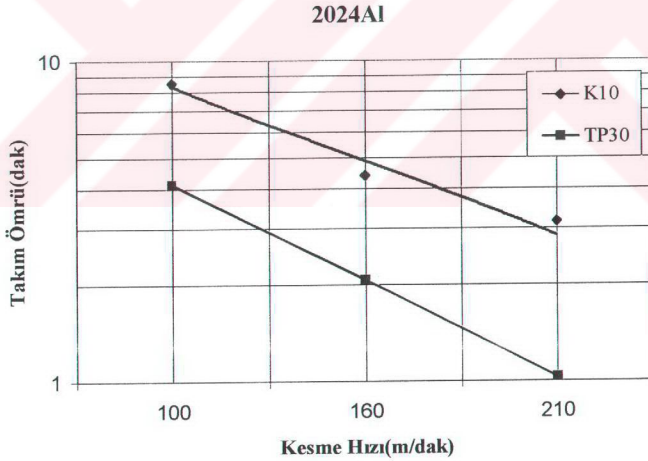
1. Deney

İşlenen Malzeme: Takviyesiz 2024Al matris alaşımı

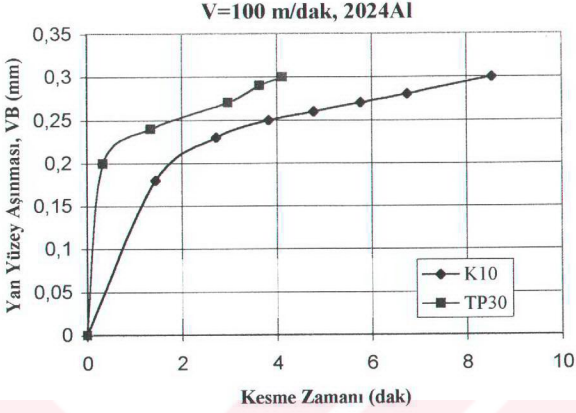
Kesme Şartları: V=100, 160, 210 m/dak, f=0.1 mm/dev, a=2mm ve kuru işleme

Elde Edilen Sonuçlar: 2024Al matris alaşımının K10 ve TP30 takımlarla işlenmesinden elde edilen, takım ömrünün kesme hızına göre değişim grafiği Şekil 5.12'de görülmektedir. Bu grafikte görüldüğü gibi, her iki takım için de kesme hızı arttıkça takım ömrü azalmış, ancak TP30 takımının ömrü K10 takımının ömrüne göre daha kısa ve kesme hızının artmasıyla takım ömründeki düşme hızı daha yavaş olmuştur.

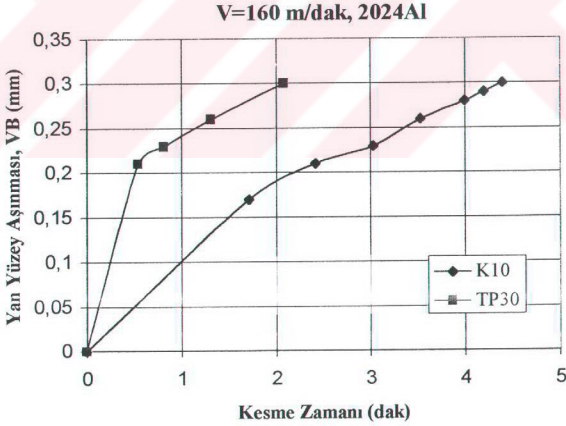
Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15’de her iki takım için, takım yan yüzey aşınmasının kesme zamanına göre grafikleri verilmektedir. Bu grafiklerde, kesme hızının artmasıyla takım ömrü kriteri aşınma miktarına ($VB=0.3$ mm) ulaşmak için geçen kesme zamanı, her iki takım için de azalmıştır. Ancak K10 takımının kesme zamanı yani takım ömrü, TP30 takımınınkinden daha fazla olmuş; 100 ve 160 m/dak kesme hızlarında K10 takımının kesme zamanı, TP30 takımının kesme zamanının iki katından daha fazla olurken; 210 m/dak kesme hızında bu fark üç katına kadar çıkmıştır. 100 m/dak kesme hızında, K10 takım $VB=0.3$ mm yan yüzey aşınmasına 8.55 dakikada ulaşırken, TP30 takım bu değere 4.13 dakikada ulaşmıştır. 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında ise, K10 takımının ömrü sırasıyla 4.4 ve 3.16 dakika olurken, TP30 takımının ömrü 2.08 ve 1.03 dakika olmuştur. Dolayısıyla, 2024Al alaşımın işlenmesinde takımların ömrü kesme hızı arttıkça azalmış ve TP30 takımının ömrü K10 takımının ömründen daha kısa olmuştur.



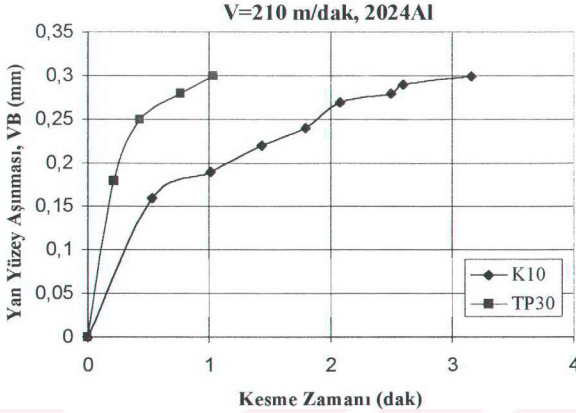
Şekil 5.12. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al Matris Alaşımın İşlenmesinde Takım Ömrü-Kesme Hızı Grafiği



Şekil 5.13. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al Matriks Alaşımın V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

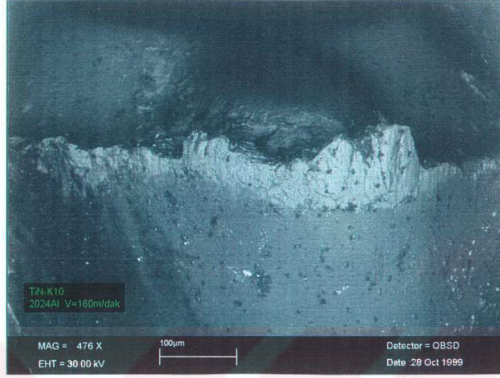


Şekil 5.14. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al Matriks Alaşımın V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

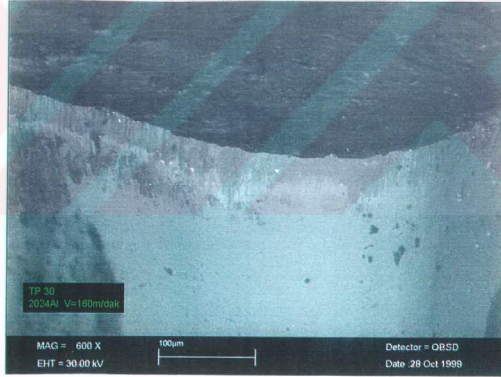


Şekil 5.15. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al Matriksin Alaşımın V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

Foto 5.8’de K10 ve TP30 takımlarının 160 m/dak kesme hızında 2024Al matriksin işlenmesindeki yan yüzey aşınma bölgelerinin SEM fotoğrafları görülmektedir. Bu fotoğrafta görüldüğü gibi, K10 kesici uç TP30 kesici uca göre daha düzensiz bir şekilde aşınmıştır. TP30 takımının talaş yüzeyi daha düzgün bir haldedir. Foto 5.9’da ise, yine bu takımların aynı malzeme için 210 m/dak kesme hızındaki yan yüzey aşınma bölgelerinin SEM fotoğrafları verilmektedir. Bu fotoğraflarda görüldüğü gibi, her iki takımda da abrasyon aşınma mekanizmasından dolayı oluşan düzgün yan yüzey aşınması temel aşınma tipini oluşturmuştur. Resimlerden de görüleceği gibi, K10 takımının talaş yüzeyine işlenen malzeme sıvanmış, TP30 da ise sıvanma olayı görülmemiştir. Ayrıca K10 takımında kesme kenarı işlem sonucu düzgün olmamasına rağmen, TP30 takımında kesici kenar düzgün olmuştur. Yine Foto 5.10’da TP30 takımının 100 ve 210 m/dak kesme hızlarındaki yan yüzey aşınma fotoğrafları verilmektedir. Bu fotoğraflarda, işlenen malzemenin K10 takımının talaş yüzeyine sıvanmış olduğu, TP30 takımında ise sıvanma olmadığı görülmektedir.



(a)



(b)

Foto 5.8. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al Matriks Alaşımın $V=160$ m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) K10, (b) TP30

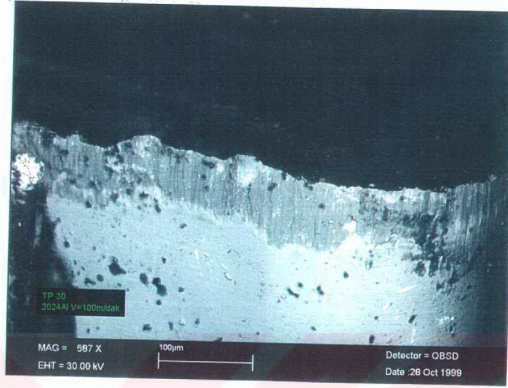


(a)

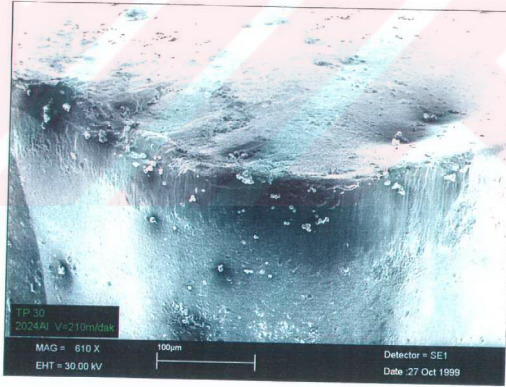


(b)

Foto 5.9. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al Matriks Alaşımın V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) K10, (b) TP30



(a)



(b)

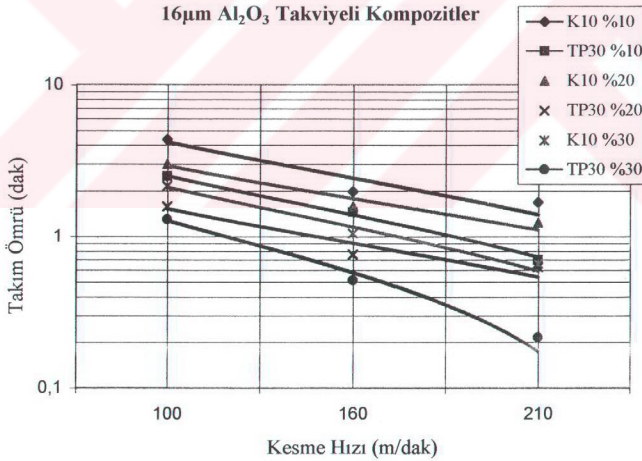
Foto 5.10. TP30 Kesici Takımının 2024Al Matriks Alaşımın V=100 m/dak ve V=210 m/dak Kesme Hızlarında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) V=100 m/dak, (b) V=210 m/dak

2. Deney

İşlenen Malzeme: 2024Al+% 10 16 μm Al_2O_3 , 2024Al+% 20 16 μm Al_2O_3 ve 2024Al+% 30 16 μm Al_2O_3 Kompozitler

Kesme Şartları: $V=100, 160, 210$ m/dak, $f=0.1$ mm/dev, $a=2$ mm ve kuru işleme

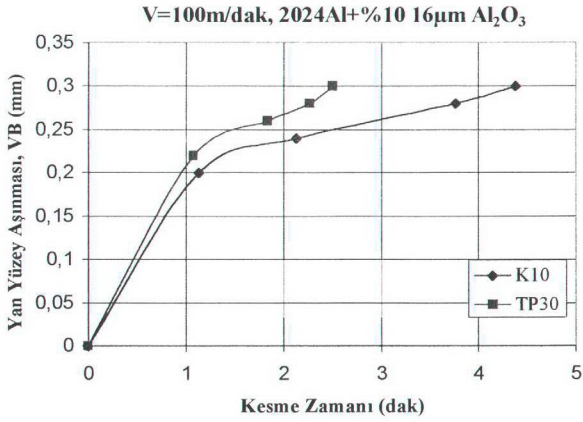
Elde Edilen Sonuçlar: Bu kompozitlerin her iki takım ile işlenmesinden elde edilen takım ömrü-kesme hızı grafiği Şekil 5.16'da görülmektedir. Bu grafikten, kesme hızının artmasıyla her iki takımın takım ömrünün azaldığı, ancak TP30 takımının ömrünün daha kısa olduğu anlaşılmaktadır. Kesme hızı 100 m/dak'dan 160 m/dak'ya çıktığında TP30 takımının takım ömründeki azalma hızı daha düşük olurken, kesme hızı 160 m/dak'dan 210 m/dak'ya yükseldiğinde K10 takımının takım ömründeki düşüş daha yavaş olmuştur.



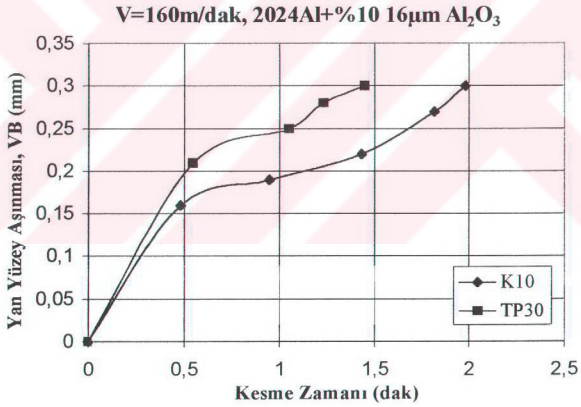
Şekil 5.16. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 10 16 μm Al_2O_3 , 2024Al+% 20 16 μm Al_2O_3 ve 2024Al+% 30 16 μm Al_2O_3 Kompozitlerin İşlenmesinde Takım Ömrü-Kesme Hızı Grafiği

Grafik partikül hacim oranına göre incelendiğinde, her iki takımın da takım ömürlerinin partikül oranının artmasıyla azaldığı görülmektedir (Şekil 5.16). Takımların her ikisi için de, en düşük takım ömürleri % 30 partikül içeren kompozitlerin işlenmesinde, en yüksek takım ömürleri ise % 10 partikül içeren kompozitlerin işlenmesinde ortaya çıkmıştır. Ancak Şekil 5.16'da görüldüğü gibi, K10 takımıyla % 30 partikül içeren kompozitin işlenmesindeki takım ömrü, % 20 partikül içeren kompozitin TP30 takımıyla işlenmesindeki takım ömründen daha fazla olmuştur. Dolayısıyla, 16 μm boyutlu partiküller ile takviyeli kompozitlerin işlenmesinde takım ömrü bakımından K10 kesici takımının TP30 kesici takımından daha iyi olduğu söylenebilir. Al_2O_3 partikül oranının ve kesme hızının artmasıyla kesici takımların takım ömürleri azalmıştır. Sert Al_2O_3 partikülleri abrasiv aşındırıcı etkisiyle kesici takımların hızlı bir şekilde aşınmasına ve dolayısıyla ömürlerinin azalmasına neden olmuştur.

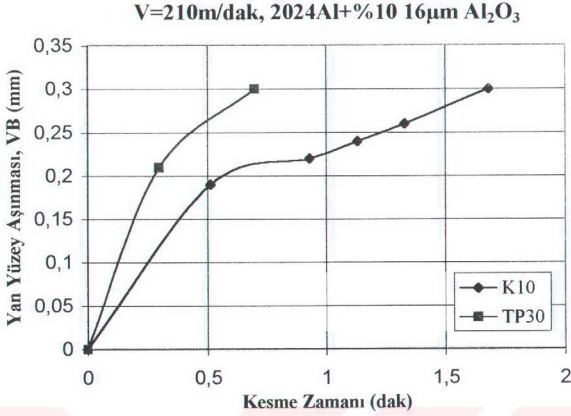
Şekil 5.17, 5.18 ve 5.19'da 2024Al+%10 16 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesinden elde edilen takımların yan yüzey aşınmasının kesme zamanına göre grafikleri verilmektedir. Bu grafiklerde de, kesme hızı arttıkça takımların ömrünün azaldığı ve TP30 takımının ömrünün daha kısa olduğu görülmektedir. 100 m/dak kesme hızında $\text{VB}=0.3$ mm yan yüzey aşınması için, K10 takımının ömrü 4.38 dakika olurken; TP30 takım bu aşınma miktarına 2.5 dakikada ulaşmıştır. 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında ise, takım ömürleri sırasıyla K10 takım için 1.98 ve 1.68 dakika; TP30 takım için 1.45 ve 0.7 dakika olmuştur. Bu değerlerin takviyesiz 2024Al matriksin işlenmesindeki değerlerden daha az ve yaklaşık yarısı kadar olduğu görülmektedir.



Şekil 5.17. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 16 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

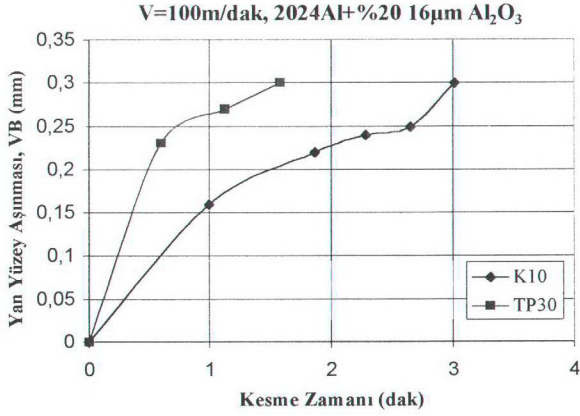


Şekil 5.18. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 16 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

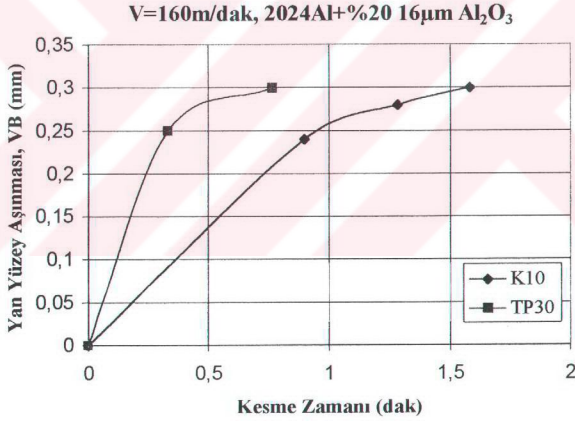


Şekil 5.19. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 16 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

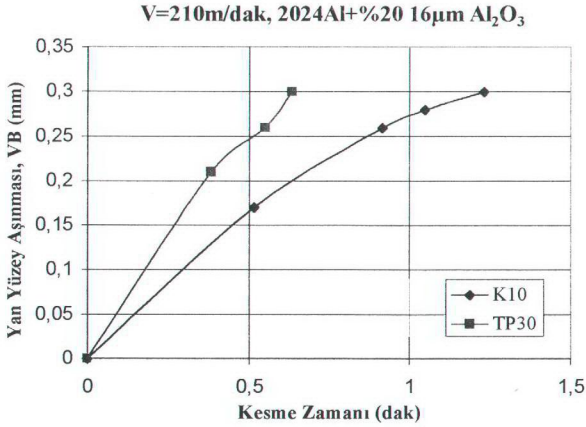
Şekil 5.20, 5.21 ve 5.22’de sırasıyla 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında 2024Al+%20 16 μ m Al₂O₃ kompozitin işlenmesinden elde edilmiş olan takımların yan yüzey aşınmasının kesme zamanına göre grafikleri verilmiş; bu grafiklerde de kesme hızının artmasıyla, takım ömrü kriteri yan yüzey aşınma değerine (VB=0.3mm) ulaşmak için geçen kesme zamanının her iki takımda da azaldığı görülmüştür. K10 takımının takım ömrü, TP30 takımınınkinden daha fazla olmuş ve 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında K10 takımının kesme zamanı sırasıyla 3, 1.58 ve 1.23 dakika olurken; TP30 takımının 1.58, 0.76 ve 0.63 dakika olmuştur. Bu değerlerin takviyesiz 2024Al alaşım ve 2024Al+%10 16 μ m Al₂O₃ kompozit için elde edilmiş değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 5.20. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 16 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



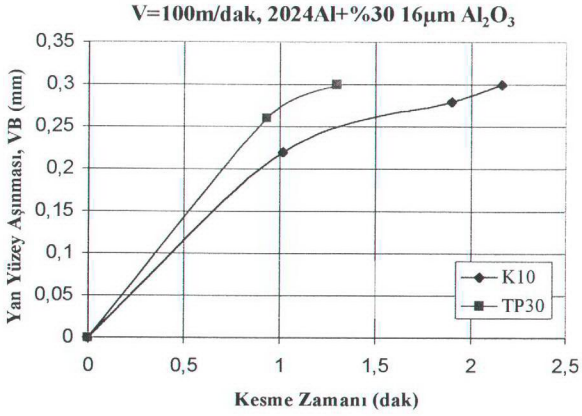
Şekil 5.21. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 16 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



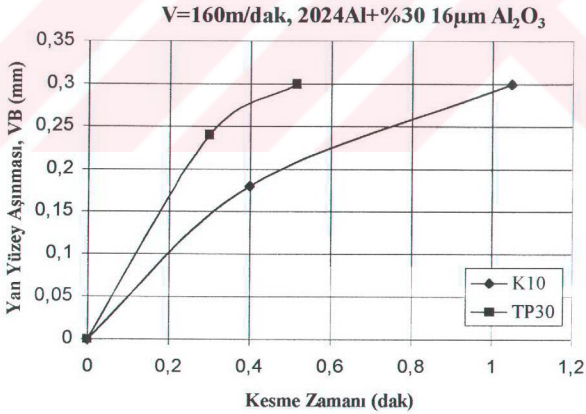
Şekil 5.22. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 16 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

Şekil 5.23, 5.24 ve 5.25’de sırasıyla 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında 2024Al+% 30 16 μ m Al₂O₃ kompozitin işlenmesi sonucu elde edilmiş olan, takımların yan yüzey aşınmasının kesme zamanına göre grafikleri verilmekte ve bu grafiklerden de yine kesme hızının artmasıyla takımların ömürlerinin azaldığı anlaşılmaktadır. 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarındaki takım ömürleri K10 takımı için sırasıyla 2.16, 1.05 ve 0.66 dakika olurken; TP30 takımı için bu değerler 1.3, 0.51 ve 0.21 dakika olmuştur. Her iki takım için bulunan bu değerlerin, 2024Al+% 20 16 μ m Al₂O₃ kompozit malzeme için bulunan değerlerden daha az olduğu görülmektedir.

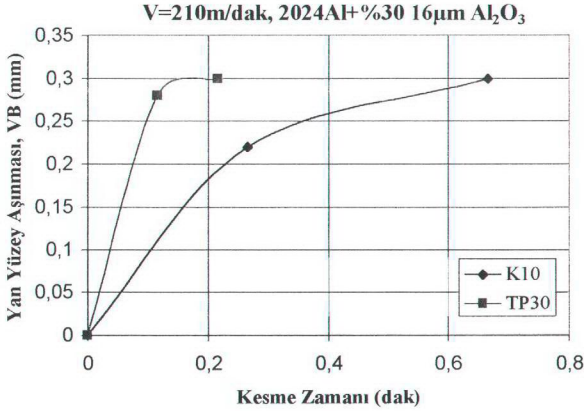
Sonuç olarak, Al₂O₃ partikül oranının ve kesme hızının artmasıyla K10 ve TP30 kesici takımların her ikisinin de takım ömürleri azalmış; K10 takımının ömrü 16 μ m partikül takviyeli tüm kompozitlerin işlenmesinde TP30 takımının ömründen daha fazla olmuştur. Dolayısıyla, takım ömrü bakımından K10 takımının bu kompozitlerin işlenmesinde daha uygun olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 5.23. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 16 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



Şekil 5.24. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 16 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



Şekil 5.25. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%30 16 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

Takımların, 16 μ m Al₂O₃ partikül takviyeli kompozitlerin 100, 160 ve 210m/dak kesme hızlarında işlenmesinden sonra aşınan yan yüzey bölgelerinde, her iki takımında da sert Al₂O₃ takviye elemanının abrasiv aşındırıcı etkisinden kaynaklanan düzgün yan yüzey aşınmasının, temel aşınma tipini oluşturduğu görülmüştür. Takımların bu kompozitlerin işlenmesinden sonra çekilmiş olan aşınan yan yüzey bölgelerinin SEM fotoğrafları Foto 5.11, 5.12 ve 5.13'te verilmektedir. Foto 5.11'de K10 takımının 100m/dak kesme hızında 2024Al+%30 16 μ m Al₂O₃ kompozitin işlenmesinden sonra aşınmış yan yüzey SEM fotoğrafı, Foto 5.12 ve 5.13'te ise aynı kompozitin 210 m/dak kesme hızında işlenmesinden sonra K10 ve TP30 takımlarının aşınan yan yüzey SEM fotoğrafları görülmektedir. Foto 5.11'de görüldüğü üzere, K10 takımının yan yüzeylerinde abrasiv aşınmadan dolayı düzgün yan yüzey aşınmasının oluştuğu ve talaş yüzeyinde çok azda olsa işlenen malzemenin sıvandığı gözlenmektedir. Foto 5.12 ve 5.13'te ise, takımlarda düzgün yan yüzey aşınması yanında kesici kenarlarda çitlamaların da olduğu görülmekte ve bu çitlamaların K10 takımında uzun ve etkili, TP30 takımında ise daha kısa olduğu anlaşılmaktadır. Yine bu fotoğraflarda, her iki takımın talaş yüzeylerinde işlenen malzemenin sıvandığı görülmektedir.

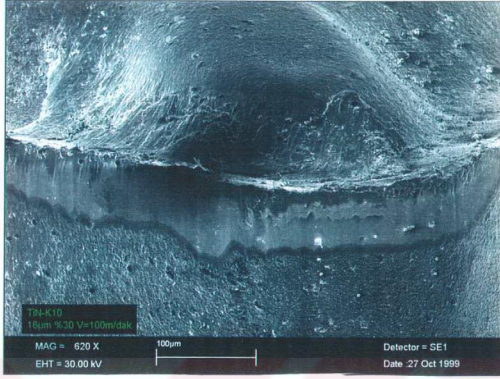


Foto 5.11. K10 Takımının 2024Al+%30 16 µm Al₂O₃ Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafi

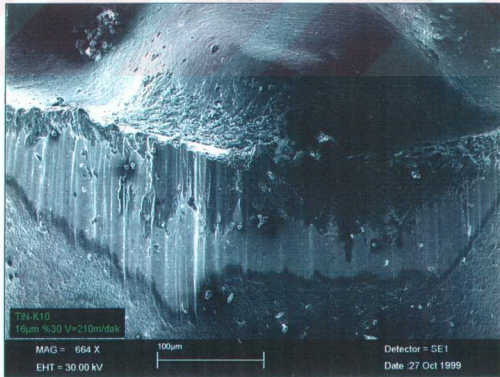


Foto 5.12. K10 Kesici Takımının 2024Al+%30 16 µm Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafi

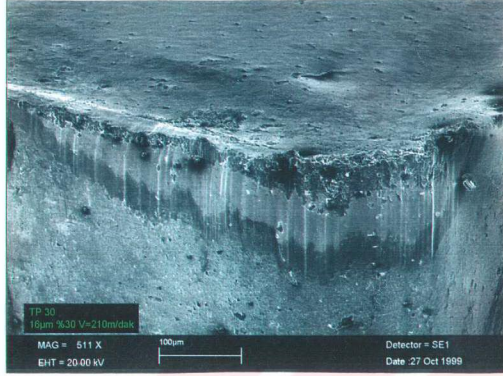


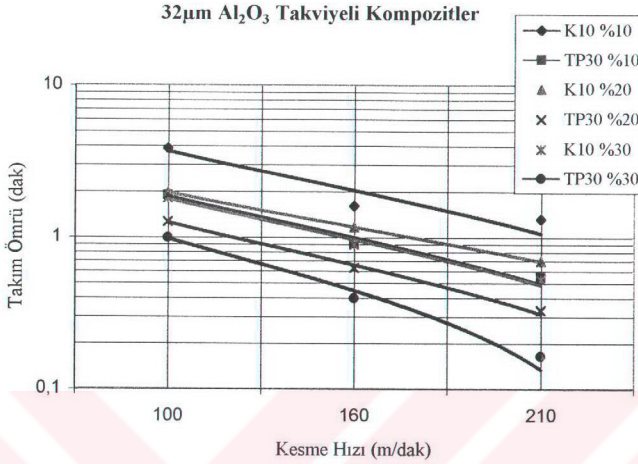
Foto 5.13. TP30 Kesici Takımının 2024Al+%30 16 μm Al_2O_3 Kompozitin $V=210$ m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafı

3. Deney

İşlenen Malzeme: 2024Al+%10 32 μm Al_2O_3 , 2024Al+%20 32 μm Al_2O_3 ve 2024Al+%30 32 μm Al_2O_3 Kompozitler

Kesme Şartları: $V=100, 160, 210$ m/dak, $f=0.1$ mm/dev, $a=2$ mm ve kuru işleme

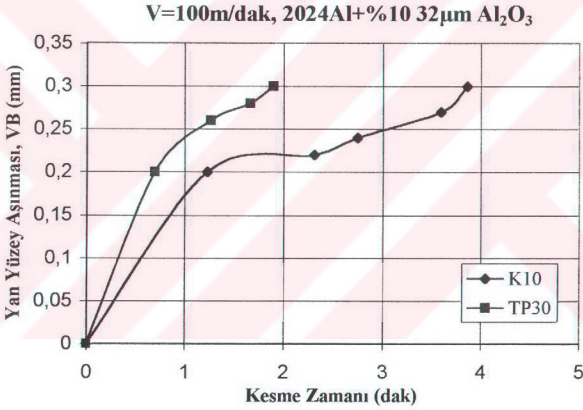
Elde Edilen Sonuçlar: 32 μm Al_2O_3 partikül takviyeli kompozitlerin işlenmesinden elde edilmiş olan takım ömrünün kesme hızına bağlı grafiği Şekil 5.26’da verilmektedir. Bu grafikten, bütün malzemeler için kesme hızının artmasıyla her iki takımın takım ömrünün azaldığı, ancak TP30 takımının ömrünün daha kısa olduğu anlaşılmaktadır. Kesme hızı 100 m/dak’dan 160 m/dak’ya çıktığında TP30 takımının takım ömründeki azalma hızı daha düşük olurken, kesme hızı 160 m/dak’dan 210 m/dak’ya yükseldiğinde K10 takımının takım ömründeki düşüş daha yavaş olmuştur.



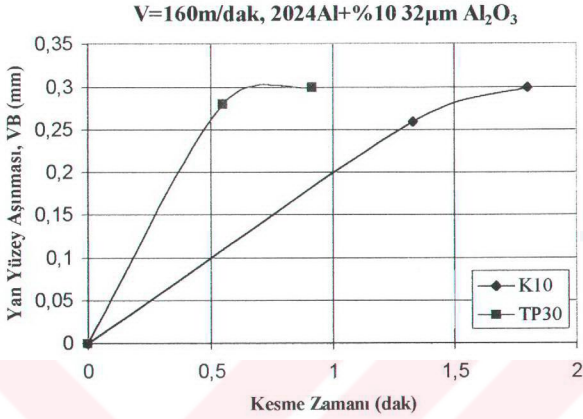
Şekil 5.26. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 10 32 μ m Al₂O₃, 2024Al+% 20 32 μ m Al₂O₃ ve 2024Al+% 30 32 μ m Al₂O₃ Kompozitlerin İşlenmesinde Takım Ömrü-Kesme Hızı Grafiği

Elde edilen Şekil 5.26'daki grafikten, kompozitlerdeki partikül hacim oranının artmasıyla takımların her ikisinin de ömürlerinin azaldığı görülmektedir. En düşük takım ömürleri % 30 partikül içeren kompozitlerin işlenmesinde, en yüksek takım ömürleri ise % 10 partikül içeren kompozitlerin işlenmesinde elde edilmiştir. % 30 partikül içeren kompozitin K10 takımıyla işlenmesindeki takım ömrü, % 10 partikül içeren kompozitin TP30 takımıyla işlenmesindeki takım ömrü ile hemen hemen aynı değerlerde olmuştur (Şekil 5.26). Bu da takım ömrü bakımından, bu kompozitlerin işlenmesinde K10 takımının performansının TP30 takımınıninkinden daha iyi olduğunu göstermektedir.

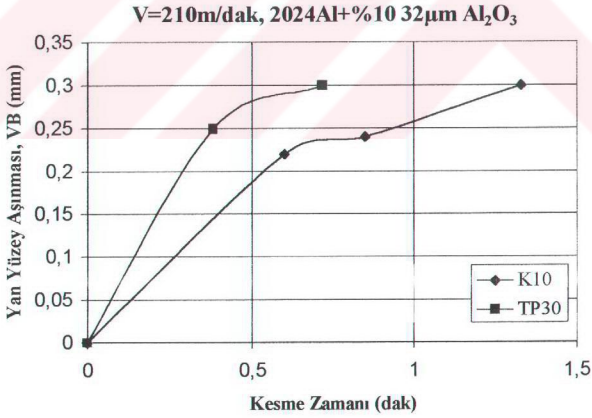
Şekil 5.27, 5.28 ve 5.29’da sırasıyla 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında 2024Al+% 10 32 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesi sonucu elde edilen takımların yan yüzey aşınmasının kesme zamanına göre grafikleri verilmekte ve bu grafiklerden kesme hızının artmasıyla takımların ömrünün azalmış olduğu görülmektedir. 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarındaki takım ömürleri K10 takım için sırasıyla 3.86, 1.61 ve 1.33 dakika olurken, TP30 takım için bu değerler 1.9, 0.916 ve 0.55 dakika olmuştur. Bu değerlerin 2024Al+% 10 16 μm Al_2O_3 kompozit için bulunan değerlerden daha az olduğu görülmüş ve dolayısıyla takviye elemanı Al_2O_3 partikül boyutunun artmasıyla takım ömürleri azalmıştır.



Şekil 5.27. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 10 32 μm Al_2O_3 Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

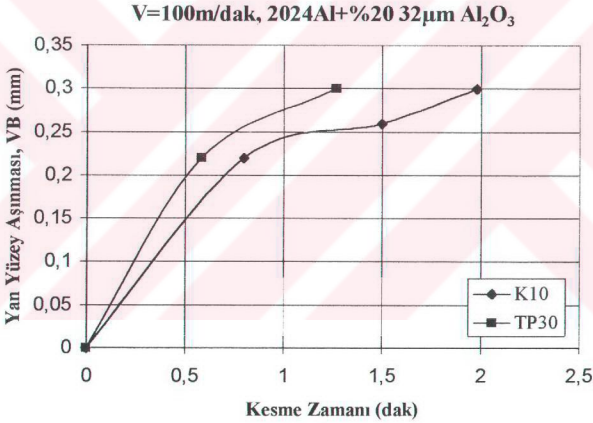


Şekil 5.28. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 32 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

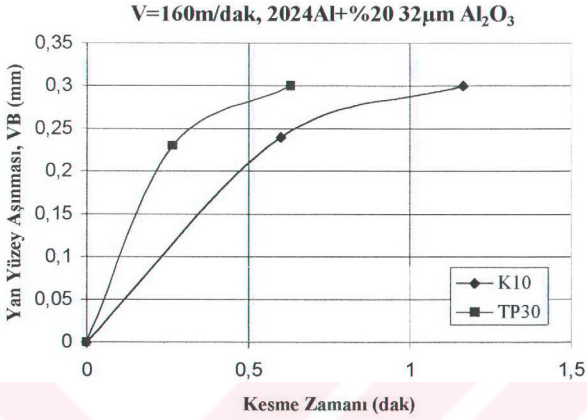


Şekil 5.29. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 32 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

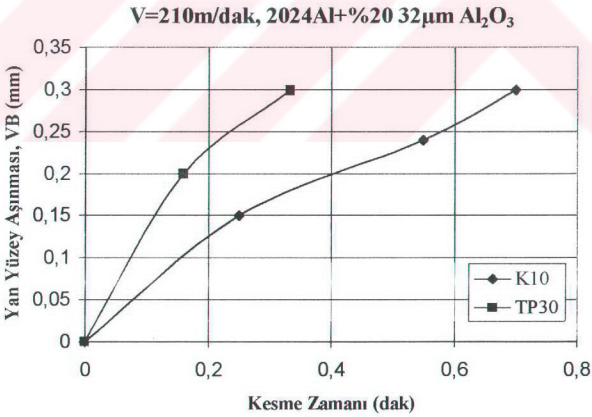
Şekil 5.30, 5.31 ve 5.32, sırasıyla 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında 2024Al+%20 32 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesinden elde edilen takımların yan yüzey aşınmasının kesme zamanına bağlı olan grafiklerini göstermekte ve burada kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığı görülmektedir. K10 takım için takım ömürleri sırasıyla 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında 1.98, 1.16 ve 0.7 dakika olurken, TP30 takım için 1.26, 0.63 ve 0.33 dakika olmuş ve her iki takım için bulunan bu değerlerin 2024Al+%20 16 μm Al_2O_3 ve 2024Al+%10 32 μm Al_2O_3 kompozitlerdeki değerlerden daha az olduğu görülmüştür. Dolayısıyla takviye elemanı Al_2O_3 partikül oranının ve boyutunun artmasıyla, takım ömürleri azalmıştır. Bütün kesme hızlarında TP30 takımının ömrü daha kısa olmuştur.



Şekil 5.30, K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%20 32 μm Al_2O_3 Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

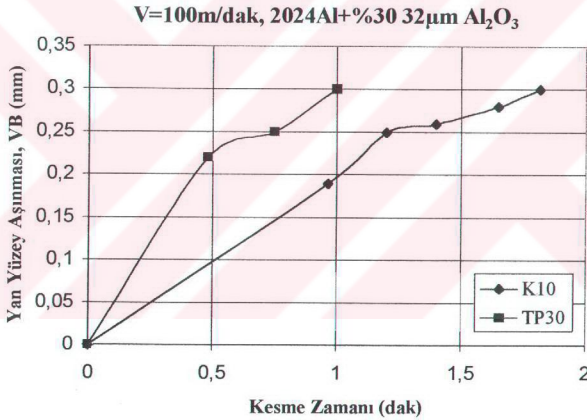


Şekil 5.31. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+ %20 32 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

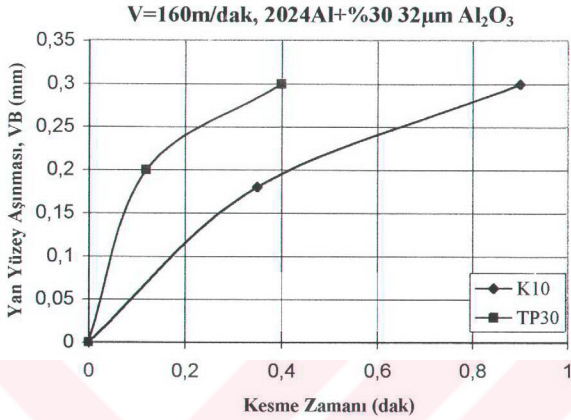


Şekil 5.32. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+ %20 32 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

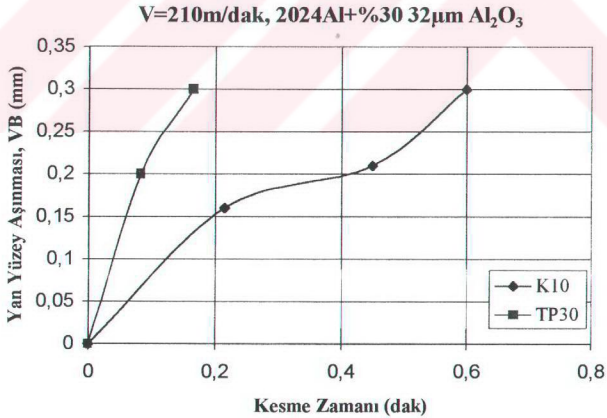
Şekil 5.33, 5.34 ve 5.35 sırasıyla 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesinden elde edilen, takımların yan yüzey aşınmasının kesme zamanına göre grafiklerini göstermekte ve bu grafiklerde de kesme hızının artmasıyla takım ömürlerinin azalmış olduğu görülmektedir. Takım ömürleri 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında sırasıyla K10 takım için 1.816, 0.9 ve 0.53 dakika olurken, TP30 takım için 1, 0.4 ve 0.16 dakika olmuştur. Her iki takım için bulunan bu takım ömrü değerlerinin, daha önceki kompozitler için elde edilmiş olan değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla takviye elemanı Al_2O_3 partikül oranının ve boyutunun artmasıyla takım ömürleri azalmıştır.



Şekil 5.33. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



Şekil 5.34. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 30 32 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

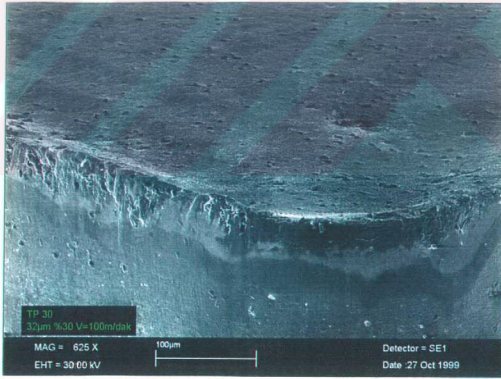


Şekil 5.35. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 30 32 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

Takımların 32 μm Al_2O_3 partikül takviyeli kompozitlerin işlenmesinden sonra çekilmiş olan aşınan yan yüzeylerinin SEM fotoğrafları Foto 5.14 ve 5.15'te verilmektedir. Foto 5.14'te 100 m/dak kesme hızında takımlardaki yan yüzey aşınmaları ve Foto 5.15.(a) ve (b)'de sırasıyla TP30 takımının 100 ve 210 m/dak kesme hızlarındaki yan yüzey aşınması görülmektedir. Foto 5.14'te her iki takımın yan kenarlarında abrasiv aşınmadan dolayı düzgün yan yüzey aşınmasının olduğu; kesme hızının düşük olmasından dolayı K10 takımın talaş yüzeyine TP30 takıminkine göre daha fazla malzemenin sıvanmış olduğu ve TP30 takımının kesici kenarında küçük kırılmaların meydana geldiği görülmektedir. Yine Foto 5.15'te görüldüğü üzere, takımların yan kenarlarında düzgün yan yüzey aşınması olmuş ve yüksek kesme hızında TP30 takımının kesici kenarlarında yine küçük kırılmalar meydana gelmiştir. Bu aşınan yan yüzey SEM fotoğrafları, takımlarda abrasiv aşınmadan dolayı düzgün yan yüzey aşınmasının ve yüksek kesme hızlarında TP30 takımının kesici kenarında çok az da olsa küçük kırılmaların meydana geldiğini göstermektedir (Foto 5.14. (b) ve 5.15.(b)).

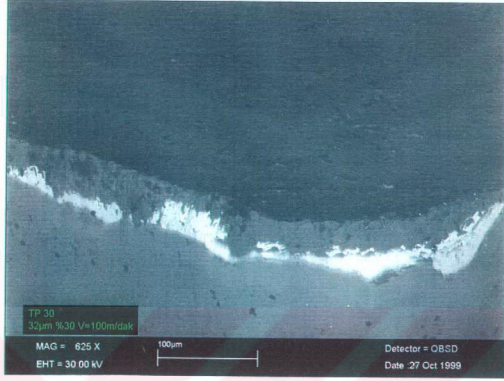


(a)

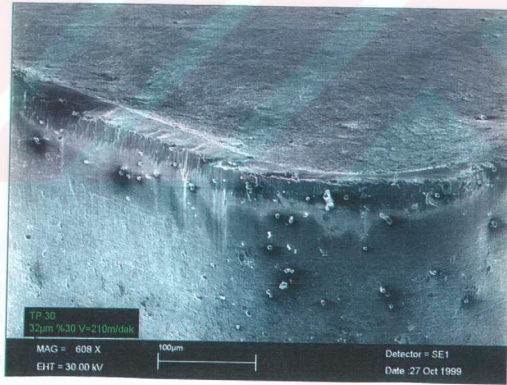


(b)

Foto 5.14. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+% 30 32 $\mu\text{mAl}_2\text{O}_3$ Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) K10, (b) TP30



(a)



(b)

Foto 5.15. TP30 Kesici Takımının 2024Al+% 30 32 µm Al₂O₃ Kompozitin İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) V=100 m/dak (Back Scattering), (b) V=210 m/dak

4. Deney

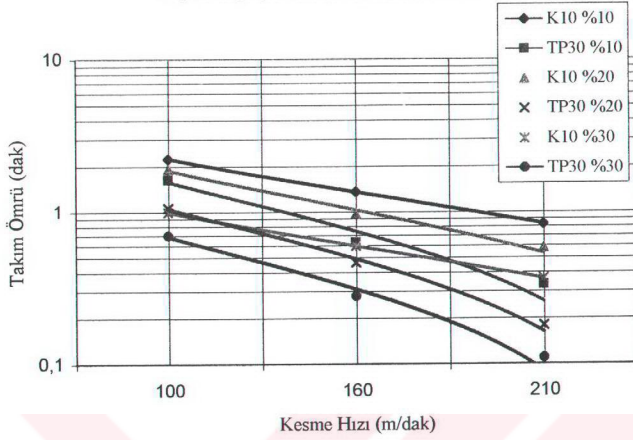
İşlenen Malzeme: 2024Al+% 10 66 μm Al_2O_3 , 2024Al+% 20 66 μm Al_2O_3 ve 2024Al+% 30 66 μm Al_2O_3 Kompozitler

Kesme Şartları: $V=100, 160, 210$ m/dak, $f=0.1$ mm/dev, $a=2$ mm ve kuru işleme

Elde Edilen Sonuçlar: K10 ve TP30 takımlarla 66 μm Al_2O_3 takviyeli kompozitlerin işlenmesinden elde edilmiş sonuçlara göre çizilmiş olan takım ömrü-kesme hızı grafiği Şekil 5.36'da verilmektedir. Bu grafikte görüldüğü üzere, kesme hızının artması takımların ömürlerini azaltmış; bütün kesme hızı ve malzemelerde TP30 takımının ömrünün, K10 takımının ömründen daha kısa olduğu görülmüştür. Ayrıca, % 20 partikül içeren kompozitin TP30 takımıyla işlenmesindeki takım ömrü, kesme hızı 100 m/dak iken % 30 partikül içeren kompozitin K10 takımıyla işlenmesindeki takım ömründen daha yüksek olurken; kesme hızının artmasıyla bu değer azalmış ve K10 takımının ömründen daha düşük olmuştur. % 10 partikül içeren kompozitin TP30 kesici takımıyla işlenmesindeki takım ömrünün, 100 ve 160 m/dak kesme hızlarında % 30 içeren kompozitin K10 takımıyla işlenmesindeki takım ömründen daha fazla; buna karşın 210 m/dak kesme hızında ise daha düşük olduğu görülmektedir.

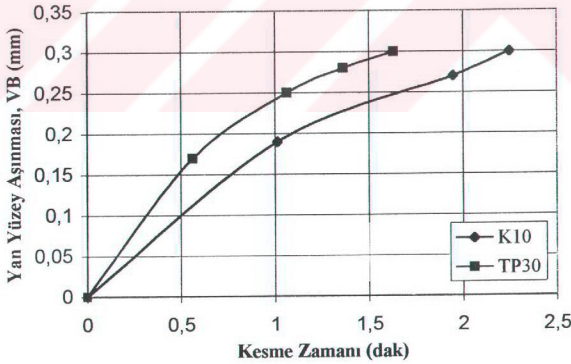
Şekil 5.37, 5.38 ve 5.39, 2024Al+% 10 66 μm Al_2O_3 kompozit için takımların sırasıyla 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarındaki yan yüzey aşınmalarının kesme zamanına göre grafiklerini göstermekte ve bu kesme hızlarındaki takım ömürlerinin sırasıyla K10 takımı için 2.25, 1.36 ve 0.83 dakika; TP30 takımı için ise 1.63, 0.63 ve 0.33 dakika olduğu görülmektedir.

66 μ m Al₂O₃ Takviyeli Kompozitler

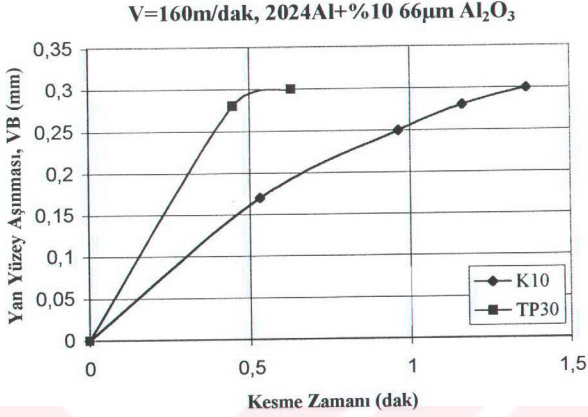


Şekil 5.36. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 10 66 μ m Al₂O₃, 2024Al+% 20 66 μ m Al₂O₃ ve 2024Al+% 30 66 μ m Al₂O₃ Kompozitlerin İşlenmesinde Takım Ömrü-Kesme Hızı Grafiği

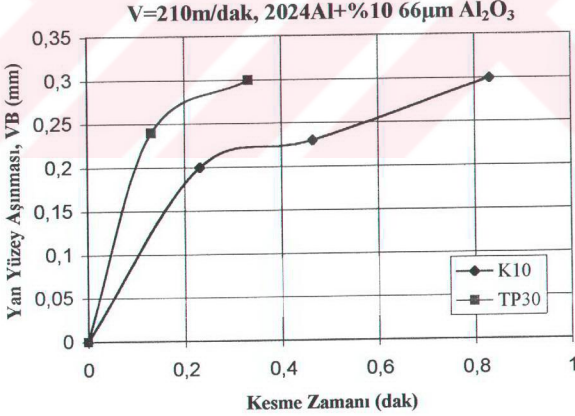
V=100m/dak, 2024Al+%10 66 μ m Al₂O₃



Şekil 5.37. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+%10 66 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



Şekil 5.38. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 10 66 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



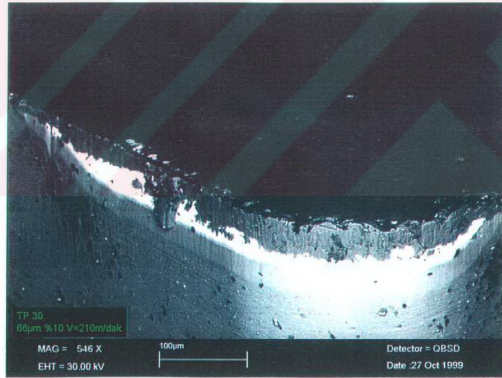
Şekil 5.39. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 10 66 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

2024Al+% 10 66 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesinde her iki takım için bulunan takım ömrü değerlerinin, 2024Al+% 10 32 μm Al_2O_3 kompozit için bulunan değerlerden daha az olduğu görülmekte ve dolayısıyla takviye elemanı Al_2O_3 partikül boyutunun artmasıyla takımların ömrünün azaldığı anlaşılmaktadır.

2024Al+% 10 66 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesi sonucu oluşan takımların aşınan yan yüzeylerinin SEM fotoğrafları Foto 5.16 ve 5.17’de verilmekte ve burada her iki takımda da abrasiv aşınmadan dolayı düzgün yan yüzey aşınmasının olduğu görülmektedir. K10 ve TP30 kesici takımların talaş yüzeylerinde malzeme sıvanması olmuş; K10 takımında bu sıvanmanın daha fazla olduğu görülmüştür (Foto 5.16 ve 5.17). Ayrıca Foto 5.17’de K10 takımındaki kaplamanın yırtılması açık bir şekilde görülmektedir. Kesme hızı yüksek olduğundan, takımındaki kaplama çabucak yırtılmış ve takım hızlı bir şekilde aşınmıştır.



(a)

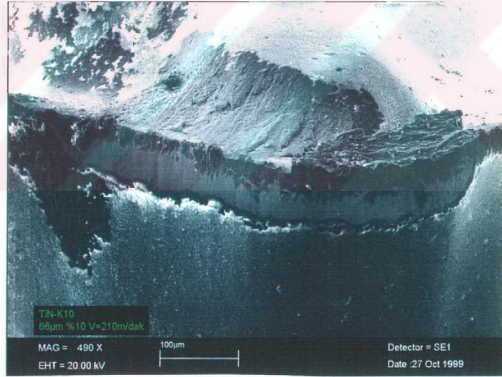


(b)

Foto 5.16. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+% 10 66 µm Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey (Back Scattering) SEM Fotoğrafları (a) K10, (b) TP30



(a)

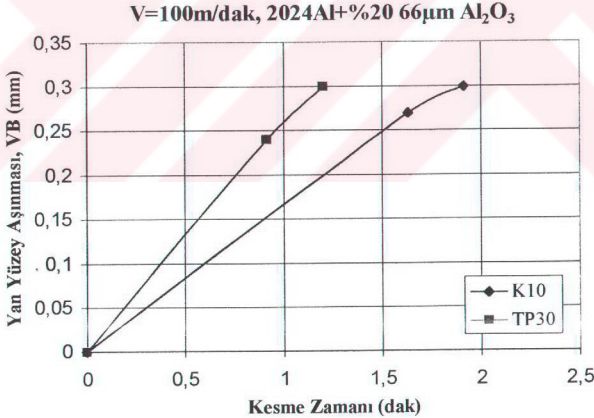


(b)

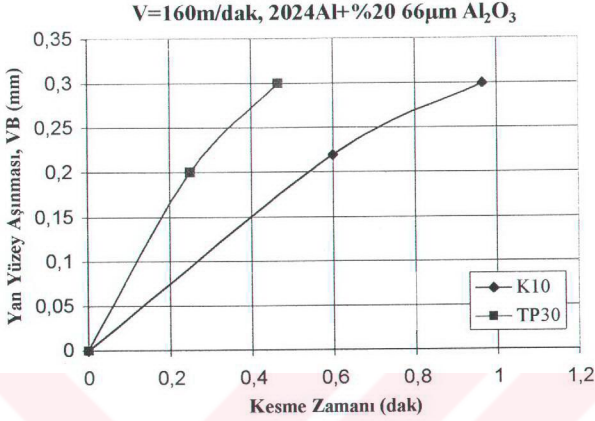
Foto 5.17. K10 Kesici Takımının 2024Al+% 10 66 µm Al₂O₃ Kompozitin İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) V=160 m/dak, (b) V=210 m/dak

Şekil 5.40, 5.41 ve 5.42’de, 2024Al+% 20 66 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesinde takımların sırasıyla 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarındaki yan yüzey aşınmalarının kesme zamanına göre grafikleri verilmekte; bu kesme hızlarındaki takım ömürlerinin sırasıyla K10 takımı için 1.91, 0.96 ve 0.58 dakika; TP30 takımı için ise 1.06, 0.46 ve 0.18 dakika olduğu görülmektedir.

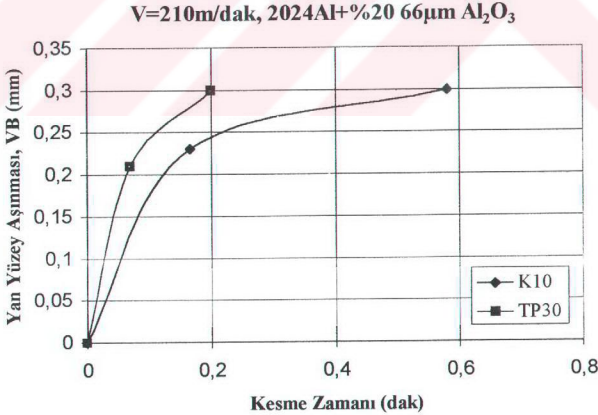
2024Al+% 20 66 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesinde her iki takım için bulunan takım ömrü değerlerinin, 2024Al+% 20 32 μm Al_2O_3 ve 2024Al+% 10 66 μm Al_2O_3 kompozitler için bulunan değerlerden daha az olduğu görülmekte ve dolayısıyla takviye elemanı Al_2O_3 partikül boyutunun ve oranının artmasıyla takımların ömrünün azaldığı anlaşılmaktadır. Bunun, büyük boyutlu sert partiküllerin küçük boyutlu partiküllere göre kesici takımlar tarafından daha kolay kesilerek, takımları hızlı bir şekilde aşındırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.40. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 20 66 μm Al_2O_3 Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

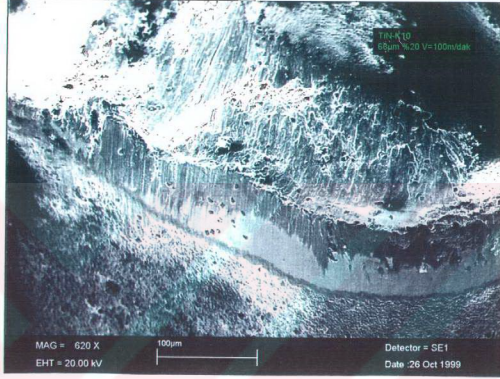


Şekil 5.41. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+ %20 66 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

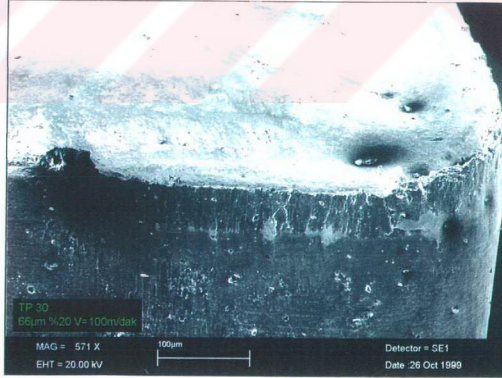


Şekil 5.42. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 20 66 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

2024Al+% 20 66 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesinde takımların aşınan yan yüzeylerinin SEM fotoğrafları Foto 5.18 ve 5.19'da verilmektedir. Bu fotoğraflarda abrasiv aşınmadan dolayı düzgün yan yüzey aşınmasının, yüksek kesme hızında TP30 takımının kesici kenarında az da olsa küçük kırılmaların (Foto 5.19 (b)) ve düşük kesme hızında kesici kenarlarda sıvanma olduğu görülmektedir (Foto 5.18).

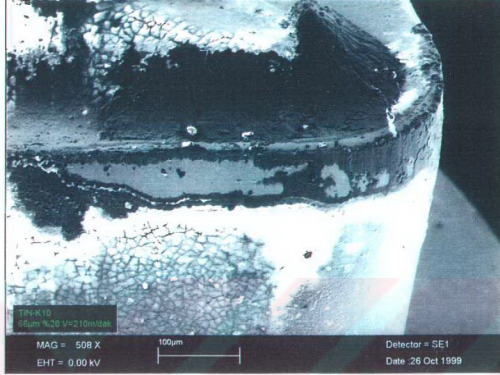


(a)

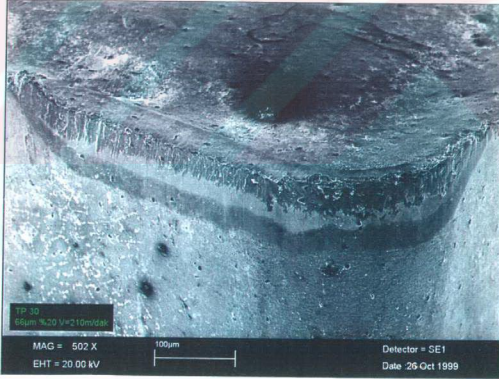


(b)

Foto 5.18. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+% 20 66 μm Al_2O_3 Kompozitin $V=100$ m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) K10, (b) TP30



(a)

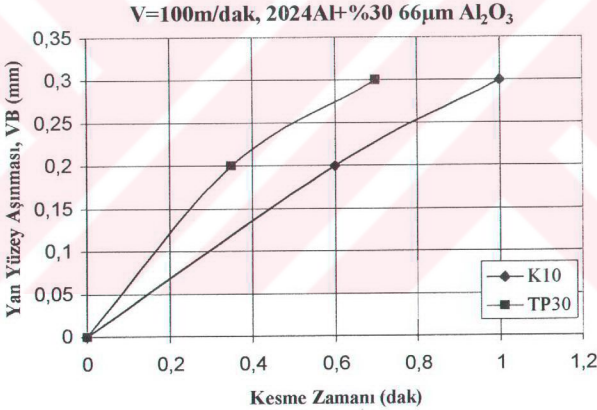


(b)

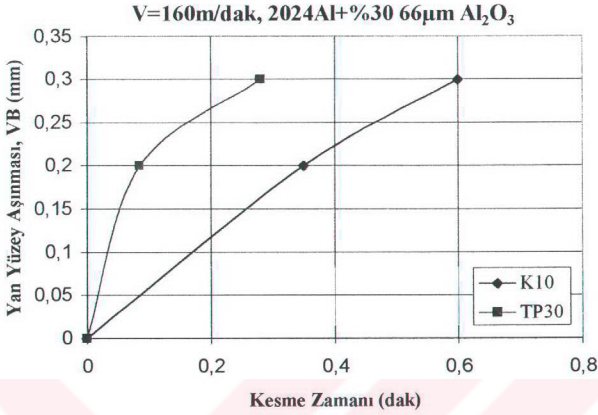
Foto 5.19. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+% 20 66 µm Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) K10, (b) TP30

Şekil 5.43, 5.44 ve 5.45’de, 2024Al+% 30 66 μm Al_2O_3 kompozit için takımların sırasıyla 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarındaki yan yüzey aşınmalarının kesme zamanına göre grafikleri verilmekte ve bu kesme hızlarındaki takım ömürlerinin sırasıyla K10 takımı için 1, 0,6 ve 0,36 dakika; TP30 takımı için ise 0,7, 0,28 ve 0,1 dakika olduğu görülmektedir.

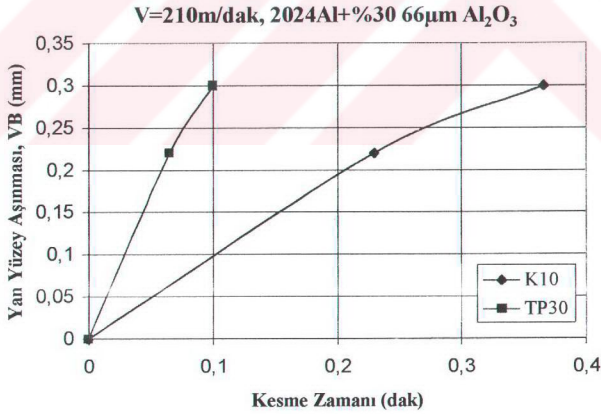
Bu kompozitin işlenmesinde her iki takım için bulunan takım ömrü değerlerinin, 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 ve 2024Al+% 20 66 μm Al_2O_3 kompozitler için bulunan değerlerden daha az olduğu görülmekte ve dolayısıyla takviye elemanı Al_2O_3 partikül boyutunun ve oranının artmasıyla takımların ömrünün azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.43. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 30 66 μm Al_2O_3 Kompozitin V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



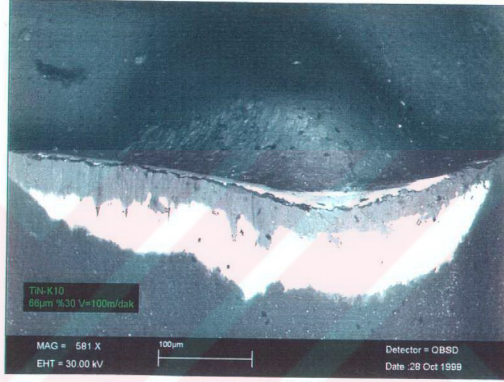
Şekil 5.44. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 30 66 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



Şekil 5.45. K10 ve TP30 Takımlarla 2024Al+% 30 66 μ m Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

2024Al+% 30 66 μm Al_2O_3 kompozit işlenmesinde takımların aşınan yan yüzeylerinin SEM fotoğrafları Foto 5.20, 5.21, 5.22 ve 5.23'te verilmekte; burada abrasiv aşınmadan dolayı düzgün yan yüzey aşınmasının ve TP30 takımının kesici kenarında az da olsa küçük kırılmaların olduğu (Foto 5.21 (b) ve 5.23 (b)) görülmektedir. Foto 5.20 ve 5.21'de görüldüğü gibi, her iki takımın yan yüzeyleri düzgün olarak aşınmış; takımların kesici kenarlarına işlenen malzeme sıvanmış ve bu sıvanma K10 takımında daha fazla olmuştur.

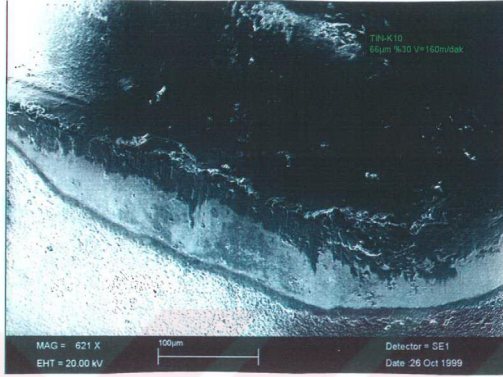
(a)



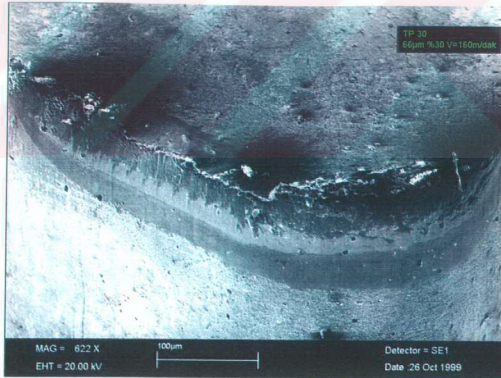
(b)



Foto 5.20. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+% 30 66 μm Al_2O_3 Kompozitin $V=100$ m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey Back Scattering SEM Fotoğrafları (a) K10, (b) TP30



(a)



(b)

Foto 5.21. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+% 30 66 μm Al_2O_3 Kompozitin V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) K10, (b) TP30

Foto 5.22'de görüldüğü gibi, kesici takımların yan yüzeyleri düzgün olarak aşınmış; K10 takımının talaş yüzeyine kesme hızı yüksek olduğundan çok fazla işlenen malzeme sıvanmış; partikül boyutunun ve oranının fazla, kesme hızının da yüksek olması sürekli talaşlı malzemeler için uygun olan TP30 takımının kesici kenarlarında malzeme yığılmasına neden olmuştur (Foto 5.22 (b)).



Foto 5.22. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+% 30 66 μm Al₂O₃ Kompozitin V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) K10, (b) TP30

Foto 5.23'te, her iki takımda da düzgün yan yüzey aşınması olduğu; partikül boyutunun ve oranının fazla olmasından dolayı kesik talaşlı olan bu kompozitin yüksek kesme hızında işlenmesinde, sürekli talaşlı malzemeler için kullanılan TP30 takımında küçük kırılmaların meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, kesme hızının düşük olmasından dolayı takımların kesici kenarlarında yığılmalar oluşmuştur.



Foto 5.23. K10 ve TP30 Kesici Takımlarının 2024Al+% 30 66 µm Al₂O₃ Kompozitin İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) K10, V=100 m/dak, (b) TP30, V=160 m/dak

5.7.4.2. HX Kesici Takım İle Yapılan Deneyler ve Sonuçları

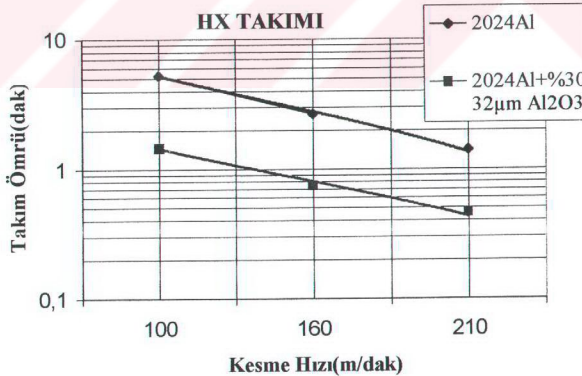
Alüminyum alaşımlar için uygun olan HX takımı ile 2024Al matriks alaşımı ve kompozitlerden yalnızca 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompoziti işlenerek aralarındaki fark görülmeye çalışılmıştır.

5. Deney

İşlenen Malzeme: 2024Al alaşımı ve 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 Kompozit

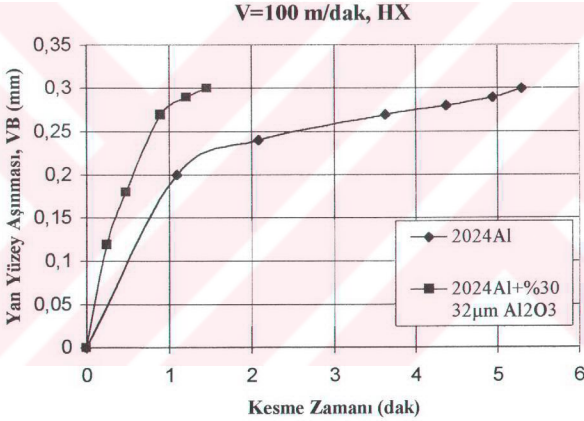
Kesme Şartları: $V=100, 160, 210$ m/dak, $f=0.1$ mm/dev, $a=2$ mm ve kuru işleme

Elde Edilen Sonuçlar: 2024Al alaşımı ve 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozit malzemelerin HX takımla işlenmesinden Şekil 5.46'da görülen takım ömrü-kesme hızı grafiği elde edilmiştir. Bu grafikte, her iki malzeme için kesme hızının artmasıyla takımın ömrünün azaldığı, ancak kompozit malzemenin işlenmesinde alüminyum alaşıma göre takımın ömrünün daha az olduğu görülmektedir.

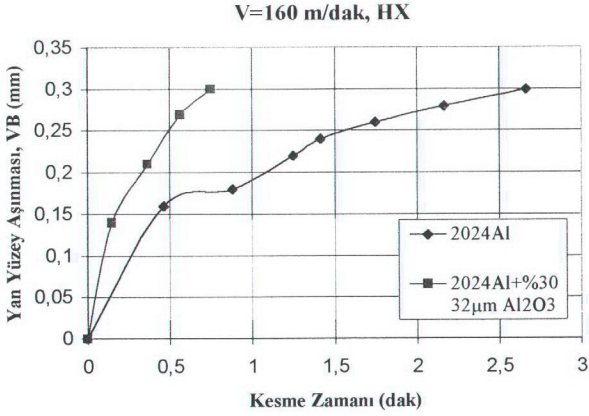


Şekil 5.46. 2024Al Matriks Alaşımın ve 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 Kompozitin HX Kesici Takımla İşlenmesinde Takım Ömrü-Kesme Hızı Grafiği

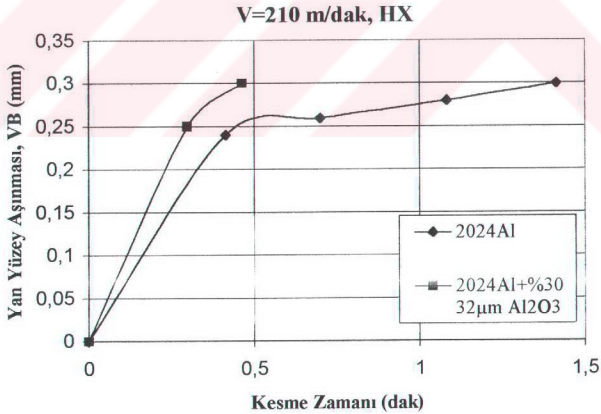
Şekil 5.47, 5.48 ve 5.49, her iki malzemenin sırasıyla 100, 160 ve 210 m/dak kesme hızlarında işlenmesinde takım yan yüzey aşınmasının kesme zamanına göre grafiklerini göstermekte ve bu grafiklerde de kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığı görülmektedir. Takım ömürleri bu kesme hızlarında sırasıyla 2024Al alaşımı için 5.3, 2.66 ve 1.41 dakika olurken; 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozit için 1.46, 0.75 ve 0.46 dakika olmuştur. Bu değerler kıyaslandığında, kompozitin işlenmesinde her üç kesme hızında da HX takımının ömrünün daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 5.47. 2024Al Matrisi Alaşımın ve 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 Kompozitin HX Kesici Takımla V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



Şekil 5.48. 2024Al Matrisli Alaşımın ve 2024Al+% 30 32 µm Al₂O₃ Kompozitin HX Kesici Takımla V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği



Şekil 5.49. 2024Al Matrisli Alaşımın ve 2024Al+% 30 32 µm Al₂O₃ Kompozitin HX Kesici Takımla V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinde Takım Yan Yüzey Aşınması-Kesme Zamanı Grafiği

Takımların aşınan yan yüzeylerinin SEM fotoğrafları Foto 5.24, 5.25 ve 5.26'da verilmiştir. Bu fotoğraflarda görüldüğü gibi, kompozitin işlenmesinde tüm kesme hızlarında takımda abrasiv aşınmadan dolayı düzgün yan yüzey aşınması görülürken, matriks alüminyumun işlenmesinde düşük kesme hızlarında yan yüzey aşınmasının yanı sıra kesici kenarlarda yığılma (BUE) da görülmüştür (Foto 5.24 (a), 5.25 (a), 5.26 (a) ve (b)). Kesme hızının artmasıyla, kesici kenarlardaki bu yığılma azalmıştır.

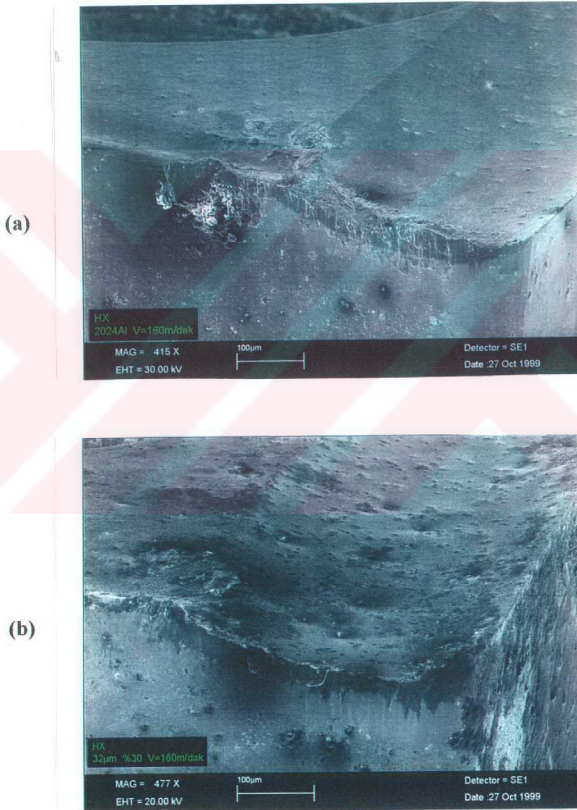
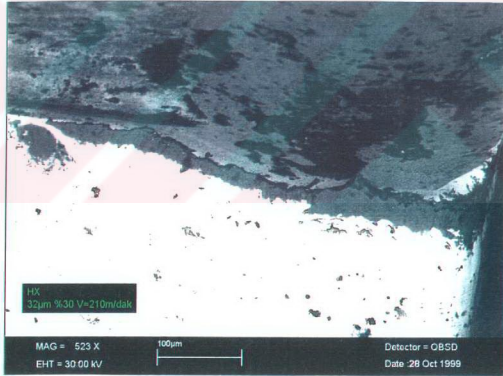


Foto 5.24. 2024Al Matriks Alaşımın ve 2024Al+% 30 32 µm Al₂O₃ Kompozitin HX Kesici Takımla V=160 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) 2024Al Alaşımı, (b) 2024Al+% 30 32 µm Al₂O₃ Kompozit



(a)

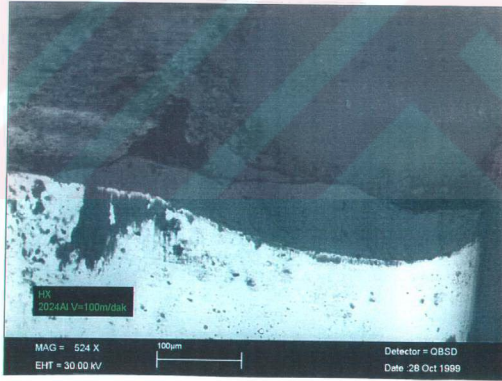


(b)

Foto 5.25. 2024Al Matriks Alaşımın ve 2024Al+% 30 32 µm Al₂O₃ Kompozitin HX Kesici Takımla V=210 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey (Back Scattering) SEM Fotoğrafları (a) 2024Al Alaşımı, (b) 2024Al+% 30 32 µm Al₂O₃ Kompozit



(a)



(b)

Foto 5.26. 2024Al Matriks Alaşımın HX Kesici Takımla V=100 m/dak Kesme Hızında İşlenmesinden Sonra Çekilmiş Aşınan Yan Yüzey SEM Fotoğrafları (a) SEM, (b) Back Scattering SEM

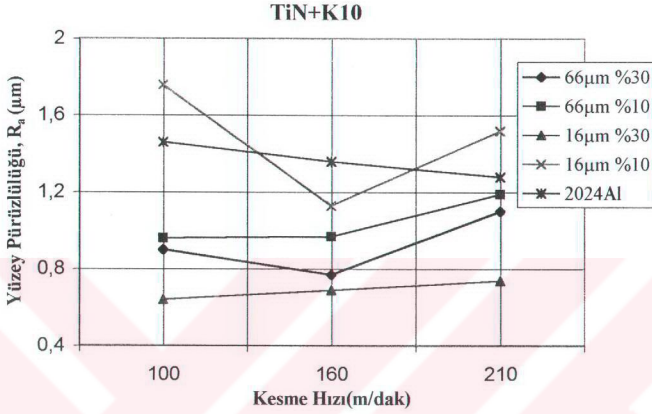
5.7.5. Yüzey Pürüzlülüğü

İşlenmiş malzemelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve en büyük pürüzlülük derinliği (R_t) değerleri ölçülmüş ve malzemeler sabit ilerleme hızında işlendiği için elde edilmiş olan bu yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızlarına göre grafikleri çizilmiştir. K10 ve TP30 takımları için, teorik R_a ve R_t değerleri sırasıyla $0.625 \mu\text{m}$ ve $2.1875 \mu\text{m}$; HX takımı için ise, $1.25 \mu\text{m}$ ve $4.375 \mu\text{m}$ olarak, $R_a = (f^2 \times 50) / r$ ve $R_t = (k \times f^2 \times 1000) / 8 \times r$ formülleri ile hesaplanmıştır. Burada; f =ilerleme hızı (mm/dev), r =takım ucu yarıçapı (mm), $k=1.4$ sabit sayısı, R_a ve $R_t \mu\text{m}$ olarak sırasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü ve en büyük yüzey pürüzlülük derinliği değerleridir.

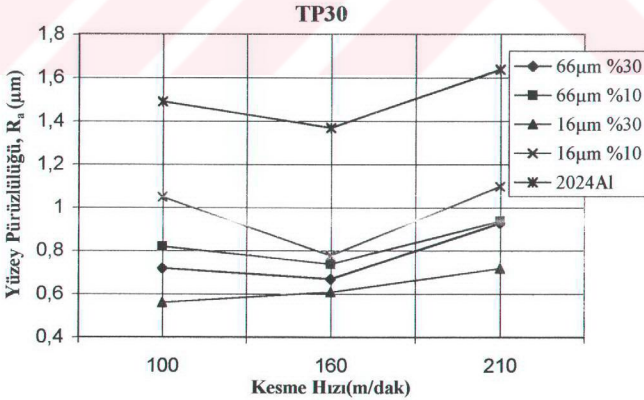
Şekil 5.50 ve 5.51, sırasıyla K10 ve TP30 takımlarının R_a değerlerinin; Şekil 5.52 ve 5.53, R_t değerlerinin kesme hızına bağlı grafiklerini göstermektedir. Bu grafiklerde görüldüğü gibi, bütün kompozit malzemeler için TP30 takım ile işlenmiş yüzeylerdeki R_a ve R_t değerleri K10 takım ile işlenmiş yüzeylerdeki değerlere göre daha düşük olurken, 2024Al alaşımı için daha yüksek olmuş ve her iki takım ile işlenmiş yüzeylerde R_a ve R_t değerleri Al_2O_3 partikül boyutunun büyümesiyle artmıştır. Ancak partikül oranının artmasıyla her iki takım ile işlenmiş yüzeylerde R_a ve R_t değerlerinin azaldığı ve partikül oranının azalmasıyla da bu değerlerin arttığı görülmüştür. Bu artışa, kullanılan kesme hızlarının 2024Al alaşımı için yetersiz olmasının sebep olduğu sanılmaktadır. Partikül oranının azalmasıyla MMK'lerin sertlikleri azalmakta ve bu malzemelerin işlenmesi için daha yüksek kesme hızları gerekmektedir.

En yüksek R_a ve R_t değerleri 2024Al alaşımı ve 2024Al+% 10 Al_2O_3 kompozit malzemelerde görülmüştür. 2024Al alaşımı için bu değerlerin büyük olmasının nedeni, kesme hızlarının bu malzeme için yeterli olmayışıdır. 2024Al+% 10 Al_2O_3 kompozit için ise, R_a ve R_t değerlerinin büyük olmasının iki nedeninin olduğu düşünülmektedir: Birincisi, Al_2O_3 partikül oranının az olmasından dolayı kesme hızının yeterli olmaması; diğeri ise Al_2O_3 partikül boyutu küçük olduğundan, takımların bu partikülleri kesemeyerek matriks 2024Al alaşımını bu partiküllerin üzerine sıvamasıdır. Böylece, partiküller kırılmadığı için yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olacaktır.

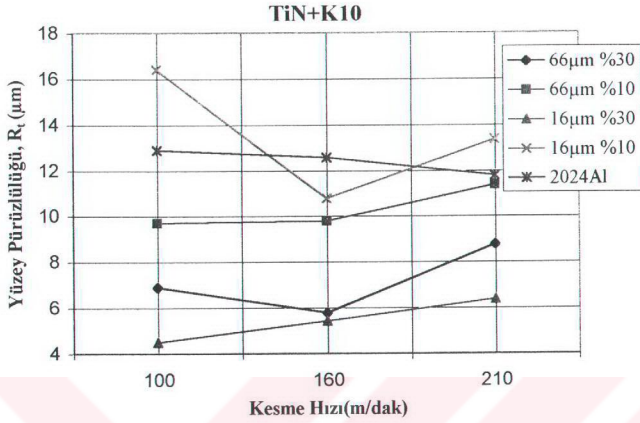
Büyük boyutlu ve yüksek takviye oranlı Al_2O_3 partikül kompozitlerde, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin (R_a ve R_t) arttığı görülmüştür. Bütün malzemeler için R_a ve R_t değerleri, teorik değerlerden ($R_a=0.625 \mu m$ ve $R_t=2.1875 \mu m$) daha büyük olmuştur.



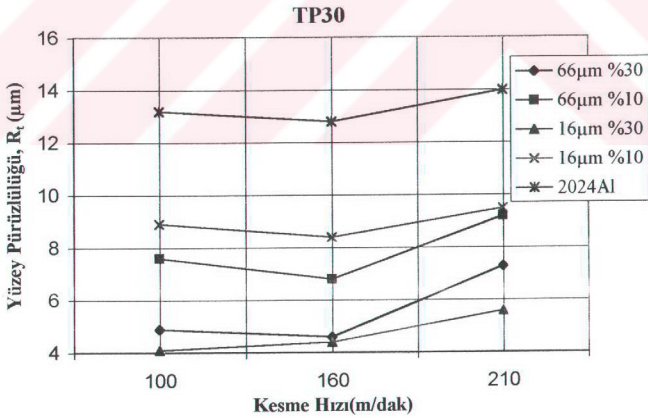
Şekil 5.50. K10 Takımla İşlenmiş Malzemelerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği



Şekil 5.51. TP30 Takımla İşlenmiş Malzemelerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği

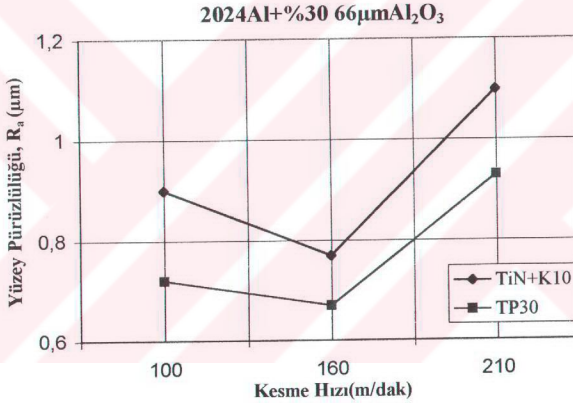


Şekil 5.52. K10 Takımla İşlenmiş Malzemelerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği

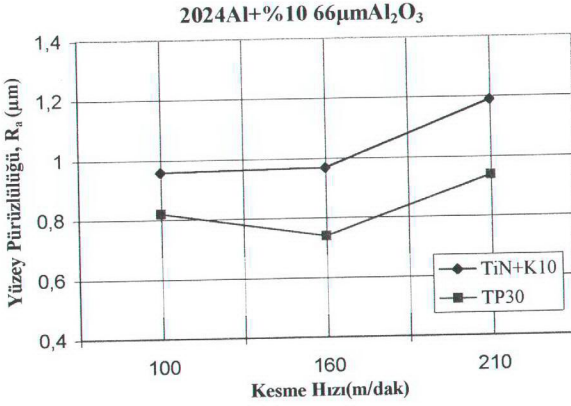


Şekil 5.53. TP30 Takımla İşlenmiş Malzemelerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği

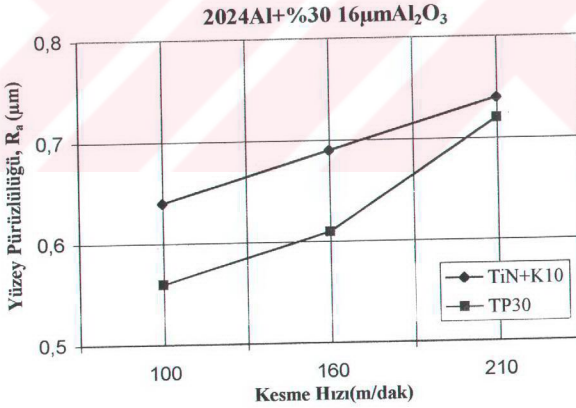
Şekil 5.54, 5.55, 5.56, 5.57 ve 5.58’de, K10 ve TP30 takımlar için sırasıyla % 30 66 μm , % 10 66 μm , % 30 16 μm , % 10 16 μm kompozitler ve 2024Al alaşımı malzemelerdeki R_a değerlerinin ve Şekil 5.59, 5.60, 5.61, 5.62 ve 5.63’de ise R_q değerlerinin kesme hızlarına göre grafikleri verilmektedir. Bu grafiklerden, bütün kompozitler için TP30 takımıyla işlenmiş yüzeylerdeki yüzey pürüzlülüğünün daha az olduğu görülmekte ve dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü açısından TP30 takımının daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Her iki takımla işlenmiş yüzeylerdeki en iyi değerler, $V=160$ m/dk kesme hızında elde edilmiştir.



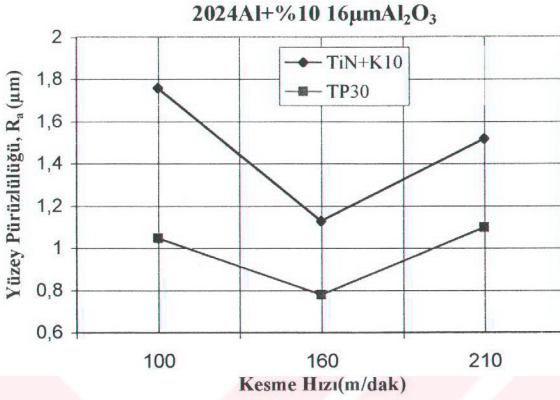
Şekil 5.54. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+% 30 66 μm Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği



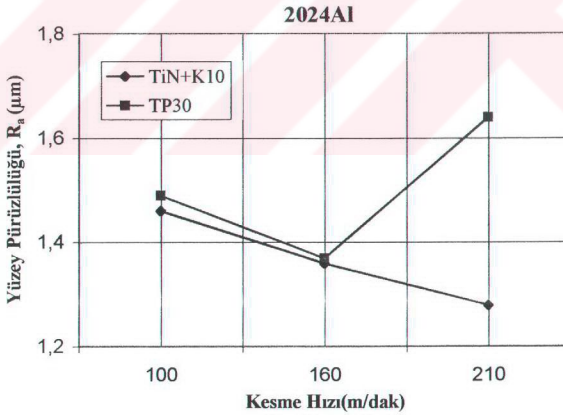
Şekil 5.55. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+%10 66 μ m Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği



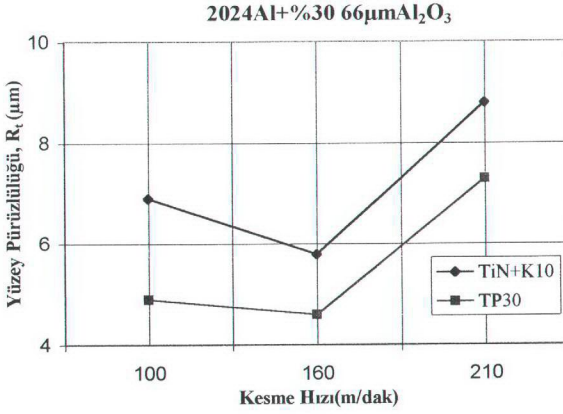
Şekil 5.56. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+%30 16 μ m Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği



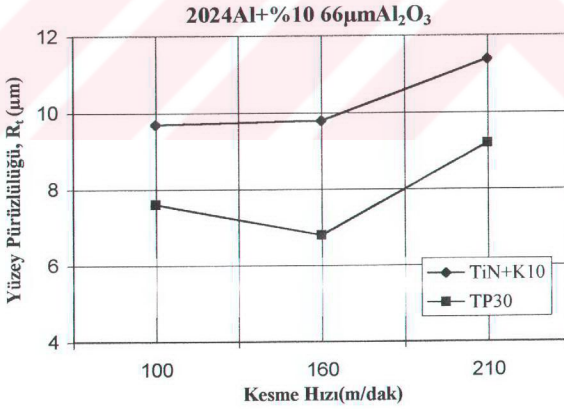
Şekil 5.57. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+% 10 16 μ m Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği



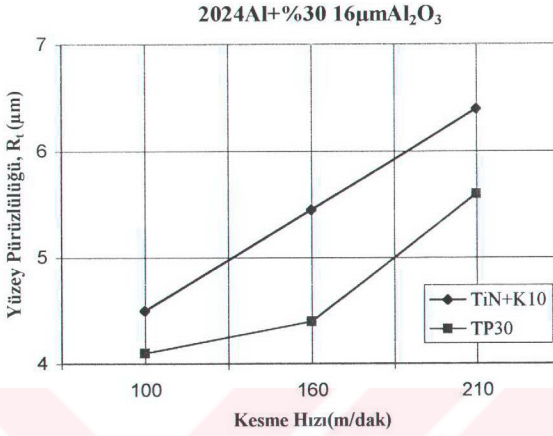
Şekil 5.58. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al Alaşımlarında Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği



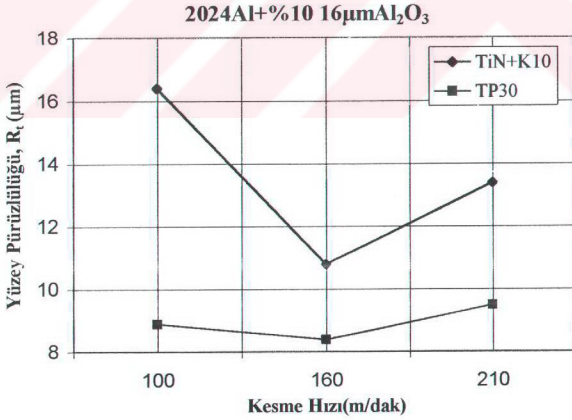
Şekil 5.59. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+% 30 66 μ m Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği



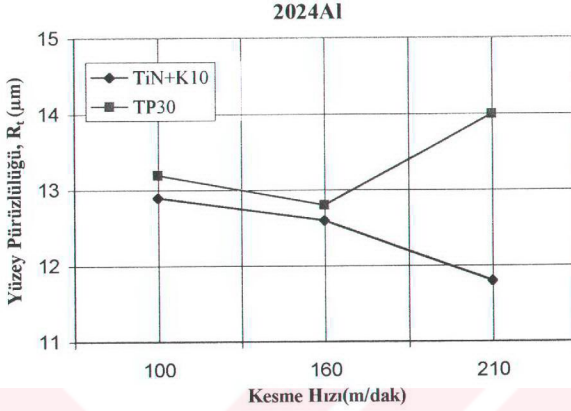
Şekil 5.60. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+% 10 66 μ m Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği



Şekil 5.61. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+% 30 16 μ m Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği

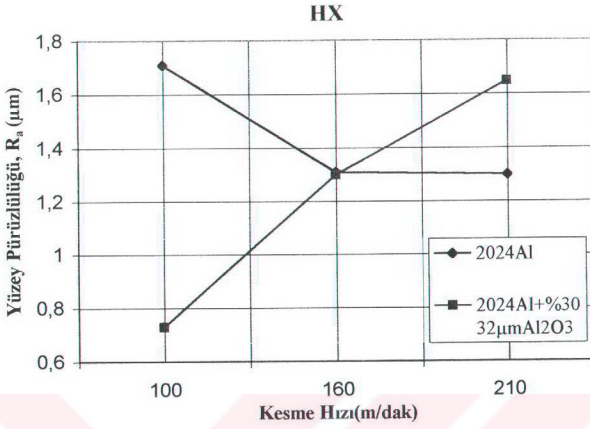


Şekil 5.62. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al+% 10 16 μ m Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği

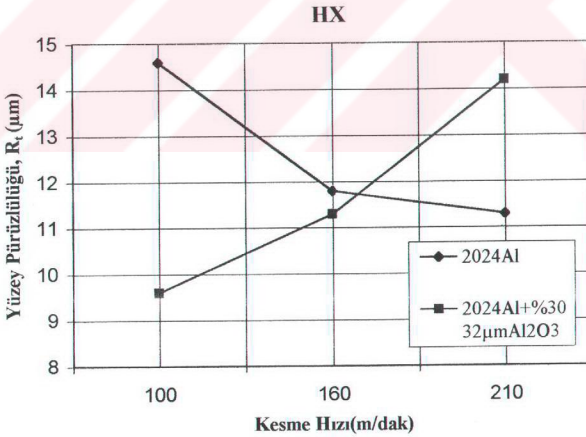


Şekil 5.63. K10 ve TP30 Takımlarla İşlenmiş 2024Al Alaşımlarda Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği

HX takımla işlenmiş malzemelerin yüzey pürüzlülük değerlerinin (R_a ve R_t) grafikleri, Şekil 5.64 ve 5.65’de verilmektedir. Bu grafiklerde, 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozit için kesme hızının artmasıyla R_a ve R_t değerlerinin arttığı ancak, 2024Al için kesme hızının artmasıyla bu değerlerin azaldığı görülmektedir. Kesme hızının düşük olması ve takviye elemanı Al_2O_3 partikül boyutunun küçük, oranının ise büyük olmasından dolayı, düşük kesme hızlarında 2024Al alaşımındaki yüzey pürüzlülük değerleri 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozitdeki değerlerden daha yüksek olmuştur. Ancak kesme hızı arttığında ($V=210$ m/dk), 2024Al alaşımındaki pürüzlülük değerleri azalırken, kompozitdeki değerler artmıştır. HX takımla işlenmiş yüzeylerdeki R_a pürüzlülük değerlerinin, teorik değere ($R_a=1.25$ μm) yakın değerlerde; R_t pürüzlülük değerlerinin ise, teorik değere ($R_t=4.375$ μm) göre çok daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 5.64. HX Takımla İşlenmiş 2024Al Alaşımı ve 2024Al+% 30 32 µm Al₂O₃ Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)-Kesme Hızı Grafiği



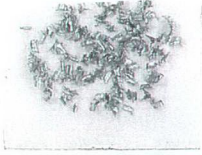
Şekil 5.65. HX Takımla İşlenmiş 2024Al Alaşımı ve 2024Al+% 30 32 µm Al₂O₃ Kompozitlerde Yüzey Pürüzlülüğü (R_t)-Kesme Hızı Grafiği

5.7.6. Talaş Yapısı

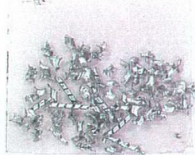
2024Al matrisli alaşımın ve kompozit malzemelerin işlenmesinden elde edilmiş olan talaşların fotoğrafları çekilmiş ve bu fotoğraflar Foto 5.27-5.36'da verilmiştir. Fazla yer işgal edeceği düşünüldüğünden, bütün numunelerin fotoğrafları bu çalışmaya eklenmemiştir.

Ağırlıkça % 30, 20 ve 10 oranlarında 66 μm Al_2O_3 ile takviyeli kompozitlerin, K10 ve TP30 takımlarıyla 100 ve 210 m/dk kesme hızlarında işlenmesinden oluşmuş talaş yapıları sırasıyla Foto 5.27 ve 5.28'de görülmektedir. Bu fotoğraflardan; K10 takımıyla oluşmuş talaşların çok küçük ve süreksiz olduğu, buna karşın TP30 takımıyla oluşmuş talaşların ise, K10 takımındaki talaşlara oranla çok daha uzun, sürekli ve büyük olduğu anlaşılmaktadır. Her iki takımla yapılan kesme işlemlerinde, kompozitlerin takviye elemanı oranının artmasıyla talaşların boyları kısalmış; kesme hızının artmasıyla talaş yapıları değişmemiştir. Sadece en düşük takviye oranlı kompozitlerin talaş yapıları kesme hızı ile etkilenmiştir. 66 μm Al_2O_3 takviyeli kompozitlerden çıkan talaşların yüzeyleri pürüzlü olmuş; en fazla pürüzlülük ise en düşük takviyeli kompozitin (2024Al+% 10 66 μm Al_2O_3) talaşında görülmüştür.

Foto 5.29 ve 5.30'da; 32 μm Al_2O_3 takviyeli kompozitlerin, sırasıyla K10 ve TP30 takımlarıyla işlenmesinden elde edilmiş talaş yapıları verilmektedir. Bu fotoğraflarda da görüldüğü gibi, K10 takımıyla oluşan talaşlar küçük ve süreksiz olurken; TP30 takımıyla oluşan talaşlar daha büyük ve sürekli olmuş ve takviye elemanı oranının azalmasıyla bu süreklilik daha da artarak çok uzun talaşlar meydana gelmiştir. Yine her iki takımla oluşan talaş yapıları kesme hızı ile değişmemiştir. 2024Al+% 10 32 μm Al_2O_3 kompozitin 100 m/dk kesme hızında işlenmesinden çıkan talaşlar, kesme hızının ve takviye elemanı oranının düşük olmasından dolayı kaba ve pürüzlü olmuştur.



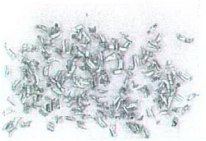
2024+%30 66 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TiN-K10



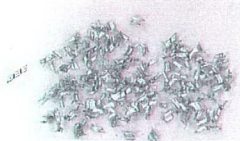
2024+ %20 66 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TiN-K10



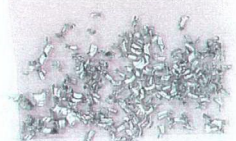
2024+%10 66 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TiN-K10



2024+%30 66 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TiN-K10



2024+%20 66 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TiN-K10



2024+%10 66 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TiN-K10

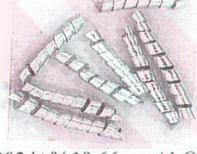
Foto 5.27. 66 μ m Al₂O₃ ile Takviyeli Kompozitlerin K10 Takımıyla 100 ve 210 m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları



2024+%30 66 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TP30



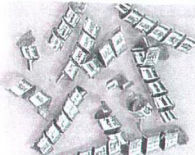
2024+%20 66 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TP30



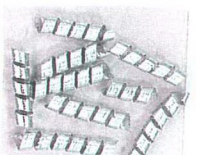
2024+%10 66 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TP30



2024+%30 66 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TP30

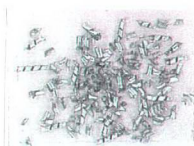


2024+%20 66 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TP30

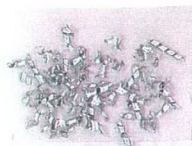


2024+%10 66 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TP30

Foto 5.28. 66 μ m Al₂O₃ ile Takviyeli Kompozitlerin TP30 Takımıyla 100 ve 210 m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları



2024+%30 32 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TiN-K10



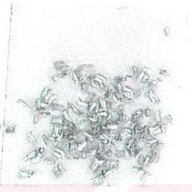
2024+%20 32 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TiN-K10



2024+%10 32 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TiN-K10



2024+%30 32 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TiN-K10



2024+%20 32 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TiN-K10

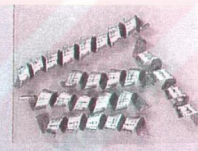


2024+%10 32 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TiN-K10

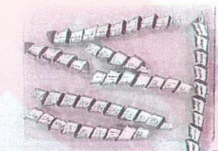
Foto 5.29. 32 μ m Al₂O₃ ile Takviyeli Kompozitlerin K10 Takımıyla 100 ve 210 m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları



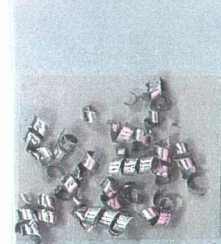
2024+%30 32 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TP30



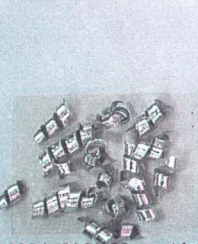
2024+%20 32 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TP30



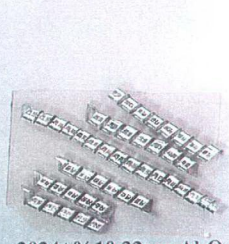
2024+%10 32 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TP30



2024+%30 32 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TP30



2024+%20 32 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TP30



2024+%10 32 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TP30

Foto 5.30. 32 μ m Al₂O₃ ile Takviyeli Kompozitlerin TP30 Takımıyla 100 ve 210 m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları

Foto 5.31'de; 16 μm Al_2O_3 takviyeli kompozitlerin K10 takımıyla işlenmesinden ortaya çıkmış talaşlar görülmektedir. Bu talaşlar süreksiz, küçük ve diğer numunelerdeki talaşlardan daha ince olmuştur. Ancak, 100 m/dk kesme hızında ve % 10 16 μm Al_2O_3 takviyeli kompozitte, kesme hızının ve takviye elemanı oranının düşük olmasından dolayı, daha kalın ve pürüzlü talaşlar oluşmuştur. Aynı malzemelerin TP30 takımıyla işlenmesinden meydana gelmiş talaş yapıları Foto 5.32'de verilmektedir. Buradaki talaşların, aynı takımla işlenmiş daha önceki malzemelerden çıkan talaşlardan daha uzun olduğu; kesme hızı ve takviye elemanı oranının düşük olmasından dolayı, yine 100 m/dk kesme hızında işlenmiş 2024Al+% 10 16 μm Al_2O_3 kompozitin talaşının, çok ince ve uzun olduğu görülmektedir. Takviye elemanı oranının artmasıyla, talaş boyları kısalmıştır. Kesme hızı, en düşük takviye elemanı oranlı (2024Al+% 10 16 μm Al_2O_3) kompozitten çıkan talaşlar dışındaki talaş yapılarını etkilememiştir.

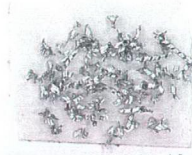
Foto 5.33; 2024Al alaşımının K10 ve TP30 takımlarıyla 100, 160 ve 210 m/dk kesme hızlarında işlenmesinden oluşmuş talaş yapılarını göstermektedir. Bu talaş yapıları incelendiğinde, her iki takımla yapılan kesme işlemlerinde kesme hızının artmasıyla, talaşların küçüldüğü; 100m/dk kesme hızında ise çok uzun ve kaba talaşların olduğu görülmektedir.

Foto 5.34'te; 2024Al+% 20 16 μm Al_2O_3 kompozitin 160 m/dk kesme hızında K10 ve TP30 takımlarıyla işlenmesi sonucu ortaya çıkan talaşların fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğraflarda, kompozitin K10 takımıyla işlenmesi sonucu oluşan talaşların çok küçük ve süreksiz olduğu; TP30 takımıyla oluşan talaşların ise büyük ve sürekli olduğu görülmektedir.

Foto 5.35 ve 5.36; sırasıyla 2024Al alaşımının ve 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozitinin, HX takımıyla işlenmesinden elde edilmiş talaş tiplerini göstermektedir. Kesme hızının artmasıyla, 2024Al alaşımında kaba ve çok uzun talaşlar oluşurken, kompozitte ince ve sürekli talaşlar oluşmuştur.



2024+%30 16 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TiN-K10



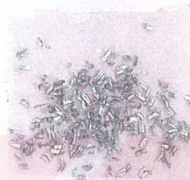
2024+%20 16 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TiN-K10



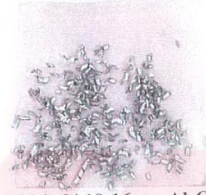
2024+%10 16 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TiN-K10



2024+%30 16 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TiN-K10



2024+%20 16 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TiN-K10



2024+%10 16 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TiN-K10

Foto 5.31. 16 μ m Al₂O₃ ile Takviyeli Kompozitlerin K10 Takımıyla 100 ve 210 m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları



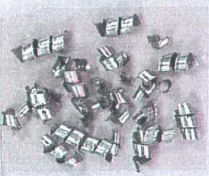
2024+%50 16 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TP30



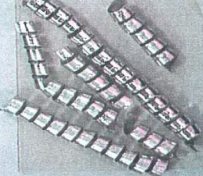
2024+%20 16 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TP30



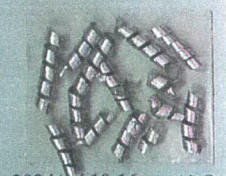
2024+%10 16 μ m Al₂O₃
V=100m/dk, TP30



2024+%30 16 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TP30



2024+%20 16 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TP30



2024+%10 16 μ m Al₂O₃
V=210m/dk, TP30

Foto 5.32. 16 μ m Al₂O₃ ile Takviyeli Kompozitlerin TP30 Takımıyla 100 ve 210 m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları

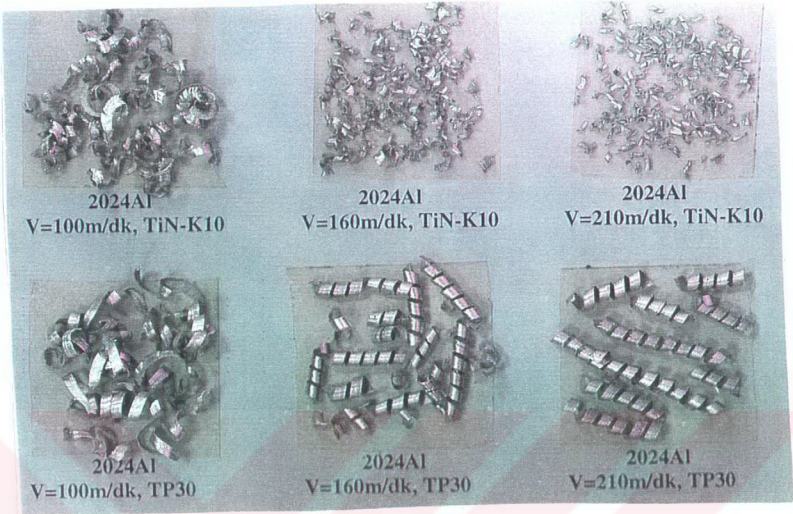


Foto 5.33. Matrisi 2024Al Alaşımının K10 ve TP30 Takımlarıyla 100, 160 ve 210 m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları

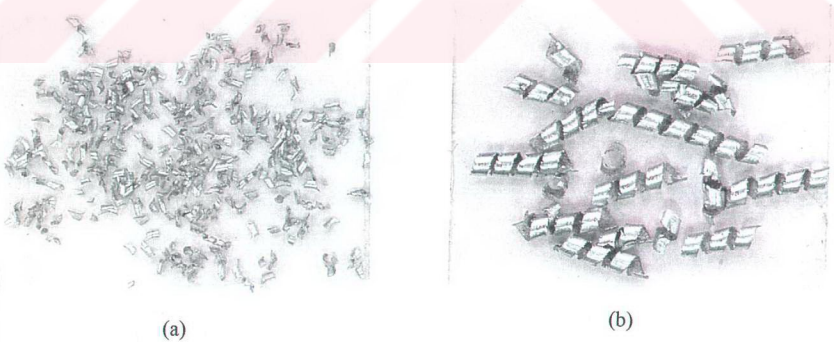


Foto 5.34. 2024Al+% 20 16 µm Al₂O₃ Kompozitin K10 ve TP30 Takımlarıyla 160 m/dk Kesme Hızında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları (a) K10, (b) TP30



Foto 5.35. Matriks 2024Al Alaşımının HX Takımıyla 100, 160 ve 210 m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları



Foto 5.36. 2024Al+% 30 32 µm Al₂O₃ Kompozitin HX Takımıyla 100, 160 ve 210 m/dk Kesme Hızlarında İşlenmesi Sonucu Oluşmuş Talaş Yapıları

5.8. Deney Sonuçları ve Tartışılması

5.8.1. Takım Aşınması ve Takım Ömrü Sonuçları

K10 ve TP30 kesici takımlarıyla yapılan takım ömrü ve takım aşınması deneyleri sonucunda, tüm malzemelerde ve kesme hızlarında K10 takımının ömrünün TP30 takımının ömründen daha uzun olduğu, takımların ömrünün kesme hızının ve takviye elemanı Al_2O_3 partikül boyutunun ve oranının artmasıyla azaldığı anlaşılmıştır. TP30 takımının ömrünün daha kısa olmasının nedeni; K10 takımının TP30 takımına göre daha sert olması, K10 takımıyla küçük talaşlar oluşurken, TP30 takımıyla büyük ve uzun talaşlar oluşması ve bu talaşların kesici takımla daha fazla temas etmesi neticesinde takımın daha fazla sıcaklığa ve aşınmaya maruz kalmasıdır. Partikül boyutunun ve oranının artmasıyla, takımların ömrünün azalmasının nedeninin ise; büyük boyutlu partiküllerin küçük boyutlu partiküllere göre daha kolay kesilmesi ve matrikse göre çok daha sert ve aşındırıcı olan partiküllerin malzemede büyük oranlarda bulunması neticesinde, takımların hızlı bir şekilde aşınması olduğu düşünülmüştür. Bu durum daha önce yapılmış olan bir çalışmada da vurgulanarak, büyük boyutlu partikül takviyeli kompozitlerin işlenebilirliğinin kötü olduğu belirtilmiştir (Quan ve diğ., 1999). Bu kesici takımlarda, abrasiv aşınmadan dolayı oluşan yan yüzey aşınması temel aşınma tipini oluşturmuş ve düşük kesme hızlarında her iki takımın kesici kenarlarında malzeme sıvanmaları (BUE) görülmüştür. Bunun yanında, yüksek kesme hızlarında, Al_2O_3 partikül boyutunun ve oranının büyük olduğu kompozitlerin işlenmesinde, takımların kesici kenarlarında küçük kırılmalar da meydana gelmiştir. Bu kırılmalar K10 takımında daha az olmuştur. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda da, abrasiv aşınmadan dolayı oluşan yan yüzey aşınmasının, temel aşınma tipini oluşturduğu belirtilmiştir (Tomic ve Tonnessen, 1992; Chen, 1992; Cronjager ve Meister, 1992; Chambers, 1996; Barnes ve diğ., 1996; Durante ve diğ., 1997; Hocheng ve diğ., 1997; Luo ve diğ., 1999; Sreejith ve diğ., 1999).

HX takımıyla yapılan deneyler, kompozitin işlenmesindeki takım ömrünün alüminyum matriks alaşıma göre çok daha kısa olduğunu ve kesme hızının artmasıyla

takım ömrünün azaldığını göstermiştir. Matriks alaşımın ve kompozitin işlenmesinde HX takımında abrasiv aşınmadan dolayı düzgün yan yüzey aşınması görülmüş, ancak bunun yanında 2024Al alaşımının düşük kesme hızında işlenmesinde takımın kesici kenarlarında yığılmalar (BUE) oluşmuş ve kesme hızının artmasıyla bu yığılmalar azalmıştır. BUE oluşumu daha önce yapılmış olan bazı çalışmalarda da görülmüştür (Chambers, 1996; Barnes ve diğ., 1996).

5.8.2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

K10 ve TP30 takımlarla işlenmiş yüzeylerdeki yüzey pürüzlülük değerleri (R_a ve R_t) ölçüm sonuçları, Al_2O_3 partikül boyutunun artmasıyla kompozitlerdeki R_a ve R_t değerlerinin arttığını göstermiştir. Bu artışa, daha önce yapılmış olan bir çalışmada (Quan ve diğ., 1999) belirtildiği üzere, bu partiküllerin partikül etrafında gerilim yoğunluğunu artıran matriksin plastik deformasyonuna ciddi bir engel teşkil etmesinin ve kompozit işlenirken bu büyük boyutlu partiküllerin kolaylıkla kırılarak takımları hızlı bir şekilde aşındırmasının neden olduğu sanılmaktadır. Bütün kompozitler için, TP30 takımıyla işlenmiş yüzeylerdeki R_a ve R_t değerleri, K10 takımıyla işlenmiş yüzeylerdekine göre daha düşük olurken; matriks 2024Al alaşımında daha yüksek olmuş ve kesme hızı arttıkça her iki takım ile işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlülük değerleri de artmıştır. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını, Tomac ve Tonnessen (1992) yaptıkları çalışmada belirtirken, Hocheng ve diğ. (1997) yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ile arttığını belirtmişlerdir. Cronjager ve Meister (1992), yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ile artmasının yanı sıra, takviyeli malzemelerdeki yüzey kalitesinin takviyesiz malzemelerinkinden daha iyi olduğunu yaptıkları çalışmada göstermişlerdir. Chambers (1996) yaptığı çalışmada, K10 takımının PCD takımına göre daha iyi bir yüzey kalitesi oluşturduğunu vurgulamıştır.

Kesme hızları yeterli olmadığından, 2024Al alaşımındaki R_a ve R_t değerleri daha büyük olmuştur. Ancak en büyük R_a ve R_t değerleri 2024Al+% 10 16 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesinde elde edilmiştir. Bunun nedeninin de partikül oranının az olduğu bu kompozit için kesme hızının yeterli olmamasının ve işleme sırasında bu

küçük boyutlu partiküllerin kırılmayarak, 2024Al alaşımının bu partiküller üzerine sıvanmasının olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, takviye elemanı Al_2O_3 partikül oranının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri (R_a ve R_t) azalmıştır.

Sonuç olarak, bütün kompozit malzemeler için yüzey pürüzlülüğü bakımından en iyi sonuçları TP30 takımı verirken; en iyi sonuçlar $V=160$ m/dk kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, takviye elemanı Al_2O_3 partikül boyutunun artmasıyla artmış; partikül oranının artmasıyla azalmıştır.

Kesme hızının artmasıyla HX takımıyla işlenmiş 2024Al matriks alaşımdaki yüzey pürüzlülük değerleri (R_a ve R_t) azalmış, 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozitdeki bu değerler artmıştır. Kesme hızının düşük olması ve Al_2O_3 partikül boyutunun küçük, hacim oranının ise büyük olmasından dolayı, düşük kesme hızlarında 2024Al alaşımındaki R_a ve R_t değerleri 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozitdeki değerlerden daha büyük olmuştur.

5.8.3. Talaş Yapıları Sonuçları

Talaş yapıları incelemeleri sonucunda, bütün malzemelerde K10 takımıyla yapılan kesme işlemlerinde talaşların çok küçük parçacıklar halinde ve süreksiz olduğu görülürken; TP30 takımıyla yapılan kesme işlemlerinde talaşların uzun ve sürekli olduğu görülmüştür. Bu durumun K10 takımının motifli, buna karşın TP30 takımının ise düz talaş kırıcılı olmasından kaynaklandığı sanılmaktadır. Her iki takımla yapılan kesme işlemlerinde, takviye elemanı Al_2O_3 partikül oranının ve boyutunun artmasıyla talaşların boyları küçülmüş ve süreksiz talaşlar oluşmuştur. Büyük boyutlu takviye elemanlı kompozitlerde kısa ve pürüzlü talaşlar meydana gelirken; küçük boyutlu takviye elemanlı kompozitlerde daha uzun ve pürüzsüz talaşlar meydana gelmiştir.

Ağırlıkça % 10 Al_2O_3 takviye elemanı içeren kompozitler dışındaki kompozitlerin talaş yapıları, kesme hızı ile değişmemiştir. % 10 Al_2O_3 takviye elemanı içeren kompozitlerin, takviye elemanı partikül oranının az olması ve bu nedenle daha

yumuşak bir malzeme olmasından dolayı, kesme hızı ile talaş yapılarının etkilendiği düşünülmektedir. Bu malzemelerin; düşük kesme hızında işlenmesinde uzun ve kaba talaşlar, yüksek kesme hızında işlenmesinde ise kısa ve düzgün talaşlar oluşmuştur.

Kesme hızının, takviye elemanı partikül oranının ve boyutunun talaş yapılarını nasıl etkilediği hakkında daha önce yapılmış olan bazı çalışmalarda elde edilmiş olan sonuçlar, yapılan bu çalışmaya destek verir niteliktedir. Hocheng ve diğ. (1997), büyük miktarda eklenen partiküllerin talaşın kırılmasına neden olduğunu ve bu yüzden süreksiz talaşların oluştuğunu vurgulamışlardır. Talaş boyutunun kesme hızı ve talaş açısı ile değişmediği, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin sırasıyla talaş kalınlığını ve genişliğini belirlediği yine bu çalışmada belirtilmiştir. Quan ve diğ. (1999) ise, büyük boyutlu takviye elemanlı kompozitlerde sürekli talaş ve küçük parçacıkların her ikisinin de bulunduğunu; küçük boyutlu takviye elemanlı kompozitlerde ise sürekli talaşların görüldüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca, takviye elemanı hacim oranının ya da boyutunun artmasıyla talaşların incelendiği; büyük boyutlu takviye elemanlı kompozitlerin talaşlarının ise pürüzlü olduğu ve küçük boyutlu takviye elemanlı kompozitlerin talaşlarının da daha uzun ve daha düzgün olduğu vurgulanmıştır.

K10 ve TP30 takımlarıyla takviyesiz 2024Al alaşımının işlenmesinde, kesme hızının artmasıyla talaşların küçüldüğü ve 100 m/dk kesme hızında çok uzun ve kaba talaşların oluştuğu görülmüştür. Kompozitlere göre çok daha yumuşak olmasından dolayı, bu alüminyum alaşımının işlenmesinde düşük kesme hızlarında uzun talaşlar oluşmuş, yüksek kesme hızlarında talaşlar kısalmıştır.

HX takımıyla yapılan kesme işlemlerinde, kesme hızının artmasıyla 2024Al alaşımında kaba ve çok uzun talaşlar meydana gelmiş; 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozitte ise ince ve sürekli talaşlar oluşmuştur.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Vorteks metodu ve basınç kullanılarak 2024Al alaşımına, ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında 16 μm , 32 μm ve 66 μm boyutlu Al_2O_3 partiküllerinin takviye edilmesiyle MMK malzemelerin üretimi ve üretilen kompozitlerin işlenebilirliği için yapılan bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. MMK malzemeler vorteks metodu ve basınçla başarılı bir şekilde üretilmiştir. Optimum sonuçlar; 700 °C ergimiş metal sıcaklığı, 900 dev/dk karıştırma hızı, 550 °C kalıp sıcaklığı, 5 gr/dk takviye elemanı ilâve hızı, 6 MPa basınç ve 5 dk takviye bittikten sonraki karıştırma süresi şartlarında elde edilmiştir.
2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda, 66 μm boyutlu Al_2O_3 partiküllerinin matriste homojen olarak dağıldığı gözlenirken, 16 μm ve 32 μm boyutlu Al_2O_3 partiküllerinin homojen olarak dağılmadığı; bu partiküllerin topaklanmalara ve porozite oluşumuna neden oldukları gözlenmiştir.
3. Kompozitlerin; partikül hacim oranının ve boyutunun artmasıyla yoğunlukları; partikül hacim oranının artması ve partikül boyutunun azalmasıyla porozite oranı artmıştır. Bu çalışmada üretilen MMK malzemelerde porozite oldukça düşük olmuştur. Dökümden sonra basınç uygulanması; porozite miktarının azalmasına, Al alaşımı ile Al_2O_3 partikülleri arasındaki bağ kuvvetinin ve ıslanabilirliğin iyileşmesine neden olmuştur.
4. Elde edilen kompozit malzemelerin sertlikleri, partikül hacim oranının artması ve partikül boyutunun azalmasıyla artmış; ancak malzemelerin sertliklerindeki artış hızının partikül hacim oranının artmasıyla daha fazla olduğu görülmüştür. Artan partikül hacim oranı ve azalan partikül boyutu ile malzemelerin çekme mukavemetleri artmıştır.
5. Takım ömrü ve takım aşınması bakımından yapılan işlenebilirlik test sonuçları, tüm malzeme ve kesme hızlarında K10 takımının ömrünün TP30 takımının ömründen daha fazla olduğunu; yine bu test sonuçları kesme hızı, takviye elemanı Al_2O_3 partikül boyutu ve oranının artmasıyla takımların ömrünün azaldığını göstermiştir. Kesici takımlarda, abrasiv aşınmadan dolayı oluşan yan yüzey aşınması temel

aşınma tipini oluşturmuş ve düşük kesme hızlarında, takımların kesici kenarlarında sıvanmalar (BUE) meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra Al_2O_3 partikül boyutunun ve oranının büyük olduğu kompozitlerin yüksek kesme hızlarında işlenmesinde, TP30 takımının kesici kenarlarında küçük kırılmaların da olduğu görülmüştür. Bu kırılmalar K10 takımında çok az olmuştur.

6. HX takımıyla 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesindeki takım ömrü, alüminyum matriks alaşımının işlenmesindeki takım ömründen çok daha kısa olmuş ve kesme hızının artmasıyla takım ömrü azalmıştır. Matriks alaşımının ve kompozitin işlenmesinde, HX takımında abrasiv aşınmadan dolayı düzgün yan yüzey aşınması meydana gelmiş; bunun yanında 2024Al alaşımının düşük kesme hızında işlenmesinde, takımın kesici kenarlarında yığılmalar (BUE) görülmüş ve kesme hızının artmasıyla bu yığılmalar azalmıştır.
7. Al_2O_3 partikül boyutunun artmasıyla, kompozitlerdeki yüzey pürüzlülük değerleri (R_a ve R_t) artmıştır. Bu artışa, partiküllerin partikül etrafında gerilim yoğunluğunu artıran matriksin plastik deformasyonuna ciddi bir engel teşkil etmesinin ve kompozit işlenirken büyük boyutlu partiküllerin kolaylıkla kırılarak takımları hızlı bir şekilde aşındırmasının neden olduğu düşünülmüştür. Bütün kompozitler için TP30 takımıyla işlenmiş yüzeylerdeki R_a ve R_t değerleri, K10 takımıyla işlenmiş yüzeylerdeki değerlere göre daha düşük olurken, matriks 2024Al alaşımında daha yüksek olmuş ve kesme hızının artmasıyla her iki takım ile işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlülük değerleri artmıştır. Ayrıca, takviye elemanı Al_2O_3 partikül oranının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır.
8. Kesme hızları düşük olduğundan, 2024Al alaşımındaki yüzey pürüzlülük değerleri (R_a ve R_t) kompozitlere göre daha büyük olmuştur. Ancak, en büyük yüzey pürüzlülük değerleri 2024Al+% 10 16 μm Al_2O_3 kompozitin işlenmesinde ortaya çıkmıştır. Bunun nedeninin, partikül oranının az olmasından dolayı kesme hızının yeterli olmaması ve işleme sırasında bu küçük boyutlu partiküllerin kırılmayarak 2024Al alaşımının partiküller üzerine sıvanması olduğu düşünülmüştür.
9. Bütün kompozit malzemeler için yüzey pürüzlülüğü bakımından en iyi sonuçlar, TP30 takımıyla $V=160$ m/dk kesme hızında elde edilmiştir.
10. Kesme hızının artmasıyla, HX takımıyla işlenmiş 2024Al matriks alaşımındaki yüzey pürüzlülük değerleri (R_a ve R_t) azalırken, 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozitdeki

bu değerler artmıştır. Kesme hızının düşük, Al_2O_3 partikül boyutunun küçük ve partikül oranının ise büyük olmasından dolayı, düşük kesme hızlarında 2024Al alaşımındaki R_a ve R_t değerleri, 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozitdeki değerlerden daha büyük çıkmıştır.

11. Talaş yapıları incelemeleri sonucunda, bütün malzemelerde K10 takımıyla yapılan kesme işlemlerinde talaşların çok küçük parçacıklar halinde ve süreksiz olduğu görülürken, TP30 takımıyla yapılan kesme işlemlerinde talaşların uzun ve sürekli olduğu görülmüştür. Bu durumun, takımların talaş kırıcılarının şeklinden, yani K10 takımının motifli, TP30 takımının ise düz talaş kırıcılı olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Her iki takımla yapılan kesme işlemlerinde, takviye elemanı Al_2O_3 partikül oranının ve boyutunun artmasıyla, talaşlar küçülmüş ve süreksiz hale gelmiştir. Büyük boyutlu takviye elemanlı kompozitlerde kısa ve pürüzlü talaşlar oluşurken, küçük boyutlu takviye elemanlı kompozitlerde talaşlar daha uzun ve pürüzsüz olmuştur. Kesme hızının artmasıyla, ağırlıkça % 10 Al_2O_3 takviye elemanı içeren kompozitler dışındaki kompozitlerin talaş yapıları değişmemiştir. K10 ve TP30 takımlarıyla takviyesiz 2024Al alaşımının işlenmesinde, kesme hızının artmasıyla talaşların küçüldüğü ve 100 m/dk kesme hızında ise bu malzeme için bu kesme hızının düşük olmasından dolayı çok uzun ve kaba talaşların oluştuğu görülmüştür.
12. HX takımıyla yapılan kesme işlemlerinde, kesme hızının artmasıyla, 2024Al alaşımında kaba ve çok uzun talaşlar oluşurken; 2024Al+% 30 32 μm Al_2O_3 kompozitte ince ve sürekli talaşlar oluşmuştur.

Elde edilen bu sonuçlara göre, Vorteks metoduyla MMK malzemelerin üretiminde işlem parametrelerinin çok iyi kontrol edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Kontrolün sağlanamadığı sistemlerde, düşük partikül boyutu ve yüksek hacim oranlarında, özellikle partiküller etrafında porozitelerin oluştuğu ve partikül topaklanmalarının görüldüğü daha önceki bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Ghost ve Ray, 1988; Ray, 1993; Kobashi ve Choh, 1994; Akbulut ve diğ., 1993; Akbulut ve diğ., 1995). Mekanik özellikleri daha iyi olan düşük boyutlu ve yüksek hacim oranlı partiküllerle takviyeli kompozitlerin üretimi çok zor olduğundan, bu kompozitlerin üretimi konusunda değişik çalışmalar yapılabilir.

Döküm işleminden hemen sonra basıncın uygulanması, malzemedeki porozite oranının azalmasına, Al alaşımı ile Al_2O_3 partikül arasındaki bağ kuvvetinin ve ıslanabilirliğin iyileşmesine neden olduğundan, vorteks metodu ve basınç ile daha iyi MMK malzemeler elde edilmiştir. Basınç uygulanmamasından dolayı, daha önceki çalışmalarda (Akbulut ve diğ., 1993; Akbulut ve diğ., 1995) vorteks metodu ile üretilmiş kompozitlerdeki porozite oranlarının, bu çalışmadaki porozite oranlarından daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Takviye elemanı partikül boyutunun artmasıyla, partiküller matriks içerisinde homojen olarak dağılmış; daha önceki Akbulut ve diğ. (1993) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Daha kaliteli kompozit malzeme üretmek için, bu çalışmada uygulanmış olan basınçtan daha farklı basınçlar uygulanarak, değişik boyutlu ve hacim oranlı partiküllerle takviyeli kompozit üretim çalışmaları yapılabilir.

Malzemelerin sertlikleri ve çekme mukavemetleri, partikül hacim oranının artması ve partikül boyutunun azalmasıyla artmış; bu durum Akbulut ve diğ. (1993), Durman ve diğ. (1993), Purazrang ve diğ. (1994), Akbulut ve diğ. (1995) tarafından yapılmış çalışmalarda da belirtilmiştir.

İşlenebilirlik test sonuçları, büyük boyutlu partikül ile yüksek hacim oranlarında takviye edilmiş kompozitlerin işlenebilirliğinin daha kötü olduğunu göstermiş; Quan ve diğ. (1999) tarafından yapılmış çalışmada da aynı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Takım ömrü bakımından en iyi sonuçları K10 takımı vermiş; TP30 takımıyla işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlülük değerleri K10 takımıyla işlenmiş yüzeylerdekinden daha az olmuştur. Ayrıca, HX takımının; kompozitin işlenmesinde iyi sonuçlar vermediği, alüminyum alaşımlar için daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Kompozitlerin işlenmesinde, K10 ve TP30 takımlarının ömürleri çok kısa olduğundan, bu kompozitlerin işlenebilirlik çalışmaları değişik kesici takımlarla ve daha düşük kesme hızlarında yapılabilir. Bunun yanında, HX kesici takımının, daha düşük boyutlu ve hacim oranlı partiküllerle takviyeli kompozitlerin işlenmesindeki performansı araştırılabilir.

Kesme hızının ve partikül boyutunun artmasıyla, yüzey pürüzlülük değerleri artmış; partikül oranının artmasıyla bu değerler azalmıştır. Aynı sonuçlar Tomac ve Tonnessen (1992), Quan ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışmalarda da görülmüştür. Yüzey kalitesini iyileştirmek için, bu kompozitler daha yüksek ilerleme hızlarında işlenebilir.

Kesici takımlardaki temel aşınma tipini, abrasiv aşınmadan dolayı oluşan düzgün yan yüzey aşınması oluşturmuş; daha önce yapılmış olan çalışmaların çoğunda da, kesici takımlarda bu aşınma tipinin meydana geldiği belirtilmiştir.

Talaş yapıları incelemelerinde; K10 takımıyla yapılan kesme işlemlerinde, çok küçük parçacıklar halinde ve süreksiz talaşların oluştuğu görülürken, TP30 takımıyla uzun ve sürekli talaşların oluştuğu görülmüştür. Küçük boyutlu Al_2O_3 partikülleriyle takviyeli kompozitlerden çıkan talaşlar, büyük boyutlu partiküllerle takviyeli kompozitlerdeki talaşlardan daha uzun ve daha pürüzsüz olmuştur. Quan ve diğ. (1999)'nin yapmış oldukları çalışmada da aynı talaş yapıları görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abdel-Hamid, M., 1994, Study of composite casting using Pressurised Solidification Process (Squeeze Casting). Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering, El-Zagazig University, Egypt.
- Aghajanian, M.K., Anderson, C.A., Wiener, R.J. and Rossing, B.R., 1995. SAE Technical paper, 950263, February 27-March 2.
- Akbulut, H. ve Durman, M., 1993, SiC partikül takviyeli Al kompozitler. 7. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 1165-1182.
- Akbulut, H., Durman, M. ve Yılmaz, F., 1993, SiC seramik partikül takviyeli alüminyum-silisyum metal esaslı kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi. 7. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 1183-1194.
- Akbulut, H., Durman, M. ve Yılmaz, F., 1995, Vorteks metodu ile üretilen Al_2O_3 partikül takviyeli Al-Si metal matriksli kompozitlerin mekanik davranışları. 8. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran, İstanbul, 1329-1334.
- Akbulut, H. ve Durman, M., 1995, SiC partikül takviyeli Al-Si metal matriksli kompozitlerin santrifüj dökümü. 8. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran, İstanbul, 687-692.
- Akçakaya, R., 1988, Production of a cast alumina-aluminum particulate composite. M.S. Thesis, The Bosphorus University.
- Akçakaya, R., Savaş, M.A. ve Altıntaş, S., 1990, Alumina-alüminyum kompozitinin döküm yöntemi ile üretilmesi. Doğa, cilt. 4, 204-214.

- Alpas, A.T. and Embury, J.D., 1990, Sliding and abrasive wear behaviour of an aluminium (2014)-SiC particle reinforced composite. *Scripta Metall. Mater.*, 24, 931-935.
- Amateau, M.F., Flowers, R.H. and Eliezer, Z., 1979, Tribological behavior of metal matrix composites. *Wear*, 54, 175-185.
- Amstead, B.H., Ostwald, P.F. and Begeman, M.L., 1984, *Manufacturing processes*. John Wiley & Sons, Inc., Canada, 739p.
- ASM, 1975, Influence of Metallurgy on Machinability. Proceedings of the International Symposium Sponsored by the Machinability Activity of the Mechanical Working and Forming Division, American Society for Metals.
- ASM, 1978, Machinability Testing and Utilization of Machining Data. Proceedings of the International Conference on Machinability Testing and Utilization of Machining Data, American Society for Metals.
- ASM, 1989, Machining. Metals Handbook, ASM Intern., Volume 16, American Society For Metals Park, Ohio.
- Asthana, R. and Rohatgi, P.K., 1992. *Z. Metall.*, 83, 12, 887-892.
- Bader, M.G., Clyne, T.W., Cappleman, G.R. and Hubert, P.A., 1985, The fabrication and properties of metal-matrix composites based on aluminium alloy infiltrated alumina fibre preforms. *Composites Sci. And Technol.*, 23, 4, 287-301.
- Bai, M. and Xue, Q., 1997, Investigation of wear mechanism of SiC particulate-reinforced Al-20Si-3Cu-1Mg aluminium matrix composites under dry sliding and water lubrication. *Tribology International*, 30, 4, 261-269.

- Baker, A.A., 1975, Carbon fibre reinforced metals-A review of the current technology. *Material Science Engineering*, 17, 177-208.
- Banerji, A., Rohatgi, P.K. and Reif, W., 1984, Role of wettability in the preparation of metal matrix composites-a review. *Metall.*, 38, 7, 656-661.
- Barnes, S., Pashby, I.R. and Mok, D.K., 1996, The effect of workpiece temperature on the machinability of an aluminum/SiC MMC. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 118, 422-427.
- Bhagat, R.B., 1991, Metal matrix composites: processing and interfaces. In: K. Everett and R.J. Arsenault (eds.), Academic Press, San Diego, USA, 47-78.
- Brun, M.K., Lee, M. and Gorsler, F., 1985, Wear characteristics of various hard materials for machining SiC-reinforced aluminum alloy. *Wear*, 104, 21-29.
- Buck, M.E., 1987, High strength and modulus filaments of boron and silicon carbide. *Avco Speciality Materials, Materials and Design*, 8, 273-277.
- Bushby, R.S. and Scott, V.D., 1997, Evaluation of aluminium-copper alloy reinforced with pitch-based carbon fibres. *Composites Science and Technology*, 57, 119-128.
- Chadwick, G.A. and Heath, P.J., 1990, Machining of metal matrix composites. *Metals and Materials*, 2, 6, 73-76.
- Chambers, A.R. and Stephens, S.E., 1991, Machining of Al-5Mg reinforced with 5 vol % saffil and 15 vol % SiC. *Materials Science and Engineering*, A135, pp. 287-290.
- Chambers, A.R., 1996, The machinability of light alloy MMCs. *Composites Part A*, 27A, 2, 143-147.

- Chandrasekaran, H. and Johansson, J.O., 1996, On the behaviour of fibre/particle reinforced aluminium alloy matrix composites in milling and grinding. Proc. of the 2nd MAM conference, Aachen, VDI Berichte Nr. 1276, 463-478.
- Chandrasekaran, H. and Johansson, J.O., 1997, Influence of processing conditions and reinforcement on the surface quality of finish machined aluminium alloy matrix composites. Annals of the CIRP, 46, 1, 493-496.
- Chen, P. and Miyake, Y., 1989, Machining characteristics of SiC whisker reinforced aluminum. Proc. of 1989 ASM Int. Conf. & workshop on machinability, Cincinnati, 69-75.
- Chen, P., 1992, High performance machining of SiC whisker-reinforced aluminium composite by self-propelled rotary tools. Annals of the CIRP, 41, 1, 59-62.
- Chen, A.S., Bushby, R.S., Phillips, M.G. and Scott, V.D., 1995, A study of the mechanical properties and microstructure of fibre-reinforced aluminium alloy. Proc. R. Soc. Lond., A450, 537-552.
- Chiou, J.M. and Chung, D.D.I., 1991, Characterization of metal-matrix composites fabricated by vacuum infiltration of a liquid metal under an inert gas pressure. J.Mater. Sci., 26, 2583-2589.
- Clark, I.E., 1994, A guide to machining metal matrix composites with Syndite PCD. Machining Guide, IDR3, 135-138.
- Committee of Machinability, JSPE, 1989, Machinability of FRM composites. Research report, JSPE, (in Japanese).

- Cornie, J.A., Guerriero, R., Mereyalli, L. and Tangerini, I., 1988, Microstructures and properties of zinc-alloy matrix composite materials. *Cast Reinforced Metal Composites* edited by S.G. Fishman and A.K. Dhingra, ASM International, 155-165.
- Cronjager, L. and Meister, D., 1991, Drilling of fibre and particle reinforced aluminium. *Proceedings of the 14th ETCE, Composite Material Technology*, ASME, Houston, Texas, January 20-23.
- Cronjager, L. and Biermann, D., 1991, Turning of metal matrix composites. *Proc. 2nd European Conf. on Advanced Materials & Processes*, Cambridge, 2, 73-80.
- Cronjager, L. and Meister, D., 1992, Machining of fibre and particle reinforced aluminium. *Annals of CIRP*, 41, 1, 63-66.
- Çirakoğlu, M., Toy, Ç., Tekin, A. ve Scott, W.D., 1995, AlN-B₄C/Al kompozitlerinin basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretim şartlarının incelenmesi. 8. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran, İstanbul, 1307-1315.
- Das, A.A., Clegg, A.J., Zantout, B. and Yakoub, M.M., 1986, Solidification under pressure: aluminium and zinc alloys containing discontinuous SiC fibre. *Cast Reinforced Metal Composites op. cit.*, 139-147.
- Das, A.A., Yacoub, M.M., Zantout, B. and Clegg, A.J., 1988, Cast metal-matrix composites. *Cast Metal*, 1, 2, 69-78.
- Dellis, M.A., Keustermans, J.P. and Delannay, F., 1991, Zn-Al matrix composites: investigation of the thermal expansion, creep resistance and fracture toughness. *Mater. Sci. Eng.*, A135, 253-257.

- Dent, P.N. and Murphy, S., 1986, Progress in the development of inexpensive composites with zinc aluminum alloy matrix. Proc. Int. Symp. on ZA Casting Alloys, 25th CIM, Toronto, 17-20 August 1986, 127-142.
- Dinwoodie, J., 1987, Automotive applications for MMC's based on short staple alumina fibres. SAE Technical Paper Series, Int. Cong. Exp., Detroit, Michigan, Feb. 23-27.
- DOD MMCs Inf. Analysis Center, 1988, Engine Applications for Metal Matrix Composites. Current Highlights, 8, 4.
- Donomoto, T., Funatani, K., Miura, N. and Miyake, N., 1983, Ceramic fiber reinforced piston for high performance diesel engines. SAE technical papers, No.830252.
- Duralcan Composites Machining Guidelines, 1991, 8, 2.
- Durante, S., Rabezzana, F. and Rutelli, G., 1996. In Eurodiamond '96, Torino, p.135.
- Durante, S., 1996. In 26th AIM Congress Proceedings, Milano.
- Durante, S., Rutelli, G. and Rabezzana, F., 1997, Aluminum-based MMC machining with diamond-coated cutting tools. Surface and Coatings Technology, 94-95, 632-640.
- Durman, M., Akbulut, H. ve Yılmaz, F., 1993, Saffil (δ -Al₂O₃) fiber takviyeli alüminyum-silisyum metal matriks kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi. 7. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 1141-1154.
- Easterling, K., 1989, Tomorrow's materials. The Institute of Metals, North American Publications Center.

- Eastman, M. and Lane, C., 1993. Cutting Tool Engineering.
- El-Mahallawy, N.A., Taha, M.A., El-Kharbotly, A.K., Yousef, A.F. and Reif, W., 1994a. Cast Metals, 7, 93, 175-183.
- El-Mahallawy, N.A., Taha, M.A., El-Kharbotly, A.K., Yousef, A.F. and Reif, W., 1994b. Cast Metals, 7, 3, 185-190.
- Felli, F., Brotzu, A., Di Russo, E. and Pinna, F., 1997, Structure, fracture toughness, and fatigue of two aluminium matrix composites produced by vertical squeeze casting technique. Materials Science and Technology, 13, 420-429.
- Fukunaga, H. and Kuriyama, M., 1982. Bull. Jpn. Soc. Mech. Eng., 25, 842.
- Fukunaga, H., 1988, Squeeze casting processes for fiber reinforced metals and their mechanical properties. In: S.G. Fishman and A.K. Dhingra (eds.), Conf. Proc. Int. Symp. Advances in Cast Reinforced Metal Composites, Chicago, Illinois, USA, 101-107.
- Fukunaga, H., 1993, Exploration of new application of MMCs manufactured by squeeze casting process. Proc. Ninth Int. Conf. on Composite Materials edited by A. Miravete, Woodhead Publishing Ltd., Madrid, Spain, 1355-1362.
- Ghost, P.K. and Ray, S., 1988, Influence of process parameters on the porosity content in Al(Mg)-Alumina cast particulate composite produced by Vortex method. AFS Trans., 775-782, 88-214.
- Gibson, P.R., Clegg, A.J. and Das, A.A., 1982. Foundry Trade J., 25, 253-263.
- Gibson, P.R., Clegg, A.J. and Das, A.A., 1984. Wear, 95, 193-198.
- Giot, F.A., 1987, Rheocasting Al matrix composites. Journal of Metals, p.18.

- Gül, F. ve İnem, B., 1997, Döküm yoluyla SiC takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi. Savunma sanayindeki teknolojik gelişmeler sempozyumu, 5-6 Haziran, Kara Harp okulu, Ankara.
- Hanumanth, G.S., Irons, G.A. and Lafreniere, S., 1993. Metall. Trans., 23B.
- Hanumanth, G.S. and Irons, G.A., 1993, Particle incorporation by melt stirring for the production of metal-matrix composites. Journal of Materials Science, 28, 2459-2465.
- Ho, T.L. and Peterson, M.B., 1977. In: Wear of Materials, edited by N.A. Glasser and W.A. Glasser, ASME, New York, p.70.
- Hocheng, H., Yen, S.B., Ishihara, T. and Yen, B.K., 1997, Fundamental turning characteristics of a tribology-favored graphite/aluminum alloy composite material. Composites Part A, 28A, 883-890.
- Hosking, F.M., Portillo, F.F., Wunderlin, R. and Mehrabian, R., 1982. J. Mater. Sci., 17, 477-498.
- Howe, J.M., 1993. International Materials Review, 38, 233-271.
- Hung, N.P., Boey, F.Y.C., Khor, K.A., Phua, Y.S. and Lee, H.F., 1993. Proceedings, Int. Conf. on Advances in Materials and Processing Technologies, Ireland, p.9.
- Hung, N.P., Boey, F.Y.C., Khor, K.A., Oh, C.A. and Lee, H.F., 1995, Machinability of cast and powder-formed aluminum alloys reinforced with SiC particles. Journal of Materials Processing Technology, 48, 291-297.
- Ibrahim, I.A., Mohammed, F.A., and Lavernia, E.J., 1991, Particulate reinforced metal matrix composites a review. J. Mater. Sci., 26, 1137-1156.

ISO 3685, 1977, Tool Life Testing With Single Point Turning Tools. International Organization for Standardization.

ISO 3685, 1993, Tool-life testing with single-point turning tools. International Organization for Standardization, Second edition, 11-15.

Jennings, M., 1993, Syndite machining automotive components. Industrial Diamond Review, 53, 1, p.1.

Jiang, J.Q., Ma, A.B., Liu, H.N. and Tan, R.S., 1994a. Wear, 171, 163-168.

Jiang, J.Q., Ma, A.B., Liu, H.N. and Tan, R.S., 1994b. Mater. Sci. Technol., 10, 783-787.

Jiang, J.Q., Tan, R.S. and Ma, A.B., 1996, Dry sliding wear behaviour of Al_2O_3 -Al composites produced by centrifugal force infiltration. Materials Science and Technology, 12, 483-488.

Kamat, S.V., Hirth, J.P. and Mehrabian, R., 1989. Acta Metall., 37, 2359.

Kane, G.E. and Groover, M.P., 1967, The use of cutting temperature as a measure of the machinability of steels. Technical Paper MR67-199, American Society of Tool and Manufacturing Engineers.

Kang, C.G. and Seo, Y.H., 1996, The influence of fabrication parameters on the deformation behaviour of the preform of metal-matrix composites during the squeeze-casting processes. Journal of Materials Processing Technology, 61, 241-249.

Karakaya, M. and Şehitoglu, H., 1991, Thermomechanical fatigue of particulate reinforced aluminium 2XX-T4. Met. Trans., 22A, 697-707.

- Kiang, T.S. and Barrow, G., 1971, Determination of tool-life equations by Step Turning Test. In: International Machine Tool Design Research Conference Proceedings, 379-385.
- Kobashi and Choh, T., 1994, Wettability and reaction for SiC particle/Al alloy system. *Journal of Materials Science*, 28, 684-690.
- Kolsgaard, A., Arnberg, L. and Brusethaug, S., 1993, Solidification microstructures of AlSi7Mg-SiC particulate composite. *Mater. Sci. Eng. A*, 173, 243-250.
- Kreider, G.K., 1974, Metal matrix composites. Academic press, New York.
- Krishman, B.P., Raman, N., Narayanaswami, K. and Rohatgi, P.K., 1980. *İbid*, 60, 205.
- Kurnaz, S.C., Akbulut, H. ve Durman, M., 1993, Saffil (δ -Al₂O₃) fiber takviyeli çinko-alüminyum alaşımı (ZA12) metal matriksli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi. 7. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 1155-1164.
- Labib, A., Liu, H. and Samuel, F.H., 1993, Effect of solidification rate (0.1-100°C/s) on the microstructure, mechanical properties and fractography of two Al-Si-10 vol%10 SiC particle composite castings. *Mater. Sci. Eng. A*, 160, 81-90.
- Lafreniere, S. and Irons, G.A., 1990, In: International symposium on production, refining, fabrication and recycling of light metals. Hamilton, ON CIM, p.177.
- Lane, C.T., 1990a, Fabrication of particulates reinforced metal composites. ASM, 195.
- Lane, C.T., 1990b, Machining characteristics of particle reinforced aluminium. Proc. of Conf. fabrication of particulate reinforced metal composites, Sept. 17-19, Montreal, Canada, p.204.

- Lane, C.T., 1993. American Machinist, Nov., p.56.
- Levi, C.G., Abbaschian, G.J. and Mehrabian, R., 1978. Metall. Trans. A, 9, 697-711.
- Liao, C.S., Chang, H., Huang, J.C. and Kao, P.W., 1995, Microstructural evolution and mechanical properties of AC8A/Al₂O₃ short-fiber composites after thermal exposure at 150°C to 350°C. Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 26A, 143-158.
- Lim, C.S. and Clegg, Dr A.J., 1996, A Hybrid investment casting process for the production of metal matrix composites. Casting Process, Foundryman, 62nd World Foundry Congress (technical paper), 279-285.
- Liu, P., Bahadur, S. and Verhoeven, J.D., 1993, The mechanical and tribological behavior of Cu-Nb in situ composites. Wear, 166, 133-139.
- Lloyd, D.J., 1989, The solidification microstructure of particulate reinforced aluminium/SiC composites. Compos. Sci. Technol., 35, 159-179.
- Lloyd, D.J., 1991, Factors influencing the properties of particulate reinforced composites produced by molten metal mixing. In Proc. 12th Riso Int. Symp. on Metal Matrix Composites: Processing, Microstructure and Properties, Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 81-99.
- Lloyd, D.J., 1994, Particle reinforced aluminum and magnesium matrix composites. International Materials Reviews, 39, 1, 1-23.
- Lu, L., Lai, M.O. and Yap, S.H., 1997, Microstructure and mechanical properties of Al-4.5wt-%Cu/15wt-%SiC composite prepared using ball mill. Materials Science and Technology, 13, 192-202.
- Lubin, G., 1982, Handbook of composites. Van Nostrand Reinhold Co., 196.

- Luo, S.Y., Liao, Y.S. and Tsai, Y.Y., 1999, Wear characteristics in turning high hardness alloy steel by ceramic and CBN tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 88, 114-121.
- Ma, Z.Y., Liang, Y.N., Zhang, Y.Z., Lu, Y.X. and Bi, J., 1996, Sliding wear behaviour of SiC particle reinforced 2024 aluminium alloy composites. *Materials Science and Technology*, vol. 12, 751-756.
- McCoy, J.W. and Wawner, F.E., 1988, Dendritic segregation in particle-reinforced cast aluminium composites. In: S.G. Fishman and A.K. Dhingra (eds), *Cast reinforced metal composites*, Proc. Int. Symp. on Advances in Cast Reinforced Metal Composites, Chicago, ASM International, 237-242.
- McCoy, O.W. and Franklin, E.W., 1988, Dendritic segregation in particle-reinforced cast aluminium composites. In: S.G. Fishman and A.K. Dhingra (eds.), *Cast reinforced metal composites*, ASM/TMS comitte, World materials Congress ChicagoIllions, 24-30 Sept., USA, 77-80.
- McGinty, M.J. and Preuss, C.W., 1985, *Proceedings, High productivity machining materials and processes*. ASM, p.231.
- McLean, A., Soda, H., Xia, Q., Pramanick, A.K., Ohno, A., Motoyasu, G., Shimizu, T., Gedeon, S.A. and North, T., 1997, SiC particulate-reinforced, aluminium-matrix composite rods and wires produced by a new continuous casting route. *Composites Part A*, 28A, 153-162.
- Mehan, R.L. and Bolon, R.B.J., 1979. *Journal of Materials Science*, 14, 471.
- Mehrabian, R., Riek, R.G. and Flemings, M.C., 1974. *Metall. Trans. A*, 5, 1899-1905.
- Mehrabian, R., Sato, A. and Flemings, M.C., 1975. *Light Met. London*, 11, 177-193.

- Meister, D., 1991, Untersuchungen zum Vollbohren partikelver-stärkter Aluminium-Legierungen mit Wendelbohrern, Dissertation, Universität Dortmund.
- Milliere, C. and Suery, M., 1988, Fabrication and properties of metal matrix composites based on SiC fibre reinforced aluminium alloys. *Materials Science and Technology*, vol. 4, 41-51.
- Mills, B. and Redford, A.H., 1983, *Machinability of Engineering Materials*. Applied Science.
- Ming, Y. and Scott, V.D., 1991, Interface and fracture of carbon fibre reinforced Al-7 wt % Si alloy. *J. Mater. Sci.*, 26, 1609-1617.
- Mortensen, A., Cornie, J.A. and Flemings, M.C., 1988, Solidification processing of metal-matrix composites. *JOM*, 40, 2, 12-19.
- Mortensen, A., 1990. In Proc. Conf. 'Fabrication of particulate reinforced metal composites', Montreal, PQ, Canada, ASM international, 217-233.
- Mortensen, A. and Jin, I., 1992, Solidification processing of metal matrix composites. *Int. Mater. Rev.*, 37, 3, 101-128.
- Munitz, A., Metzger, M. and Mehrabian, R., 1979. *Metall. Trans. A*, 10, 1491-1497.
- Müller, P., 1989, Untersuchungen zum Bohren von Faserver-bundwerkstoffen mit Aluminium matrix, VDI-Fortschritts-berichte, Reihe 2, Nr. 174, VDI-Verlag Düsseldorf.
- Mykura, N., 1988, Liquid pressure forming of engineered metal matrix composites. In: S.G. Fishman and A.K. Dhingra (eds.), *Cast Reinforced Metal Composites*, American Society of Metals, OH, 173-178.

- Nair, S.V., Tien, J.K. and Bates, R.C., 1985, SiC-reinforced aluminium metal matrix composites. *Int. Met. Rev.*, 30-6, 275-290.
- Pai, B.C., Rohatgi, P.K. and Venkatesh, S., 1974. *Wear*, 30, 117.
- Pai, B.C., Ramani, G. and Pillai, R.M., 1995, Role of magnesium in cast aluminium alloy matrix composites. *Journal of Materials Science*, 30, 1903-1911.
- Phillips, N.L., 1992, *Design with advanced composite materials*. The design council, London.
- Piatti, G., 1983, *Advances in composite materials*. Applied science publishers ltd., London.
- Ponzi, C., 1992, *Metal matrix composite fabrication processes for high performance aerospace structures*.
- Purazrang, K., Kainer, K.U. and Mordike, B.L., 1991, Fracture toughness behaviour of a magnesium alloy metal-matrix composite produced by the infiltration technique. *Composites*, vol. 22, no. 6, 456-462.
- Purazrang, K., Abachi, P. and Kainer, K.U., 1994, Investigation of the mechanical behaviour of magnesium composites. *Composites*, vol. 25, no. 4, 296-302.
- Quan, Y.M, Zhou, Z.H. and Ye, B.Y., 1999, Cutting process and chip appearance of aluminum matrix composites reinforced by SiC particle. *Journal of Materials Processing Technology*, 91, 231-235.
- Quigley, B.F., Abbaschian, G.J., Wunderlin, R. and Mehrabian, R., 1982. *Metall. Trans. A*, 13, 93-100.

- Rahman, M., Ramakrishna, S., Prakash, J.R.S. and Tan, D.C.G., 1999, Machinability study of carbon fiber reinforced composite. *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90, 292-297.
- Ray, S., 1988, Porosity in foundry composites. In: S.G. Fishman and A.K. Dhingra (eds.), *Cast reinforced metal composites*, ASM/TMS comitte, World materials Congress Chicago Illions, 24-30 Sept., USA, 77-80.
- Ray, S., 1993, Review, Synthesis of cast metal matrix particulate composites. *Journal of Materials Science*, 28, 5397-5413.
- Renaud, C.V., Gregory, E. and Wong, J., 1989, Development and application of high strength, high conductivity CuNb in situ composite wire and strip. *Adv. Cryogen. Eng. Mater.*, 134, 435-442.
- Ricci, W.S., 1987, Machining metal matrix composites. MR87-827, SME.
- Roebuck, B., Gorley, T.A.E. and McCartney, I.N., 1989, Overview, mechanical property test procedures for metal matrix composites. *Mater. Sci. Tech.*, 5, 12-19.
- Roebuck, B. and Lord, J.D., 1990. *Mater. Sci. Technol.*, 6, 1199-1209.
- Rohatgi, P.K., Asthana, R. and Das, S., 1986, Solidification, structures and properties of cast metal-ceramic particle composites. *International Metals Reviews*, 31, 2, 115-139.
- Rohatgi, P.K., Yarandi, F.M. and Liu, Y., 1988, Influence of solidification conditions on segregation of aluminium SiC particle composites. In: S.G. Fishman and A.K. Dhingra (eds.), *Cast reinforced metal composites*, ASM/TMS comitte, World materials Congress Chicago Illions, 24-30 Sept., USA, 249-255.

- Rohatgi, P.K., 1991, Cast aluminum matrix composites for automotive applications. *Journal of Metals*, 43, 4, 10-15.
- Saga, T. and Ikeda, S., 1991, Turning machinability of Al_2O_3 -SiC short fibre reinforced ADC12 aluminium alloy composites. *J. Jap. Inst. Light Metals*, 41, 4, 264-269.
- Samuel, A.M., Liu, H. and Samuel, F.H., 1993, On the castability of Al-Si/SiC particle-reinforced metal-matrix composites: factors affecting fluidity and soundness. *Compos. Sci. Technol.*, 49, 1-12.
- Sasikumar, R. and Kumar, M., 1991, Redistribution of particles during casting of composite melts: effects of buoyancy and particle pushing. *Acta Metall.*, 39, 2503-2508.
- Sato, A. and Mehrabian, R., 1976, Aluminium matrix composites: fabrication and properties. *Metallurgical Transactions B*, 7, 443-451.
- Schuster, D.M., Skibo, M. and Yep, F., 1987. *J. Met.*, 60.
- Schwartz, M.M., 1984, *Composite materials handbook*. McGraw-Hill, New York.
- Seo, Y.H. and Kang, C.G., 1995, The effect of applied pressure on particle-dispersion characteristics and mechanical properties in melt-stirring squeeze-cast SiC_p/Al composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 55, 370-379.
- Shanker, K., Mavropoulos, L.T., Drew, R.A.L. and Tsantrizos, P.G., 1992, Properties of TaC-based metal-matrix composites produced by melt infiltration. *Composites*, vol. 23, no. 1, 47-53.

- Shimizu, T., Yamazaki, H., Soda, H. and McLean, A., 1993, Development of aluminium alloy welding rod for hard facing applications. In Proc. Int. Symp. on Developments and Applications of Ceramics and New Metal Alloys, 32nd Annual Conf. of Metallurgists of CIM, Quebec, Canada, 541-549.
- Soda, H., Motoyasu, G., Chabchoub, F., Hu, H. and McLean, A., 1994, Casting a small-diameter tin wire by the OCC (Ohno continuous casting) process. *Cast Metals*, 6, 4, 225-230.
- Soda, H., Motoyasu, G., McLean, A., and Wang, Z., 1995, Pilot scale casting of single crystal copper wires by the OCC process. *J. Mater. Sci.*, 30, 5438-5448.
- Sreejith, P.S., Krishnamurthy, R., Narayanasamy, K. and Malhotra, S.K., 1999, Studies on the machining of carbon phenolic ablative composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 88, 43-50.
- Sritharan, T., 1990, Matrix/reinforcement development for aluminum based composites. The proceeding template for 1990 TMS-AIME conference.
- Stefanescu, D.M., Dhindaw, R.K., Kacar, S.A. and Moitra, A., 1988, Behaviour of ceramic particles at the solid-liquid metal interface in metal matrix composites. *Met. Trans.*, 19A, 2847-2855.
- Stefanescu, D.M., Moitra, A., Kacar, S.A. and Dhindaw, B.K., 1990, The influence of buoyant forces and volume fraction of particles on the particle pushing/entrapment transition during directional solidification of Al/SiC and Al/graphite composites. *Metall. Trans. A*, 21, 231-239.
- Stefanescu, D.M., 1993. In: Taha, M.A., El-Mahallawy, N.A. (eds.), *Advances in metal Matrix Composites, Key Engineering Materials*, vol. 79-80, Trans. Tech., Switzerland, p.75-90.

- Stubbington, C.A., 1988, Materials trend in military airframes. *Metals mater.*, 4, 424-431.
- Suery, M., 1989, Microstructural characterization of the interfacial region in SiC reinforced Al-Mg alloy. In: R.Y. Lin, R.J. Arsenault, G.P. Martins and S.G. Fishman (eds.), *Interfaces in metal ceramic composites*, The Minerals, Metals & Materials Society, p.187.
- Sukumaran, K., Pillai, S.G.K., Pillai, R.M., Kelukuty, V.S., Pai, B.C., Satyarayana, K.G. and Ravikumar, K.K., 1995, The effect of magnesium additions on the structure and properties of Al-7Si-10SiC_p composites. *Journal of Materials Science*, 30, 1469-1472.
- Surappa, M.K. and Rohatgi, P.K., 1981, Preparation and Properties of cast aluminum ceramic particle composites. *Journal of Materials Science*, 16, p.983.
- Suzuki, T., 1996, The compatibility of pitch-based carbon fibres with aluminum for the improvement of aluminum-matrix composites. *Comp. Sci. Technol.*, 56, 147-153.
- Şahin, Y., 1994, Metal matriksli kompozitlerin fabrikasyon teknikleri üzerine bir inceleme. 2. Makine tasarım ve imalat kongresi, ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü, UMTİK 94, Ankara.
- Şahin, Y. and Murphy, S., 1996a, The effect of fibre orientation of the dry sliding wear of borsic-reinforced 2014 aluminium alloy. *Journal of Materials Science*, 34, 5399-5407.
- Şahin, Y. and Murphy, S., 1996b, Friction and wear behaviour of unidirectional borsic fibre-reinforced aluminium alloy. 7th International Machine Design and Production Conference, September 11-13, METU, Ankara, 333-342.

- Şahin, Y. and Murphy, S., 1996c, Wear performance of aluminium alloy composites containing unidirectionally-oriented silicon carbide coated boron fibres. *Wear*, 197, 248-254.
- Şahin, Y., 1998, Kompozit Malzemelere Giriş. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- Şeker, U., 1997, Takım Tasarımı. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- Taha, M.A., Abdel-Latif, M.H., El-Mahallawy, N.A. and Abdel-Hakim, H., 1993. Proc. 4th Int. Conf. on Production Engineering and Design For Development, Cairo, p.109-119.
- Taha, M.A. and El-Mahallawy, N.A., 1998, Metal-matrix composites fabricated by pressure-assisted infiltration of loose ceramic powder. *Journal of Materials Processing Technology*, 73, 139-146.
- Tavman, İ.H., 1997, Kompozit malzemelerin savunma sanayinde kullanımı. Savunma sanayindeki teknolojik gelişmeler sempozyumu, 5-6 Haziran, Kara Harp Okulu, Ankara.
- Taya, M. and Arsenault, R.J., 1988, Metal matrix composites- Thermal and mechanical behavior. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom.
- Taya, M. and Arsenault, R.J., 1989, Metal matrix composites, thermomechanical behavior. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom, 209-221.
- Thomas, J.L. and Lambert, B.K., 1974, Reliability of accelerated tool life testing method. Technical Paper MR74-703, Society of Manufacturing Engineers.
- Tokisue, H. and Kato, K., 1990. *Aluminium*, 5, p.479.

- Tomac, N. and Tonnessen, K., 1991, Formation of Flank Build-Up in cutting Magnesium Alloys. *Annals of CIRP*, 40, 1, p.79.
- Tomac, N., Tonnessen, K. and Rasch, F.O., 1992, Machinability of particulate aluminium matrix composites. *Annals of CIRP*, 42, 1, 55-58.
- Tomac, N. and Tonnessen, K., 1992, Machining of particulate aluminium matrix composites. *Annals of CIRP*, 41, 1, 55-58.
- Tönshoff, H.K. and Winkler, J., 1996. DGM-Seminar Werkstoffgefüge und Zerspanung, Hannover, 16/17 September.
- Tönshoff, H.K. and Winkler, J., 1997, The influence of tool coatings in machining of magnesium. *Surface and Coatings Technology*, 94-95, 610-616.
- Trumper, R.L., 1987, Metal matrix composites, applications and prospects. *J. Int. Of Metals and Materials*, 3-11, 663.
- Tweed, J.H., 1991, Manufacture of 2014 aluminium reinforced with SiC particulate by vacuum hot pressing. *Materials Science and Engineering*, A135, 73-76.
- Vivés, C., Bas, J., Beltran, G. and Fontaine, G., 1993, Fabrication of metal matrix composites using a helical induction stirrer. *Materials Science and Engineering*, A173, 239-242.
- Wang, Y.Q., Wang, Z.M. and Yang, J.Y., 1995. *Composites Manufact.*, 6, 103.
- Wang, Y.Q. and Zhou, B.L., 1998, Effect of a fiber coating on the fabrication of fiber reinforced metal-matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 73, 78-81.

- Weeton, W.J., Peters, M.D. and Thomas, L.K., 1987, Engineer's guide to composite materials. American Society for Metals, Metals park, Ohio 44073.
- Weinert, K., 1993, A consideration of tool wear mechanism when machining metal matrix composites. *Annals of CIRP*, 42, 1, 95-98.
- Yamada, S.I., Towata, S.I. and Ikuno, H., 1988, Mechanical properties of aluminium alloys reinforced with continuous fibers and dispersoids. In: S.G. Fishman and A.K. Dhingra (eds.), *Cast reinforced metal composites*, ASM/TMS comitte, World materials Congress Chicago Illions, 24-30 Sept., USA, 109-113.
- Yang, J., Zhu, M., Wang, M., and Shu, G., 1986. Proc. 4th Nat. Conf. on Composite Materials, Guangzhou, in Chinese, December 15-21, 515-519.
- Yang, J. and Chung, D.D.L., 1989, Wear of bauxite-particle reinforced aluminum alloys. *Wear*, 135, 53-65.
- Yanling, H. and Young, R.J., 1994, Microstructure and mechanical properties of pitch-based carbon fibres. *J. Mater. Sci.*, 29, 4027-4036.
- Yılmaz, M., 1991, The microstructure and mechanical properties of a particulate SiC reinforced aluminum matrix composite. M.S. Thesis, The Bosphorus University.
- Yılmaz, M. ve Altıntaş, S., 1993, Parçacık SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin mikroyapı ve aşınma özellikleri. 7. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 1175-1182.
- Yılmaz, M. ve Altıntaş, S., 1994, Properties of Al-Mg-SiC composites produced by a Modified Compocasting. *ESDA Proceedings of the 1994 Engineering Systems Design and Analysis Conference*, Pd vol 64-2, London, 119-124.

Yılmaz, M., Durlu, N., Mısırlı, Z. ve Altıntaş, S., 1995, Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitte arayüzey reaksiyonu. 8. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran, İstanbul, 1323-1328.

Young, J.H., 1969, Advanced composite materials structural hardware developments and testing programme. AFML Report TM-249.

Zhu, H.X. and Liu, S.K., 1993, Mechanical properties of squeeze-cast zinc alloy matrix composites containing α -alumina fibres. Composites, 24, 5, 437-442.

Zimmerman, C., Boppana, S.P. and Katbi, K., 1989, Machinability Test Methods. Metals Handbook Ninth Edition, ASM Int., 16, 639-647.

